

С. С. Маглыш А. Е. Каревский

БИОЛОГИЯ

Учебное пособие для 11 класса
общеобразовательных учреждений
с русским языком обучения

Под редакцией С. С. Маглыш

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь*

Минск «Народная асвета» 2010

Правообладатель Народная асвета

УДК 57(075.3=161.1)
ББК 28.0я721
М38

Авторы:

С. С. Маглыш (от авторов, § 1—23, 28—35); А. Е. Каревский (§ 24—27, 36—52)

Рецензенты:

кафедра биологии человека и экологии учреждения образования «Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова» (кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой *Е. Ю. Жук*); учитель биологии высшей категории, заместитель директора по учебной работе государственного учреждения образования «Средняя общеобразовательная школа № 160 г. Минска» *Н. К. Колян*

Маглыш, С. С.

М38 Биология : учеб. пособие для 11-го кл. общеобразоват. учреждений с рус. яз. обучения / С. С. Маглыш, А. Е. Каревский ; под ред. С. С. Маглыш. — Минск : Нар. асвета, 2010. — 231 с. : ил.

ISBN 978-985-03-1461-1.

УДК 57(075.3=161.1)
ББК 28.0я721

ISBN 978-985-03-1461-1

© Маглыш С. С., Каревский А. Е., 2010
© Оформление. УП «Народная асвета», 2010

Правообладатель Народная асвета

От авторов

Дорогие друзья! Вы приступаете к изучению завершающего раздела школьного курса биологии, очень важного для формирования правильного и целостного представления о существовании жизни на Земле.

В рамках данного курса вам предстоит получить основы экологических знаний. Они помогут вам понять законы существования живой природы на разных уровнях ее организации.

На конкретных примерах вы сможете познакомиться с экологическими последствиями хозяйственной деятельности человека, многие из которых в настоящее время являются глобальными экологическими проблемами. Решать эти проблемы предстоит нынешнему и будущим поколениям людей, а значит и вам. Зная и соблюдая законы природы, человек сможет сохранить равновесие в биосфере и обеспечить потомкам будущее.

Материал учебного пособия состоит из семи глав, главы разделены на параграфы. В тексте параграфов выделяются ключевые изучаемые вопросы, главные понятия и их определения. Мелким шрифтом дается дополнительный материал, позволяющий расширить и углубить знания — он обозначается знаком .

После основного текста параграфа на цветной плашке приводится главная информация по изучаемому материалу (выводы), на которую надо обратить особое внимание и запомнить ее. К этому призывает знак  (обратите внимание — это важно!).

В конце каждого параграфа даны вопросы и задания, перед которыми стоит знак . Они помогут выяснить, насколько полно вы усвоили изучаемый материал, сможете ли вы использовать его для решения каких-либо конкретных задач.

В учебном пособии имеется много иллюстраций, которые дадут вам возможность соотносить изучаемый теоретический материал с конкретными объектами или явлениями природы.

Надеемся, что данное учебное пособие окажет вам неоценимую помощь в изучении одной из интереснейших наук — биологии, поможет хорошо подготовиться к централизованному тестированию.

Желаем успехов!



§ 1. Уровни организации живых систем. Экология как наука

Уровни организации живых систем. Живая природа представляет собой сложноорганизованную соподчиненную (иерархичную) систему, состоящую из разных биологических систем (биосистем).

Биологическая система (биосистема) — биологический объект, состоящий из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов и обладающий свойствами целостности, относительной устойчивости, а также способностью к развитию, самовоспроизведению и приспособлению к внешней среде.

Свойства каждой биосистемы не сводятся к сумме свойств ее элементов (подсистем), они значительно сложнее и разнообразнее. Их нельзя точно предсказать, исходя из свойств подсистем, так как свойства системы зависят от степени сложности ее строения, т. е. от уровня организации самой системы. По мере усложнения уровня организации увеличивается многообразие свойств и характеристик биосистемы. На основании особенностей проявления свойств живого выделяют несколько уровней организации жизни.

Первый уровень — **молекулярный**. Элементарными единицами этого уровня являются **биомолекулы**: нуклеиновые кислоты, белки, липиды, углеводы и другие органические соединения, которые вступают во взаимодействие между собой и формируют более сложные системы. Этот уровень организации жизни изучают молекулярная биология и биологическая химия.

Следующим уровнем организации жизни является **клеточный уровень**. Элементарные единицы этого уровня — **клетки**. Их структурными элементами выступают компоненты, состоящие из взаимосвязанных биомолекул. Клетку как структурную и функциональную единицу жизни изучает наука цитология.

Клетки, взаимодействуя, формируют ткани, из которых образуются органы. Органы и ткани представляют **органо-тканевый уровень** организации жизни. Ткани изучает гистология, а органы — анатомия и физиология.

Организменный уровень организации жизни представляют **организмы (особи)** — целостные саморегулирующиеся системы, состоящие из взаимосвязанных тканей и органов. Организм как целостную систему изучают ботаника и зоология.

Следующим уровнем организации жизни является **популяционно-видовой уровень**. Родственные особи объединяются в **популяции**, а популяции состав-

ляют *виды*. Как вы уже знаете, вид является наименьшей таксономической единицей систематики.

Следующий уровень организации жизни — **биоценотический**. Элементарными единицами этого уровня являются *биоценозы (сообщества)*. Они формируются из популяций разных видов, длительно обитающих в одной и той же среде, между которыми возникают межвидовые связи и взаимоотношения.

Биогеоценотический (экосистемный) уровень организации жизни является еще более сложным, поскольку его представляют биологические системы — *биогеоценозы (экосистемы)*, которые возникают в результате взаимодействия биоценозов и условий среды.

Самый высший уровень организации жизни — **биосферный**. Совокупность всех экосистем на планете Земля, которые связаны непрерывным круговоротом вещества и потоком энергии, называют *биосферой*. Она представляет собой глобальную по масштабам и сложности биологическую систему.

Экология как наука. Термин «экология» (от греч. *oikos* — дом, жилище, *logos* — наука, учение) впервые ввел немецкий зоолог-эволюционист Э. Геккель в 1866 г. Под экологией он понимал науку об отношениях организмов с окружающей средой.

На начальном этапе экология представляла собой науку, изучающую организмы (особи). В настоящее время предмет изучения экологии значительно расширился. Помимо организмов он включает надорганизменные биосистемы: популяции, биоценозы (сообщества), биогеоценозы (экосистемы) и биосферу.

Экология — наука, изучающая биологические системы разного уровня организации (от организма до биосферы) и закономерности их взаимодействия.

Перед экологией стоят следующие задачи:

- 1) изучение механизмов адаптации (приспособления) организмов к среде обитания;
- 2) изучение свойств и структуры популяций, динамики и механизмов регуляции их численности;
- 3) изучение биологического разнообразия экосистем, закономерностей образования и распределения в них биологической продукции;
- 4) изучение процессов, протекающих в биосфере, с целью поддержания ее устойчивости;
- 5) разработка оптимальных путей взаимодействия общества и природы с учетом законов существования природы.

Таким образом, экология является научной основой рационального использования и охраны природных ресурсов. Это важнейшая наука будущего и, как

писал французский эколог Ф. Дре еще в 1976 г., «возможно, само существование человека на нашей планете будет зависеть от прогресса экологии».



Современная биология рассматривает жизнь на планете Земля как совокупность соподчиненных биологических систем, представляющих молекулярный, клеточный, органно-тканевой, организменный, популяционно-видовой, биоценотический, биогеоценотический и биосферный уровни организации жизни. Экология как наука изучает следующие биосистемы: организмы, популяции, биоценозы (сообщества), биогеоценозы (экосистемы), биосферу — и закономерности их взаимодействия.



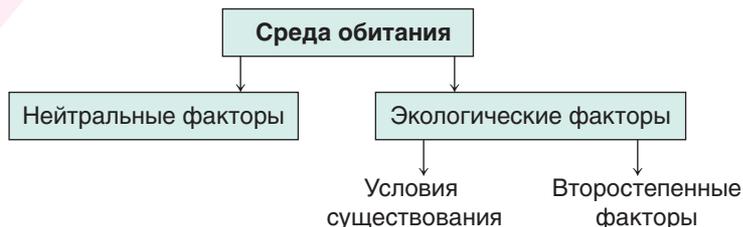
1. Что такое биосистема? **2.** Назовите последовательность уровней организации живой материи, соблюдая принцип иерархии. **3.** Дайте современное определение экологии. Что является предметом ее изучения? **4.** Какие задачи должна решать экология? **5.** Почему экология является научной основой рационального использования и охраны природных ресурсов?

§ 2. Факторы среды и их классификация

Понятие о среде обитания, факторах среды и условиях существования. Такие понятия, как «среда обитания» и «условия существования» с точки зрения экологов не являются равнозначными.

Среда обитания — часть природы, которая окружает организм и с которой он непосредственно взаимодействует в течение своего жизненного цикла.

Среда обитания каждого организма сложна и изменчива во времени и пространстве. Она включает множество элементов живой и неживой природы и элементов, привносимых человеком и его хозяйственной деятельностью. В экологии эти элементы среды называются *факторами*. Все факторы среды по отношению к организму неравнозначны. Одни из них влияют на его жизнедеятельность, а другие для него безразличны; присутствие одних факторов обязательно и необходимо для жизни организма, а других — необязательно (см. схему).



Нейтральные факторы — компоненты среды, которые не влияют на организм и не вызывают у него никакой реакции. Например, для волка в лесу безразлично присутствие белки или дятла, наличие гнилого пня или лишайников на деревьях. Они не оказывают на него никакого воздействия.

Экологические факторы — свойства и компоненты среды обитания, которые вызывают у организма приспособительные реакции — адаптации. Адаптация (от лат. *adaptatio* — прилаживание, приспособление) — признак или комплекс признаков, обеспечивающих выживание и размножение организмов в конкретной среде обитания. Например, обтекаемая форма тела рыб облегчает их передвижение в плотной водной среде; у некоторых видов растений засушливых мест вода может запасаться в листьях (алоэ) или стеблях (кактус).

В среде обитания экологические факторы различаются по значимости для каждого организма. Например, углекислый газ не важен для жизни животных, но обязателен для жизни растений, а вот без воды не могут существовать ни те, ни другие. Следовательно, для существования организмов любого вида требуются определенные экологические факторы.

Условия существования (жизни) — комплекс экологических факторов, без которых организм не может существовать в данной среде.

Отсутствие в среде обитания хотя бы одного из факторов этого комплекса приводит к гибели организма. Так, к условиям существования растительного организма относится наличие воды, определенной температуры, света, углекислого газа, минеральных веществ. Тогда как для животного организма обязательными являются вода, определенная температура, кислород, органические вещества.

Все остальные экологические факторы не являются жизненно важными для организма, хотя и могут влиять на его существование. Их называют *второстепенными факторами*. Например, для животных углекислый газ и молекулярный азот не являются жизненно необходимыми, а для существования растений не обязательно наличие органических веществ.

Классификация экологических факторов. Экологические факторы многообразны. Они играют различную роль в жизни организмов, имеют неодинаковую природу и специфику действия. И хотя они воздействуют на организм как единый комплекс, их классифицируют по разным критериям для облегчения изучения закономерностей взаимодействия организмов с окружающей средой.

Разнообразие экологических факторов по происхождению в среде обитания позволяет разделить их на три большие группы. В каждой из групп можно выделить несколько подгрупп факторов, которые указаны в приведенной ниже схеме.



Абиотические факторы — элементы неживой природы, которые прямо или косвенно влияют на организм и вызывают у него ответную реакцию. Их подразделяют на четыре подгруппы:

1) **климатические факторы** — все факторы, которые формируют климат в данной среде обитания (свет, газовый состав воздуха, осадки, температура, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра и т. д.);

2) **эдафические факторы** (от греч. *edafos* — почва) — свойства почвы, которые разделяются на физические (влажность, комковатость, воздухо- и влагопроницаемость, плотность и т. д.) и химические (кислотность, минеральный состав, содержание органического вещества);

3) **орографические факторы** (факторы рельефа) — особенности характера и специфика рельефа местности. К ним относятся: высота над уровнем моря, широта, крутизна (угол наклона местности по отношению к горизонту), экспозиция (положение местности относительно сторон света);

4) **физические факторы** — физические явления природы (гравитация, магнитное поле Земли, ионизирующее и электромагнитное излучения и т. д.).

Биотические факторы — элементы живой природы, т. е. живые организмы, влияющие на организм и вызывающие у него ответную реакцию. Они носят самый разнообразный характер и действуют не только непосредственно, но и косвенно через элементы неорганической природы. Биотические факторы разделяют на две подгруппы:

1) **внутривидовые факторы** — влияющим фактором является организм того же вида, что и данный организм (например, в лесу высокая береза затеняет маленькую березку, у земноводных при высокой численности крупные головастики выделяют вещества, замедляющие развитие более мелких головастиков и т. д.);

2) **межвидовые факторы** — влияние на данный организм оказывают особи других видов (например, густая ель угнетает рост травянистых растений под ее кроной, клубеньковые бактерии обеспечивают азотом бобовые растения и т. д.).



В зависимости от того, кем является воздействующий организм, биотические факторы подразделяют на четыре основные группы: 1) фитогенные (от греч. *phytón* — растение) факторы — влияние растений на организм; 2) зоогенные (от греч. *zōon* — животное) факторы — влияние животных на организм; 3) микогенные (от греч. *mýkēs* — гриб) факторы — влияние грибов на организм; 4) микробогенные (от греч. *micrós* — малый) факторы — влияние микроорганизмов (вирусов, бактерий, протистов) на организм.

Антропогенные факторы — разнообразные виды деятельности человека, влияющей как на сами организмы, так и на их местообитания. В зависимости от способа воздействия выделяют две подгруппы антропогенных факторов:

1) **прямые факторы** — непосредственное воздействие человека на организмы (скашивание травы, посадка леса, отстрел животных, разведение рыбы);

2) **косвенные факторы** — влияние человека на среду обитания организмов самим фактом своего существования (поглощение кислорода и выделение углекислого газа, изъятие пищевых ресурсов) и через хозяйственную деятельность (сельское хозяйство, промышленность, транспорт, добыча полезных ископаемых, бытовая деятельность и т. д.).

В зависимости от последствий воздействия эти подгруппы антропогенных факторов в свою очередь еще подразделяют на факторы положительного и отрицательного влияния. **Факторы положительного влияния** (посадка и подкормка растений, разведение и охрана животных, охрана окружающей среды) повышают численность организмов или улучшают среду их обитания. **Факторы отрицательного влияния** (вырубка лесов, загрязнение окружающей среды, разрушение местообитаний, прокладка дорог и других коммуникаций) снижают численность организмов или ухудшают среду их обитания.



Среда обитания — часть природы, с которой организм непосредственно взаимодействует в течение своей жизни. Экологические факторы — свойства и компоненты среды обитания, вызывающие у организма приспособительные реакции — адаптации. Экологические факторы по природе происхождения разделяют на: абиотические (климатические, эдафические, орографические, физические), биотические (внутривидовые, межвидовые) и антропогенные (прямые, косвенные) факторы.



1. Дайте определение понятий «среда обитания» и «условия существования». **2.** Какие из перечисленных ниже факторов являются условиями существования для растений, а какие — для животных: вода, ветер, свет, углекислый газ, органические вещества, минеральные вещества? **3.** На какие группы разделяют экологические факторы по происхождению? **4.** Распределите указанные экологические факторы на группы по их происхождению: температура, высота местности, хищники, свет, транспорт, паразиты, электромагнитное излучение, вырубка деревьев, минеральный состав почвы, растительные животные, орошение засушливых земель.

§ 3. Закономерности действия факторов среды на организм

Пределы выносливости (толерантности) и зоны действия экологического фактора. Человек, наблюдая за жизнью организмов в природе, долгое время не мог получить ответы на ряд интересующих его вопросов. Почему переселение из одной среды обитания в другую для одних видов завершается успешно, а для других — нет? Почему одни виды могут жить в сильно изменяющихся условиях среды, а другим для жизни требуется относительное постоянство этих условий? Почему одна и та же сила воздействия фактора для одних организмов благоприятна, для других — неблагоприятна, а для третьих — губительна?

Объяснить эти особенности взаимодействия организмов со средой обитания помогла экология, которая установила зависимость жизнедеятельности организмов от силы воздействия экологических факторов. Любая ответная реакция организма на действие фактора среды в конечном итоге отражается на его жизнедеятельности. Она зависит не только от природы фактора, но и от силы и продолжительности его воздействия на организм, т. е. от дозы фактора.

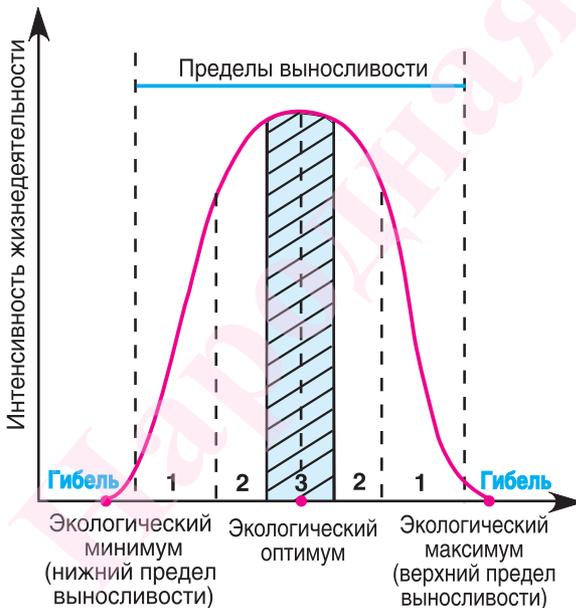


Рис. 1. Зависимость жизнедеятельности организма от силы воздействия экологического фактора: 1 — зона пессимума, 2 — зона нормальной жизнедеятельности, 3 — зона оптимума

Несмотря на разнообразие экологических факторов, был выявлен ряд общих закономерностей в ответных реакциях живых организмов. Теоретически зависимость жизнедеятельности организма (его ответной реакции) от силы воздействия фактора в общем виде можно выразить куполообразной кривой (рис. 1). В реальной ситуации эта кривая, как правило, не бывает идеально симметричной. Как видно из графика, организм проявляет жизнедеятельность не при любой силе воздействия фактора, а в определенном ее диапазоне, ограниченном минимальным и максимальным значениями силы воздействия фактора, переносимыми организмом. Минимальное значение силы воздействия фак-

тора, при котором начинается проявление жизнедеятельности организма, называется **экологическим минимумом** или **нижним пределом выносливости**. А максимальное значение, при котором жизнедеятельность организма прекращается, — **экологическим максимумом** или **верхним пределом выносливости**. Разные виды могут существенно различаться по этим значениям. Например, в зоне умеренного климата экологический минимум по температуре для древесных растений лежит в области отрицательных температур, для травянистых растений он немногим выше 0 °С (тюльпаны, лук, чеснок), а для некоторых культурных растений (огурцы, томаты и др.) он не ниже +10 °С. Следовательно, для каждого вида характерны свои пределы выносливости, или толерантности.

Пределы выносливости, или **толерантности** (от лат. *tolerantia* — терпение, выносливость) — **диапазон силы воздействия фактора, в котором возможна жизнедеятельность организма**.

Если сила воздействия фактора выходит за эти пределы, то жизнь организма в данной среде становится невозможной, и он погибает. В пределах толерантности жизнедеятельность организма сильно варьирует в зависимости от степени выраженности фактора. Но можно выделить три зоны действия фактора, в которых организм проявляет характерную ответную реакцию:

1) **зона пессимума** (от лат. *pessimum* — причинять вред), или **зона угнетения**, — диапазоны силы воздействия фактора (их два), в пределах которых жизнедеятельность организма настолько снижена, что невозможны его рост и развитие, но сохраняется возможность для существования;

2) **зона нормальной жизнедеятельности**, или **зона нормы**, — диапазоны силы воздействия фактора (их два), в пределах которых наблюдаются рост и развитие организма, но размножение снижено;

3) **зона оптимума** (от лат. *optimum* — наилучший) — диапазон силы воздействия фактора, в пределах которого организм проявляет максимальную жизнедеятельность и наблюдаются его рост, развитие и размножение.

Для некоторых видов организмов в пределах зоны оптимума можно выделить конкретное значение силы фактора, наиболее благоприятное для жизнедеятельности. Его называют **экологическим оптимумом**. Но чаще всего наилучшие показатели жизнедеятельности наблюдаются в определенном диапазоне силы воздействия фактора, т. е. в зоне оптимума.

Понятие о стенобионтах и эврибионтах. У всех видов организмов в процессе их эволюции выработалась способность воспринимать факторы среды в тех количественных пределах, которые благоприятно влияют на их жизнедеятельность. Виды, длительное время жившие в относительно стабильных условиях среды, утратили способность выдерживать значительные отклонения факторов

от их оптимальных значений. В то же время виды, которые были подвержены значительным колебаниям факторов, стали более выносливыми по отношению к сильно изменяющимся условиям среды. Свойство видов приспосабливаться к тому или иному диапазону изменения факторов среды, называется **экологической пластичностью** или **экологической валентностью**.

В зависимости от экологической пластичности у организмов имеются разные пределы толерантности к различным экологическим факторам. Чем больше их экологическая пластичность, тем шире у них пределы толерантности по отношению к факторам среды и наоборот. Например, рыбы, живущие в водоемах пустынь, переносят перепады температуры от $+10$ до $+40$ °С, а у антарктических рыб диапазон переносимых температур составляет всего 4 °С (от -2 до $+2$ °С).

В зависимости от пределов толерантности виды разделяют на две группы: стенобионты и эврибионты. **Стенобионты** (от греч. *stenós* — узкий) — виды организмов, имеющие узкие пределы толерантности и способные существовать на ограниченных территориях с относительно постоянными условиями среды. **Эврибионты** (от греч. *eurýs* — широкий) — виды организмов, имеющие широкие пределы толерантности и способные заселять обширные территории со значительными колебаниями условий среды.

Таким образом, стенобионты маловыносливы в отношении изменяющихся условий среды. Их представителями являются типичные обитатели морей и пресных водоемов. Например, камбала живет только в соленой, а карась — только в пресной воде (рис. 2). Эврибионты характеризуются способностью легко приспосабливаться к сильно изменяющимся условиям среды. Типичным представителем эврибионтов является колюшка, которая может жить как в пресных, так и в соленых водах.

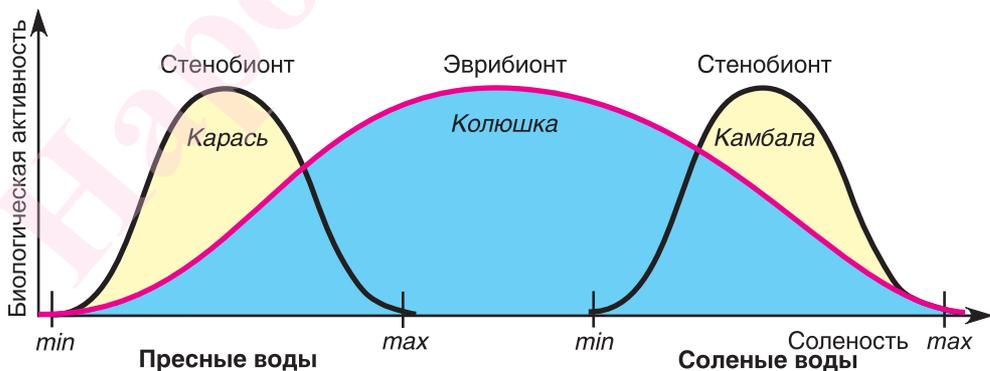


Рис. 2. Различие пределов толерантности рыб по отношению к солёности воды

Именно поэтому одни виды обитают в сильно изменяющихся условиях среды, а другим для жизни требуется относительное постоянство этих условий. В связи с этим переселение из одной среды обитания в другую для одних видов завершается успешно, а для других заканчивается гибелью.

Таким образом, каждый вид обладает своим специфическим *экологическим спектром* — совокупностью пределов толерантности вида по отношению ко всем экологическим факторам среды обитания. Экологический спектр определяет границы среды обитания вида. Чтобы вселение новых видов было успешным, человек должен сопоставлять экологический спектр вселяемого вида с диапазоном колебания факторов в данной среде.



Все виды живых организмов по отношению к различным экологическим факторам имеют определенные пределы выносливости (толерантности), которые ограничены экологическим минимумом и экологическим максимумом. В этих пределах выделяют зоны, различающиеся по силе воздействия фактора на организм: зону оптимума, зону нормальной жизнедеятельности и зону пессимума. В зависимости от пределов выносливости организмы делят на стенобионтов и эврибионтов.



1. Дайте определение понятий «экологический минимум», «экологический максимум», «экологический оптимум», «пределы толерантности». **2.** Укажите различия между стенобионтами и эврибионтами. Подтвердите их на конкретных примерах. **3.** Если у организма пределы выносливости по отношению к температуре составляют 4—30 °С, то какое из значений температуры для него будет самым оптимальным? **4.** Укажите, какие пределы выносливости по отношению к влажности (25—60 %; 40—75 %; 35—85 %; 50—95 %) должен иметь организм, чтобы чувствовать себя наиболее комфортно в среде с влажностью 60 %.

§ 4. Взаимодействие экологических факторов. Лимитирующий фактор

Взаимодействие экологических факторов. Исходя из описанных ранее закономерностей действия факторов среды на организм, можно предвидеть реакцию организма на определенную силу воздействия фактора. Однако в природе все факторы среды воздействуют на организм одновременно и с разной силой, причем, действие отдельного фактора сильно зависит от сочетания и количественного значения силы других факторов.

В среде обитания экологические факторы не только влияют на организмы, но и взаимодействуют друг с другом. При этом наблюдается усиление или ослабление силы одного фактора под влиянием другого. В результате абсолютная сила

фактора, которую можно измерить с помощью соответствующего прибора, не равна силе воздействия фактора, которую воспринимает организм. Например, высокую температуру легче переносить при низкой, а не высокой влажности воздуха; угроза обморожения выше на морозе с сильным ветром, чем в безветренную погоду. Таким образом, один и тот же фактор в сочетании с другими оказывает неодинаковое экологическое воздействие на организм. И наоборот, один и тот же экологический эффект для организма может быть достигнут разными путями. Например, компенсация недостатка влаги для растений может быть осуществлена поливом или снижением температуры среды. Другой пример: скорость фотосинтеза при слабой освещенности может быть повышена увеличением освещенности или повышением концентрации углекислого газа в воздухе.

Все эти примеры служат доказательством комплексного воздействия факторов среды на организм и частичной взаимозаменяемости действия одного экологического фактора другим. Однако взаимная компенсация факторов имеет пределы и полностью заменить один из необходимых организму факторов другим невозможно.



Например, зеленое растение нельзя вырастить в полной темноте даже при самой высокой концентрации углекислого газа или на дистиллированной (не содержащей минеральных веществ) воде при самом оптимальном световом и тепловом режиме. Эта закономерность получила название *принципа незаменимости факторов*: действие одного фактора может быть изменено другим, но не заменено.

В природной среде в результате взаимодействия различных факторов их действие на организм может компенсироваться, суммироваться и взаимно усиливаться. Компенсация факторов характерна в основном для сообщества, но возможна и на уровне вида. Например, утки, оставшиеся зимовать в умеренных широтах, компенсируют недостаток тепла обильным питанием. Примером простого суммирования факторов является одновременное чувство холода и жажды у человека и животных. Действуя совместно, экологические факторы могут взаимно усиливаться, и, как следствие, изменяется жизнеспособность организма. Например, высокий уровень внешнего радиоактивного излучения и повышенное содержание нитратов в питьевой воде в несколько раз увеличивают угрозу для здоровья человека, чем каждый из этих факторов, взятый в отдельности.

В условиях комплексного воздействия факторов среды на организм встает вопрос, какой из факторов играет главную роль в жизни организма в данной среде.

Лимитирующий фактор. Поскольку факторы среды, воздействующие на организм, обладают разной силой, то организм в один и тот же момент должен был бы проявлять разный уровень жизнедеятельности в ответ на действие каждого из этих факторов. Но это невозможно. Например, если для растения температура находится в зоне оптимума, освещенность — в зоне нормальной жизнедеятельности, а влажность — в зоне пессимума вблизи экологического минимума, то данное

растение не будет расти и развиваться, хотя света и тепла достаточно. Его жизнедеятельность будет ограничивать недостаток влаги. Если произвести полив растения, то оно вновь начнет расти. Следовательно, жизнедеятельность организма лимитирует (ограничивает) фактор, который больше всего отклонился от зоны оптимума. Если этот фактор выйдет за пределы толерантности, то организм погибнет.

Лимитирующий (ограничивающий) фактор — фактор, наиболее отклонившийся от своего оптимального значения по сравнению с другими факторами и определяющий уровень жизнедеятельности организма в данной среде.

Если изменить силу лимитирующего фактора, то жизнедеятельность организма изменится. Значит, выявление лимитирующих факторов имеет большое практическое значение, поскольку позволяет управлять жизнедеятельностью организмов.

Это дает человеку отправную точку при исследовании сложных ситуаций в хозяйственной деятельности и помогает понять многие явления и принципы распределения организмов в природе. Основное внимание следует уделять тем факторам, которые наиболее важны для организма на данном этапе его жизненного цикла. Тогда удастся довольно точно предсказать результат изменений среды.

Чтобы сохранить исчезающий вид в определенном регионе, нужно выяснить, не выходят ли лимитирующие факторы среды за пределы его экологической пластичности, особенно в период размножения и развития. Изменяя силу факторов, ограничивающих размножение особей, можно добиться повышения их численности, и таким образом сохранить исчезающий вид. Выявление лимитирующих факторов очень важно и в практике сельского хозяйства, так как, направив основные усилия на их устранение, можно быстро и эффективно повысить урожайность культурных растений или продуктивность домашних животных.



В природе все факторы среды воздействуют на организм как единый комплекс, в котором действие отдельного фактора зависит от сочетания и количественного значения абсолютной силы других факторов. При этом жизнедеятельность организма определяет лимитирующий фактор, который наиболее отклонился от своего оптимального значения по сравнению с другими факторами среды. Изменяя силу этого фактора, можно управлять жизнедеятельностью организмов в природе и хозяйстве.



1. Как может изменяться воздействие фактора на организм под влиянием других факторов среды? Приведите примеры. **2.** Какое из значений температуры (25 °С; 18 °С; 12 °С; 14 °С; 33 °С) будет ограничивать рост растения, если его пределы выносливости к температуре составляют 12—55 °С? **3.** Приведите примеры использования знаний о лимитирующих факторах в практической и природоохранной деятельности человека.

§ 5. Свет в жизни организмов

Свет как абиотический фактор среды. Одним из условий существования жизни на Земле является солнечный свет, поступающий из космического пространства. Характеристика спектра солнечного света представлена в таблице 1.

Таблица 1. Состав солнечного спектра

Составные компоненты	Длина волны, нм	Содержание в спектре, %
Ультрафиолетовые лучи	30—400	9
Видимый свет	400—700	46
Инфракрасные лучи	более 700	45

Ультрафиолетовые лучи действуют на организмы неоднозначно в зависимости от дозы. Ультрафиолетовые лучи почти полностью поглощаются озоновым слоем, до земной поверхности доходят только лучи с длиной волны 200—400 нм. Наибольшую опасность для человека представляют лучи с длиной волны 280—320 нм, обладающие канцерогенным действием. Избыточное облучение ультрафиолетом может вызвать рак кожи (меланому), стать причиной развития катаракты (помутнения хрусталика). В то же время в небольших дозах ультрафиолетовые лучи способны стимулировать синтез пигмента кожи меланина, витамина D и активировать процессы клеточного синтеза. Вы уже знаете, что ультрафиолетовые лучи оказывают влияние на обмен кальция и фосфора, а соответственно на нормальный рост и развитие скелета человека.



Велико значение витамина D для растущего потомства млекопитающих и птиц. Лисицы и барсуки, выводящие детенышей в норах, регулярно выносят их на солнце. «Солнечное купание» свойственно многим птицам. Стремятся погреться на солнышке после зимовки и домашние животные. Известно, что умеренное ультрафиолетовое облучение молодняка сельскохозяйственных животных положительно сказывается на их росте и развитии.

Видимый свет наиболее важен для существования жизни на Земле, так как играет роль основного энергетического и сигнального фактора. Поглощаемый поверхностью Земли, он определяет все разнообразие климатических условий и температуру верхних слоев морских и пресных вод. Различные участки спектра видимого света действуют на организмы по-разному: красные лучи оказывают тепловое действие, синие и фиолетовые — изменяют скорость и направление некоторых биохимических реакций. Особенно велико значение видимого света в жизни растений, которые для фотосинтеза наиболее эффективно используют свет с длиной волны 680 и 700 нм.

Для подавляющего большинства организмов видимый свет является источником тепла. Дневным животным видимый свет позволяет ориентироваться в среде. Некоторые ночные виды (совы, филины) могут перемещаться даже при слабой освещенности. Сигналом к перелетам птиц служит изменение длины светового дня. Растения также способны изменять положение своих органов в пространстве под действием света, т. е. проявлять фототропизм.

Фототропизм (от греч. *phōtós* — свет) — ростовые движения органов растений под влиянием одностороннего освещения. Обычно у стеблей наблюдается положительный (по направлению к свету), а у корней — отрицательный (от света) фототропизмы. Положительный фототропизм можно наблюдать на посевах подсолнечника во время цветения: с восхода и до захода соцветия подсолнечника, как локаторы, поворачиваются вслед за солнцем.

Инфракрасное излучение является источником тепловой энергии, которая поглощается водой клеток. Некоторые наземные животные, не имеющие постоянной температуры тела (ящерицы, змеи), используют его для повышения температуры тела.

Влияние солнечного света на организмы зависит не только от его качества (длины волны или цвета), интенсивности освещения, но и от продолжительности его воздействия — длины светового дня (*фотопериода*).

Фотопериод и фотопериодизм. *Фотопериод — длина светового дня, зависящая от времени года вследствие движения Земли вокруг Солнца.* Длина светового дня в области экватора относительно постоянна в течение всего года (около 12 ч). Но в умеренных и высоких широтах фотопериод значительно изменяется в зависимости от времени года. Изменение фотопериода играет сигнальную роль, как для растений, так и для животных. Оно является для них пусковым механизмом, включающим последовательность физиологических процессов: рост, цветение, плодоношение, листопад, период покоя у растений; линьку, накопление жира, миграцию, размножение у животных.

Фотопериодизм — характерная реакция организмов на сезонные изменения длины светового дня, синхронизирующая их биологическую активность с временами года.

Длина светового дня, обеспечивающая переход организма в очередную фазу развития, называется *критической длиной дня*. Чем выше значение географической широты данной местности, тем больше значение критической длины дня. Для каждого вида растений характерно свое значение критической длины дня. По типу фотопериодической реакции наземные растения разделяют на три основные группы: короткодневные, длиннодневные и нейтральные к длине светового дня.



Короткодневные растения цветут ранней весной или осенью и нуждаются для этого в более короткой длине дня (менее 12 ч), чем критическая (земляника, хризантемы, рис, соя, просо). *Длиннодневные растения* цветут летом и нуждаются для этого в большей, чем критическая, длине дня (более 12 ч) (картофель, рожь, ячмень, овес, пшеница, редис). *Растения, нейтральные к длине светового дня*, цветут вне зависимости от длины дня (огурец, подсолнечник, кукуруза, томат, горох, одуванчик).

Таким образом, регулируя длину светового дня путем изменения продолжительности естественного или искусственного освещения, можно задерживать или ускорять наступление периода цветения у растений в зависимости от поставленных целей.

Экологические группы растений по отношению к световому режиму. В процессе эволюции у растений выработались эффективные приспособления (адаптации) к успешной жизни при световом режиме их местообитаний.

По разнообразию адаптаций и способности произрастать при определенном

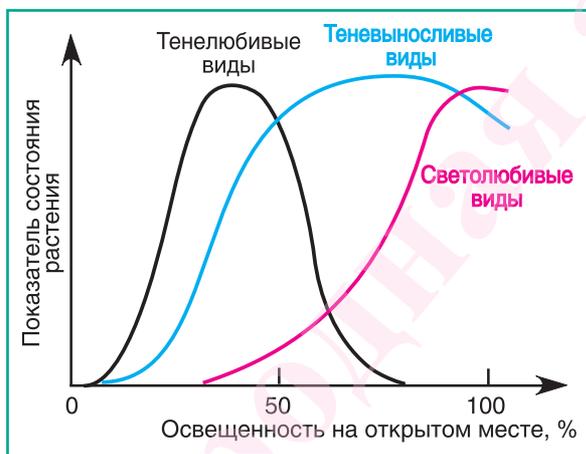


Рис. 3. Световые оптимумы разных экологических групп растений

световом режиме выделяют три экологические группы растений: светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые растения. Они отличаются положением светового оптимума в пределах толерантности (рис. 3).

Светолюбивые растения живут на открытых территориях, поглощают много солнечной энергии. Это растения пустынь, полупустынь, степей, высокогорных лугов, пустырей и обочин дорог (мать-и-мачеха, очиток), сорняки и культурные растения открытого грунта (подсолнечник, пшеница). Светолюбивые деревья образуют светлые леса, их кроны не смыкаются (лиственница, сосна, осина, береза и др.). У светолюбивых растений листовые пластинки в основном более толстые и светлые, чем у тенелюбивых и теневыносливых растений. Они чаще небольшие, блестящие, иногда покрыты воском или имеют опушение. Листья ориентированы вертикально или под большим углом к горизонту, поэтому получают лишь скользящие лучи. У них есть приспособления для поворота листовых пластинок ребром к солнцу. Мезофилл (мякоть листа) хорошо развит, особенно столбчатая паренхима (рис. 4), хлоропласты мелкие.

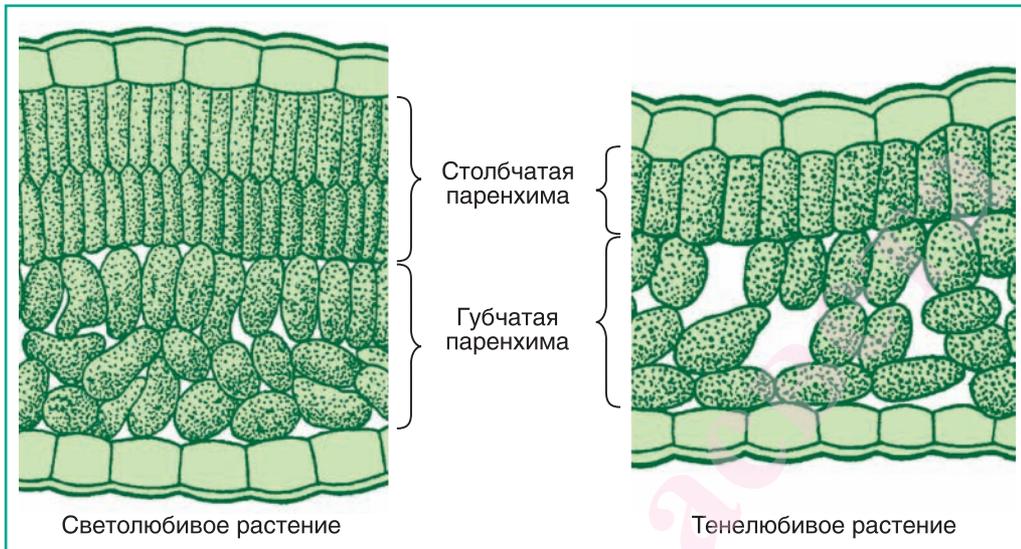


Рис. 4. Внутреннее строение листа растений разных экологических групп

Тенелюбивые растения обитают в сильно затененных местах (нижние ярусы тропического леса, горные ущелья, таежные ельники, лесостепные дубравы). К ним относятся мхи, папоротники, кислица, недотрога, медуница и др. У многих тенелюбивых растений листовые пластинки располагаются почти под прямым углом к источнику света, не затеняя друг друга (*листовая мозаика*). Листья очень тонкие, имеют хорошо развитую губчатую паренхиму, содержат крупные хлоропласты и много межклетников. Столбчатая паренхима развита слабо и представлена, как правило, одним слоем клеток.

Теневыносливые растения предпочитают хорошую освещенность, но могут расти и в тени. Это растения лесных опушек, лугов, степей (лещина, сныть, подорожник, злаковые травы, ежевика). У травянистых форм теневыносливых растений стебель тонкий, с длинными междоузлиями. Они образуют живой напочвенный покров и кустарниковый ярус в лесах умеренного пояса.



Солнечный спектр состоит из видимого света, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Характерная реакция организмов на сезонное изменение длины светового дня (фотопериод) называется фотопериодизмом. По приспособленности к определенному световому режиму наземные растения разделяют на светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые.



1. Какое влияние на организмы оказывают ультрафиолетовые лучи? 2. В чем заключается энергетическая роль видимого света для организмов? 3. Объясните понятия «фотопериод» и «фотопериодизм». 4. Разделите указанные ниже растения на группы по типу фотопериодической реакции: картофель, хризантемы, кукуруза, лук, просо, бобы, подсолнечник, томаты, рожь, ячмень. 5. Какие экологические группы растений по отношению к свету вы знаете? 6. К каким экологическим группам растений относятся: мать-и-мачеха, кислица, недотрога, медуница, очиток, злаки, осина, ежевика, сосна?

§ 6. Температура как экологический фактор

Температура как абиотический фактор среды. На суше одним из важных лимитирующих факторов среды является температура. Влияние температуры на большинство организмов проявляется в регулировании биохимических и физиологических процессов жизнедеятельности, изменении характера поведения, географическом распределении организмов. Для температурного фактора характерны широкие географические, сезонные и суточные колебания (от -70 до $+60$ °С). Пределами толерантности для любого вида являются температуры, при которых наступают денатурация белков, потеря активности ферментов и необратимое изменение коллоидных свойств цитоплазмы. Диапазон переносимых температур у разных видов сильно варьирует, но, как правило, находится в пределах от 0 до $+50$ °С.

Пойкилотермные и гомойотермные организмы. В зависимости от способа терморегуляции выделяют две группы организмов: пойкилотермные и гомойотермные.

Пойкилотермные организмы (от греч. *poikílos* — изменчивый, меняющийся, *thérmē* — тепло) — организмы, температура тела которых непостоянна и изменяется вместе с температурой окружающей среды (рис. 5). К ним относятся все растения, грибы, протисты, беспозвоночные животные, рыбы, земноводные и пресмыкающиеся.

Гомойотермные организмы (от греч. *hómoios* — одинаковый, сходный, *thérmē* — тепло) — организмы, способные поддерживать относительно постоянную температуру тела при изменении температуры окружающей среды. К ним относятся птицы и млекопитающие (в том числе человек). Гомойотермные организмы способны сохранять активность в широком диапазоне температур, тогда как пойкилотермные организмы впадают в оцепенение при низких температурах, а некоторые обитатели пустынь — и при высоких температурах. Гомойотермные животные имеют преимущества в пространственном расселении по сравнению с пойкилотермными.

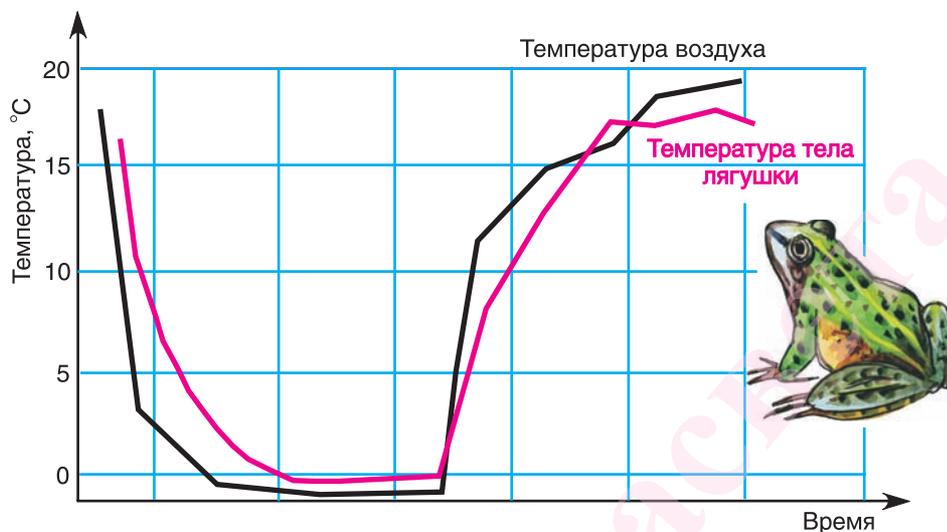


Рис. 5. Влияние изменения температуры воздуха на температуру тела лягушки



Всегда ли гомойотермные организмы поддерживают постоянную температуру тела? Известно, что некоторые виды млекопитающих и птиц способны впадать в оцепенение, внешне сходное с холодным оцепенением пойкилотермных животных. При этом температура их тела снижается практически до уровня температуры окружающей среды. Нерегулярное оцепенение наблюдается у ласточек, стрижей, многих грызунов, некоторых сумчатых в связи с резким похолоданием, дождями или снегопадами. Сезонное оцепенение, которое принято называть *зимней спячкой*, характерно для сурков, сусликов, ежей, белок, летучих мышей, бурых медведей. Вышеназванные виды птиц и млекопитающих выделяют в отдельную группу *гетеротермных животных* (от греч. *hēteros* — иной, другой, *thérmē* — тепло).

Адаптации растений к различным температурным условиям. Жизнедеятельность растений в значительной степени зависит от температуры окружающей среды. По потребности к количеству тепла их разделяют на три экологические группы: теплолюбивые, мезотермные и холодостойкие.

Теплолюбивые растения произрастают в тропическом, субтропическом поясах и хорошо прогреваемых местообитаниях умеренного пояса. У теплолюбивых растений выработались адаптации к действию высоких температур. *Мезотермные* и *холодостойкие растения*, населяющие умеренный и холодный пояса, вынуждены адаптироваться к низким температурам. Все адаптации растений к температуре можно разделить на три типа: биохимические, физиологические и морфологические.

Биохимические адаптации. При высокой температуре в цитоплазме клеток теплолюбивых растений увеличивается содержание защитных веществ (органических кислот, солей, слизи), препятствующих ее свертыванию и нейтрализующих токсичные вещества. У холодостойких растений при низких температурах происходит накопление углеводов (в основном глюкозы) в клеточном соке, что снижает точку замерзания воды.

Физиологические адаптации. Эффективной защитой растений от перегрева служит усиленная транспирация (испарение воды), благодаря большому количеству устьиц.

У растений пустынь и степей короткий цикл развития позволяет избегать действия высоких температур. Вся вегетация у них происходит ранней весной. А летнюю жару они переживают в состоянии покоя (в виде семян, луковиц, клубней или корневищ).

Крайней мерой в борьбе с холодом или жарой является переход растений в состояние *анабиоза* (обратимая приостановка жизненных процессов) вследствие обезвоживания. Например, мхи и лишайники могут длительное время находиться в таком состоянии.

Морфологические адаптации. Действие высоких температур на растения субтропического и тропического поясов снижается за счет усиления отражения солнечных лучей и уменьшения светопоглощающей поверхности. Повышению отражения солнечного света способствует светлая окраска листьев, их блестящая или опушенная поверхность. Уменьшение поглощения света достигается благодаря видоизменению листовых пластинок: колючки (кактусы), уменьшение размера (саксаул), рассеченность (пальмы), сворачивание (ковыль) или складывание листьев (некоторые деревья саванн). Противостоит перегреву растений вертикальное по отношению к солнечным лучам расположение листьев или изменение угла их наклона поворотом листовой пластинки.

Адаптации у растений холодного климата проявляются в виде формирования карликовых (березы, ивы), стелющихся (кедровый стланец, можжевельник туркестанский) и подушковидных (высокогорные и арктические растения-подушки) жизненных форм (рис. 6). Такие растения меньше подвержены воздействию ветра, лучше укрыты снегом зимой, полнее используют тепло почвы летом. Адаптациями, как к высоким, так и к низким температурам у растений являются: развитие мощной корки (наружной части коры) у деревьев, перидермы у молодых побегов, защитных чешуй у почек, прочной кожуры у семян.

Адаптации животных к различным температурным условиям. Разнообразие адаптаций животных к неблагоприятным температурным условиям объясняется разными способами терморегуляции у пойкилотермных и гомойотермных



Рис. 6. Жизненные формы растений холодного климата

организмов. Все адаптации животных по механизму действия разделяют на биохимические, физиологические, морфологические и поведенческие.

Биохимические адаптации. У пойкилотермных животных при переохлаждении происходит накопление «биологических антифризов» (веществ, понижающих точку заморзания воды) в жидкостях тела. Такими веществами у рыб являются гликопротеиды, у насекомых — глицерин, гликоген, высокие концентрации глюкозы. У арктических и антарктических рыб отмечается повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот в составе жиров, что снижает температуру их затвердевания. У гомойотермных организмов борьба с переохлаждением происходит за счет повышения интенсивности обмена веществ. У млекопитающих усиливается расщепление особой жировой ткани (бурого жира), богатой митохондриями и пронизанной многочисленными кровеносными сосудами.

Физиологические адаптации. У пойкилотермных организмов регуляция теплообмена происходит благодаря особенностям строения кровеносной системы.



Большое значение для терморегуляции у пойкилотермных животных имеет наличие артериовенозных «теплообменников». Сосуды, выходящие из мышц, тесно соприкасаются с сосудами, идущими от кожи. Кровь кожи согревает кровь мышц, и в глубь тела она поступает теплой. Отдав свое тепло, охлажденная мышечная кровь вновь направляется к поверхности тела. При увеличении температуры среды у ящериц, например, увеличивается скорость тока крови по сосудам.

При высоких температурах, как у пойкилотермных, так и у гомойотермных организмов теплоотдача может усилиться за счет испарения влаги с поверхности тела, слизистых оболочек ротовой полости и верхних дыхательных путей (потоотделение, тепловая одышка и др.). В случае воздействия низких температур у животных может возникнуть мышечная дрожь, они могут впасть в спячку. У мле-

копитающих с короткой и редкой шерстью важную роль в терморегуляции играют сосудистые реакции. Расширение или сужение мелких поверхностных сосудов кожи усиливает или снижает теплоотдачу.

Морфологические адаптации. Уменьшению потерь тепла у организмов способствуют теплоизолирующие покровы (роговой — у пресмыкающихся, перьевой — у птиц, волосистой — у млекопитающих) и подкожный жир, особенно выраженный у обитателей холодного климата (ластоногие и китообразные).

Поведенческие адаптации. У пойкилотермных животных существует два типа поведенческих адаптаций: активный выбор мест с наиболее благоприятным температурным режимом и смена поз. В первом случае насекомые, пресмыкающиеся и земноводные активно отыскивают освещенные солнцем места. Получив необходимое количество тепла, животные перемещаются в тень или прячутся в норах и поддерживают температуру за счет мышечных сокращений. У водных животных перемещение происходит между мелководными, хорошо прогреваемыми зонами, и более глубоководными прохладными участками.

Смена поз позволяет изменять поверхность тела, прогреваемую солнечными лучами. Например, морские игуаны на Галапагосских островах рано утром или в пасмурную погоду принимают «распростертые» позы, всем телом прижимаясь к субстрату. Это обеспечивает максимальную поверхность обогрева солнцем. При перегреве они принимают «приподнятую» позу, когда грудь и передняя часть тела подняты над субстратом. Это уменьшает поверхность обогрева и тело обдувается ветром.

Для гомойотермных животных также характерно адаптивное поведение в виде выбора мест для защиты от холода или жары, сезонных миграций, зарывания в снег, образования тесных скоплений особей для снижения энергозатрат на терморегуляцию и т. д.



Температура может оказывать лимитирующее действие на организмы вследствие денатурации белков, потери активности ферментов и необратимого изменения коллоидных свойств цитоплазмы. В зависимости от способа терморегуляции организмы разделяют на пойкилотермные и гомойотермные. По отношению к разным температурным условиям среды у организмов выработались биохимические, физиологические, морфологические, а у животных еще и поведенческие адаптации.



1. В чем проявляется лимитирующее действие температуры на организмы? 2. Приведите примеры морфологических адаптаций растений разных экологических групп к температуре. 3. Охарактеризуйте температурные адаптации пойкилотермных и гомойотермных животных. 4. Укажите, какие из перечисленных животных являются пойкилотермными: лягушка, заяц, кит, акула, змея, крокодил, лошадь, тритон.

§ 7. Влажность как экологический фактор

Влажность как абиотический фактор среды. В наземных условиях влажность чаще других экологических факторов лимитирует рост и развитие организмов, так как вода играет большую роль в их жизни. Она является универсальным растворителем, средой для биохимических реакций в клетке. Молекулы воды могут непосредственно участвовать в реакциях как субстрат (гидролиз, фотосинтез). Являясь основным структурным компонентом клеток, вода обуславливает их тургор, а у некоторых животных (круглые и кольчатые черви) служит гидростатическим скелетом. Обладая высоким поверхностным натяжением, вода выполняет транспортную функцию (передвижение веществ) в организме. Благодаря высокой удельной теплоемкости, теплопроводности и теплоте парообразования вода обеспечивает поддержание теплового баланса в организме и предотвращает его перегрев. Она служит средой обитания для водных организмов.

Увлажненность наземных местообитаний сильно различается и зависит от среднемесячного количества осадков, их распределения по временам года, запаса почвенной влаги и грунтовых вод. Недостаточная или избыточная увлажненность среды — главная экологическая проблема наземных обитателей. Степень увлажненности среды влияет на внешний облик и внутреннее строение организмов. В связи с этим выделяют различные экологические группы растений и животных.

Экологические группы растений по отношению к влаге и их адаптации. В наземной среде обеспеченность местообитаний водой и ее доступность весьма нестабильны. Выработка адаптаций к дефициту влаги — ведущее направление эволюции растений при освоении суши. Принято делить все наземные растения на три экологические группы по отношению к влаге: гигрофиты, ксерофиты, мезофиты. Эти группы различаются между собой специфическими приспособлениями к водному режиму среды.

Гигрофиты (от греч. *hygrós* — влажный, *phytón* — растение) — растения, живущие на сильно увлажненных почвах и при высокой влажности воздуха (осоки, пушица, рис, тростник, калужница болотная, папирус и др.) (рис. 7). Они встречаются во всех климатических зонах.

Гигрофиты имеют приспособления для интенсивной транспирации. У них тонкие листовые пластинки с постоянно открытыми устьицами, есть специфические «водяные устьица», через которые выделяется вода в капельно-жидком состоянии. У гигрофитов слабо развиты механическая ткань, кутикула и эпидермис. В мезофилле листьев у них имеются крупные межклетники, а у некоторых видов в корнях и стеблях возможно наличие *аэренхимы* (от греч. *aér* — воздух, *énchyma* — ткань) — ткани, запасующей воздух в межклетниках (болотные гигрофиты). Слабо развита корневая система (корни тонкие, часто без корневых

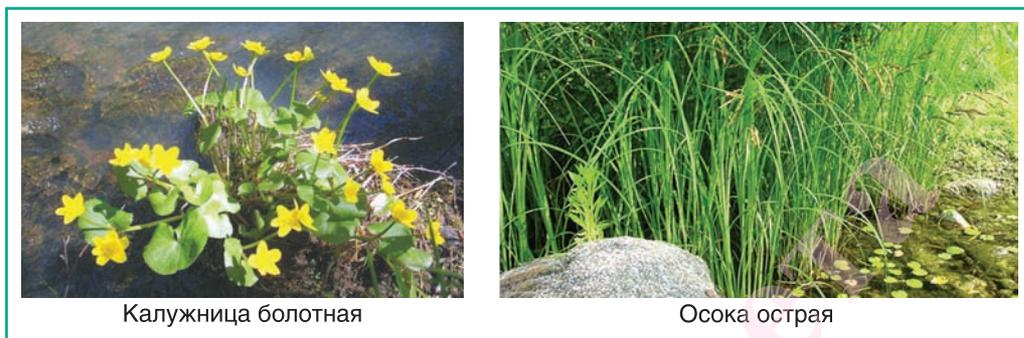


Рис. 7. Гигрофиты

волосков). Гигрофиты не способны перенести даже небольшой недостаток влаги в почве и быстро увядают.

Ксерофиты (от греч. *xérōx* — сухой, *phytón* — растение) — растения, приспособившиеся к жизни в засушливых местах (степи, пустыни, полупустыни, саванны, высокогорья). Они способны длительно выдерживать недостаточное увлажнение. Приспособленность ксерофитов к сухим местообитаниям связана с ограничением затрат воды на транспирацию, с активным добыванием воды при ее недостатке в почве либо с запасанием воды в тканях и органах на время засухи. В зависимости от типа адаптаций выделяют две формы ксерофитов — суккуленты и склерофиты.

Суккуленты (от лат. *succulentus* — сочный) — многолетние растения, способные запасать воду в своих тканях и органах, а затем экономно ее расходовать. В зависимости от того, в каких органах запасается вода, различают три типа суккулентов: листовые, стеблевые (рис. 8) и корневые.

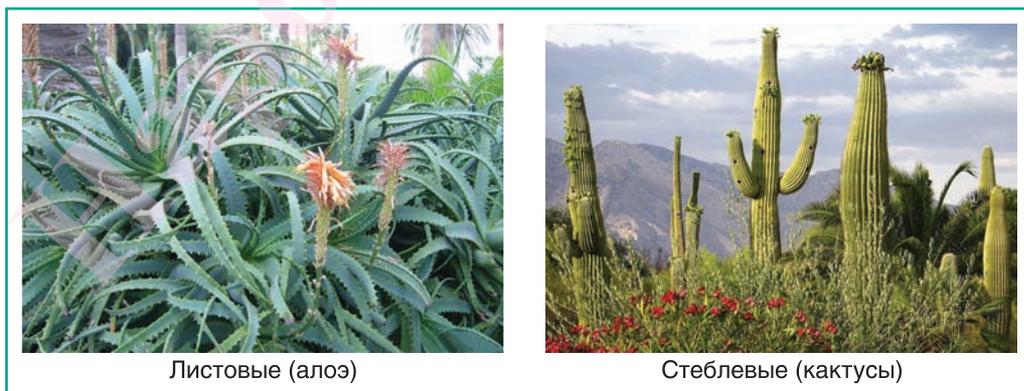


Рис. 8. Суккуленты



Листовые суккуленты накапливают воду в мясистых листьях. Из курса географии вы знаете, что они встречаются в засушливых областях Центральной Америки (агава), Африки и Средней Азии (алоэ), а также на сухих песчаных почвах в наших широтах (очиток, молодило). *Стеблевые суккуленты* имеют сильно развитые водозапасающие ткани в коре и сердцевине стебля. Они широко представлены в американских пустынях (кактусы) и засушливых областях Африки (молочай). *Корневые суккуленты* запасают воду в тканях подземных частей растений. Растущее в Мексике невысокое дерево сейба мелколистная имеет на корнях вздутия диаметром до 30 см, в которых накапливается вода.

Суккуленты интенсивно всасывают воду поверхностными корнями и запасают ее в паренхиме вегетативных органов. Почвенная влага из глубоких слоев почвы для них недоступна. Эпидермис у этих растений покрыт мощной кутикулой, часто имеется восковой налет или густое опушение. Немногочисленные устьица погруженного типа днем чаще всего закрыты. У стеблевых суккулентов листья редуцированы до колючек (кактусы). Функция фотосинтеза перешла к стеблю, который приобрел зеленый цвет.

Склерофиты (от греч. *sclērós* — твердый) — растения со сниженной транспирацией и способностью активно добывать воду при ее недостатке в почве (полынь, ковыль, саксаул, бодяк, чертополох) (рис. 9). Они не запасают влагу на период засухи, а добывают ее и экономно расходуют. Обитают склерофиты преимущественно в степях и пустынях, засушливых местообитаниях умеренной зоны.

Склерофиты имеют сухие жесткие листья и стебли, покрытые толстой кутикулой. Из-за сильного развития механических тканей при водном дефиците у них не наблюдается увядания. Они могут переносить глубокое обезвоживание и без заметного ущерба терять 25—75 % водного запаса (гигрофиты вянут при потере 1—2 % воды). В силу высокого осмотического давления клеточного сока у склерофитов развивается большая сосущая сила, поэтому их называют «растения-



Бодяк



Чертополох

Рис. 9. Склерофиты

ми-насосами». Их корни уходят глубоко в землю (у верблюжьей колючки длина главного корня достигает 15 м) или образуют разветвленную поверхностную корневую систему (степные злаки). В периоды засух транспирация уменьшается за счет ряда морфологических адаптаций. *Во-первых*, у склерофитов мелкие, часто в виде игл или колючек листья, имеющие восковой налет или опушение, и устьица погруженного типа. *Во-вторых*, клетки склерофитов способны удерживать воду благодаря высокой вязкости цитоплазмы.

Мезофиты (от греч. *mesós* — средний) — растения, обитающие в условиях умеренного увлажнения. Они способны переносить кратковременный недостаток влаги. К ним относится большинство листовенных древесных растений, луговые и многие лесные травы, злаки, сорняки, почти все культурные растения умеренной зоны. Это наиболее распространенная экологическая группа растений.

По сравнению с гигрофитами и ксерофитами мезофиты имеют адаптивные признаки промежуточного характера. У них умеренно развита корневая система, имеются корневые волоски, небольшое количество устьиц. В зависимости от обеспеченности влагой устьица могут в любое время открываться или закрываться.



В семенах у мезофитов, обитающих в степях и пустынях, содержится ингибитор (замедлитель) прорастания, который вымывается лишь при количестве осадков, достаточном для вегетации. Такое приспособление предотвращает прорастание семян и гибель проростков в период засухи.

Адаптации животных к различному водному режиму. Сухопутные животные для восполнения потери воды вследствие выделения и испарения нуждаются в периодическом ее потреблении. В зависимости от водного режима у них выработались разные типы адаптаций: морфологические, физиологические и поведенческие.

К **физиологическим адаптациям** относятся особенности процессов жизнедеятельности, восполняющие дефицит влаги в организме. Например, млекопитающие пьют воду, земноводные поглощают ее кожными покровами. Мелкие животные пустынь (грызуны, пресмыкающиеся, членистоногие) добывают воду, поедая растения с сочными побегами. Есть животные, которые могут получать воду за счет окисления жиров (окисление 100 г жира дает 105 г воды). Поэтому обильные отложения жира — горб верблюда, курдюк овцы — служат своеобразными резервуарами химически связанной воды.

К **морфологическим адаптациям** относятся приспособления, задерживающие воду в теле животных. Насекомые и паукообразные имеют многослойную хитинизированную кутикулу, у пресмыкающихся есть роговой покров (роговые чешуи и пластинки), у наземных моллюсков — раковины, у птиц тело покрыто перьями, у млекопитающих — шерстью.

Поведенческие адаптации заключаются в том, что большинство животных активны в поисках воды. Они периодически посещают места водопоя или мигрируют на сухой период в районы с большей влажностью. Способность совершать далекие миграции к водопою характерна для антилоп, сайгаков, куланов. Некоторые животные в сухой период переходят на ночной образ жизни или впадают в летнюю спячку (суслики, сурки, черепахи).



Вода влияет на скорость обмена веществ, участвует в терморегуляции, выполняет транспортную роль в организме. По отношению к увлажненности среды обитания выделяют экологические группы наземных растений: гигрофиты, ксерофиты (суккуленты, склерофиты), мезофиты. Животные для регуляции водного баланса выработали физиологические, морфологические и поведенческие адаптации.



1. Какие экологические группы растений выделяют по отношению к влаге? **2.** Охарактеризуйте адаптации гигрофитов. Назовите их представителей. **3.** Какие общие и отличительные черты строения имеют суккуленты и склерофиты? **4.** Почему букет из цветков калужницы болотной быстро увядает, а хризантемы стоят долго? **5.** Разделите перечисленные ниже растения на экологические группы по отношению к влаге: тростник, полынь, очиток, ковыль, кактус, чертополох, калужница болотная, одуванчик, папирус, мать-и-мачеха. **6.** Какие типы адаптаций к различному водному режиму выработались у животных?

§ 8. Понятие о среде жизни. Водная среда

Вам уже известны такие понятия, как «среда обитания» и «среда жизни». Необходимо научиться их различать. Понятие «среда обитания» рассматривалось в § 2. Что же такое «среда жизни»?

Среда жизни — часть природы с особым комплексом факторов, для существования в которой у разных систематических групп организмов сформировались сходные адаптации.

На Земле можно выделить четыре основные среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную, живой организм.

Водная среда. Плотность воды. Водная среда жизни характеризуется высокой плотностью, особыми температурным, световым, газовым и солевым режимами.

Вода имеет плотность в 800 раз превышающую плотность воздуха. Наибольшая плотность отмечается при температуре +4 °С, при снижении или повышении температуры плотность воды уменьшается. Благодаря высокой плотности вода может служить опорой для организмов. На разных глубинах организмы испытывают разное давление воды. Оно возрастает на 1 атм каждые 10 м. По-

скольку в водной среде давление изменяется в более широком диапазоне, чем в наземно-воздушной, то водные организмы имеют более широкие пределы выносливости по отношению к данному фактору. Однако виды, постоянно обитающие в мелководной или глубоководной зонах, могут существовать только при небольшом изменении давления воды.

Температурный режим водной среды. В воде температура изменяется в меньшей степени, чем на суше из-за высокой удельной теплоемкости и теплопроводности воды. Повышение температуры воздуха на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ вызывает повышение температуры воды на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. С глубиной температура постепенно снижается. На больших глубинах температурный режим относительно постоянен (не выше $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$), а в верхних слоях наблюдаются суточные и сезонные колебания (от 0 до $+36\text{ }^{\circ}\text{C}$). Поскольку в водной среде температура изменяется в узком диапазоне, то для большинства гидробионтов требуется стабильная температура. Для них губительны даже небольшие отклонения температуры, вызванные сбросом предприятиями теплых сточных вод. Гидробионты, способные существовать при больших колебаниях температуры, встречаются только в мелких водоемах со значительными суточными и сезонными перепадами температуры.

Световой режим водной среды. Света в воде меньше, чем в воздухе, так как часть солнечных лучей отражается от ее поверхности, а часть поглощается в толще воды.



День под водой короче, чем на суше. Летом на глубине 30 м он составляет 5 ч , а на глубине 40 м — 15 мин . Быстрое убывание света с глубиной связано с его поглощением водой.

Граница зоны фотосинтеза в морях находится на глубине около 200 м , а в реках — на глубине $1,0\text{—}1,5\text{ м}$ и зависит от прозрачности воды. Прозрачность воды в реках и озерах сильно снижается из-за загрязнения взвешенными частицами. На глубине более 1500 м свет практически отсутствует.

Газовый режим водной среды. В водной среде содержание кислорода в $20\text{—}30$ раз меньше, чем в воздухе, поэтому он является лимитирующим фактором. Кислород поступает в воду за счет фотосинтеза водных растений и способности кислорода воздуха растворяться в воде. При перемешивании воды содержание кислорода в ней возрастает. Верхние слои воды богаче кислородом, чем нижние. При дефиците кислорода наблюдаются заморы (массовая гибель водных организмов). Зимние заморы бывают, когда водоемы покрываются льдом. Летние — когда из-за высокой температуры воды уменьшается растворимость кислорода и повышается концентрация токсичных газов — метана, сероводорода, образующихся в результате разложения отмерших организмов без доступа кислорода.

Из-за непостоянства концентрации кислорода большинство водных организмов по отношению к нему являются эврибионтами. Но есть и стенобионты (форель, планария, личинки поденок и ручейников), которые не переносят недостатка кислорода и являются индикаторами чистоты воды. Углекислый газ растворяется в воде в 35 раз лучше кислорода и его концентрация в ней в 700 раз выше, чем в воздухе. В воде CO_2 накапливается благодаря дыханию водных организмов, разложению органических остатков. Углекислый газ обеспечивает фотосинтез и используется при образовании известковых скелетов беспозвоночных.

Солевой режим водной среды. Соленость воды играет важную роль в жизни гидробионтов. Природные воды по содержанию солей разделяют на группы, представленные в таблице 2.

В Мировом океане соленость составляет в среднем 35 г/л. Самое высокое содержание солей в соленых озерах (до 370 г/л). Типичные обитатели пресных и соленых вод являются стенобионтами. Они не переносят колебаний солености воды. Эврибионтов сравнительно немного (лещ, судак, щука, угорь, колюшка, лосось и др.). Они могут жить как в пресной, так и в соленой воде.

Таблица 2. Соленость природных вод

Тип природных вод	Содержание солей, г/л
Пресные воды	менее 0,5
Солоноватые воды	0,5—16
Соленые воды	более 16

Адаптации растений к жизни в воде. Все растения водной среды называются *гидрофитами* (от греч. *hýdōr* — вода, *phytón* — растение). В соленых водах обитают только водоросли. Тело у них не разделено на ткани и органы. К изменению с глубиной состава солнечного спектра водоросли приспособились путем изменения состава своих пигментов в последовательности: зеленые → бурые → красные (самые глубоководные водоросли).

В пресных водоемах в стеблях высших растений слабо развита механическая ткань, так как вода за счет высокой плотности служит опорой. Адаптацией к недостатку кислорода в воде является наличие в органах растений аэренхимы (воздухоносной ткани). Минеральные вещества находятся в воде, поэтому слабо развиты проводящая и корневая системы. Корни могут вообще отсутствовать (ряска, элодея, рдест) либо служить для закрепления в субстрате (рогоз, стрелолист, частуха). Корневых волосков на корнях нет. Листья чаще тонкие и длинные, либо сильно рассеченные. Мезофилл не дифференцирован, устьица у плавающих листьев находятся на верхней стороне, а у погруженных в воду — отсутствуют. Для некоторых растений характерно наличие листьев разной формы в зависимости от того, где они находятся: в воде или на воздухе (кувшинка, стрелолист) (рис. 10).

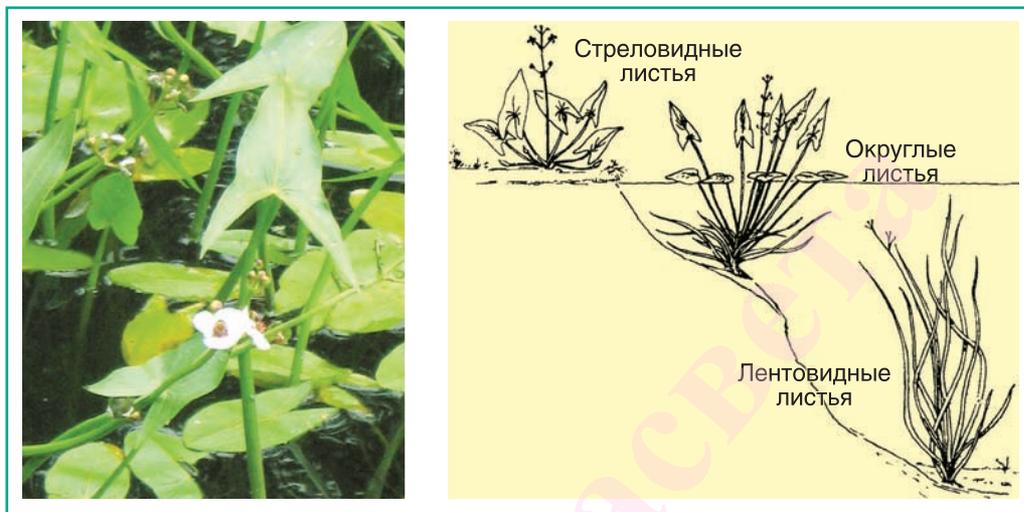


Рис. 10. Морфологическое разнообразие листьев у стрелолиста, растущего на суше, частично или полностью погруженного в воду

Пыльца, плоды и семена водных растений приспособлены к распространению водой. Они имеют пробковые выросты или прочные оболочки, предотвращающие попадание воды внутрь и загнивание.

Адаптации животных к жизни в воде. В водной среде животный мир более богат, чем растительный. Благодаря независимости от солнечного света животные заселили всю толщу воды. По типу морфологических и поведенческих адаптаций их разделяют на следующие экологические группы: планктон, нектон, бентос.

Планктон (от греч. *planktós* — парящий, блуждающий) — организмы, обитающие в толще воды и ведущие пассивный образ жизни (рис. 11). Сюда относятся мелкие ракообразные, кишечнополостные, личинки некоторых беспозвоночных. Все их адаптации направлены на повышение плавучести тела: 1) увеличение поверхности тела за счет сплющивания и удлинения формы, развития выростов и щетинок; 2) уменьшение плотности тела в связи с редукцией скелета, наличием жировых капель, пузырьков воздуха, слизистых чехлов.

Нектон (от греч. *nēktós* — плавающий) — организмы, обитающие в толще воды и ведущие активный образ жизни (рыбы, китообразные, ластоногие, головоногие моллюски) (рис. 12). Противостоять течению им помогают адаптации к активному плаванию и уменьшению трения тела. Активное плавание достигается за счет хорошо развитой мускулатуры, энергии выбрасываемой струи воды, изгибания тела, наличия плавников, ластов и т. д. Уменьшению трения тела



Рис. 11. Представители планктона



Рис. 12. Представители нектона

способствуют: обтекаемая форма тела, эластичность кожных покровов, наличие на коже чешуи и слизи.

Бентос (от греч. *bénthos* — глубина) — организмы, обитающие на дне водоема или в толще донного грунта (рис. 13). Адаптации бентосных организмов направлены на уменьшение плавучести: 1) утяжеление тела за счет раковин (моллюски), хитинизированной кутикулы (раки, крабы, омары, лангусты); 2) закрепление на донном субстрате с помощью органов фиксации (присоски у пиявок, крючья у личинок ручейника) или уплощенного тела (скаты, камбала), зарывание в грунт (многощетинковые черви).

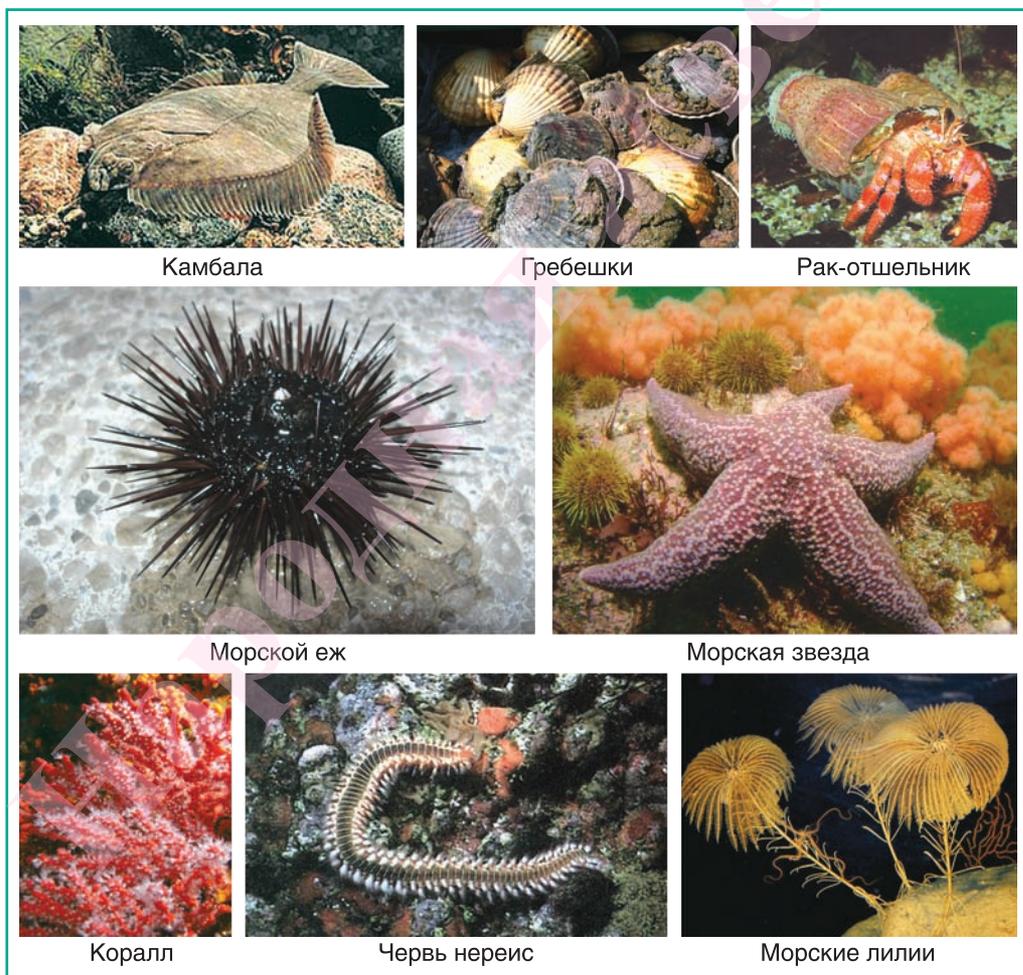


Рис. 13. Представители бентоса



Рис. 14. Представители нейстона



В озерах и прудах выделяют еще одну экологическую группу организмов — нейстон. *Нейстон* — организмы, связанные с поверхностной пленкой воды и обитающие постоянно или временно на этой пленке или до 5 см вглубь от ее поверхности (рис. 14). Их тело не смачивается, поскольку его плотность меньше плотности воды. Особым образом устроенные конечности позволяют передвигаться по поверхности воды, не погружаясь (клопы водомерки). Своеобразной группой водных организмов является также *перифитон* — организмы, образующие на подводных объектах пленку обрастания.



На планете Земля выделяют четыре основные среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную и живой организм. В водной среде лимитирующим фактором является кислород. По характеру адаптаций водных обитателей разделяют на экологические группы: планктон, нектон, бентос.



1. Дайте определение понятию «среда жизни». Какие среды жизни можно выделить на планете Земля? **2.** Охарактеризуйте особенности водной среды жизни. **3.** Укажите источники кислорода и углекислого газа в воде. Содержание какого из газов является лимитирующим фактором? **4.** Почему возникают зимние и летние заморы обитателей водоемов? **5.** Укажите, какие из перечисленных ниже растений являются гидрофитами: пушица, стрелолист, элодея, осока, кувшинка, рис, ряска, папирус. **6.** Установите соответствие между экологическими группами водных обитателей (планктон, нектон, бентос) и их представителями: щука, медуза, камбала, осьминог, краб, дафния, рак-отшельник.

§ 9. Наземно-воздушная и почвенная среды жизни

Газовый режим наземно-воздушной среды. Отличительной особенностью наземно-воздушной среды является наличие в ней воздуха (смеси газов).

Воздух обладает низкой плотностью, поэтому не может выполнять функцию опоры для организмов (за исключением летающих). Именно низкая плотность воздуха определяет его незначительное сопротивление при передвижении организмов по поверхности почвы и затрудняет их перемещение в вертикальном направлении. Низкая плотность воздуха обуславливает также низкое давление на суше (760 мм рт. ст. = 1 атм). Вследствие высокой прозрачности воздух гораздо меньше, чем вода, препятствует проникновению солнечного света.

Газовый состав воздуха постоянен (об этом вы знаете из курса географии). Кислород и углекислый газ, как правило, не являются лимитирующими факторами. В качестве примесей в воздухе присутствуют водяные пары и загрязнители.

За последнее столетие в результате хозяйственной деятельности человека в атмосфере резко повысилось содержание оксидов азота и серы, аммиака, формальдегида, тяжелых металлов, углеводородов и др. Ныне живущие организмы практически не приспособлены к ним. По этой причине загрязнение атмосферы является серьезной глобальной экологической проблемой, требующей осуществления природоохранных мероприятий на уровне всех государств.

Воздушные массы перемещаются в горизонтальном и вертикальном направлениях, что приводит к появлению такого экологического фактора, как ветер. **Ветер** может вызывать перемещение песков в пустынях (песчаные бури). Он способен выдувать почвенные частицы на любом рельефе, снижая плодородие земель (ветровая эрозия). Ветер оказывает механическое воздействие на растения и может быть причиной полегания зерновых, затрудняя их уборку. Он способен вызывать ветровалы (выворачивание деревьев с корнями), буреломы (переломы стволов деревьев), деформировать крону. Перемещение воздушных масс существенно влияет на распределение осадков и температурный режим в наземно-воздушной среде.

Водный режим наземно-воздушной среды. Наземно-воздушная среда может быть как предельно насыщена влагой (тропики), так и очень бедна ею (пустыни). Осадки распределяются неравномерно как по сезонам, так и по географическим зонам, вследствие чего влажность в среде колеблется в широком диапазоне и является основным лимитирующим фактором для живых организмов.

Температурный режим наземно-воздушной среды. Температура в наземно-воздушной среде имеет суточную и сезонную периодичность, к которой организмы адаптировались с момента выхода жизни на сушу. Поэтому она реже, чем влажность, проявляет себя как лимитирующий фактор.

Климат и микроклимат. С понятиями «погода» и «климат» вы уже познакомились в курсе географии. Вам известно, что жизнь организмов в наземно-воздушной среде зависит не столько от изменения отдельных факторов, сколько от их динамического комплекса — климата. **Климат** — это совокупность многолетних, относительно постоянных погодных условий для данной местности. Многолетний режим погоды характеризует тип климата местности. В понятие климата входят суточная, сезонная и годовая динамика климатических факторов. Тип климата определяется географическим положением местности. На его зональное распределение могут оказывать влияние горы и степень удаленности от океана. В горах наблюдается климатическая зональность, аналогичная смене зон от низких широт к высоким в Северном полушарии (рис. 15). Для многих организмов ва-

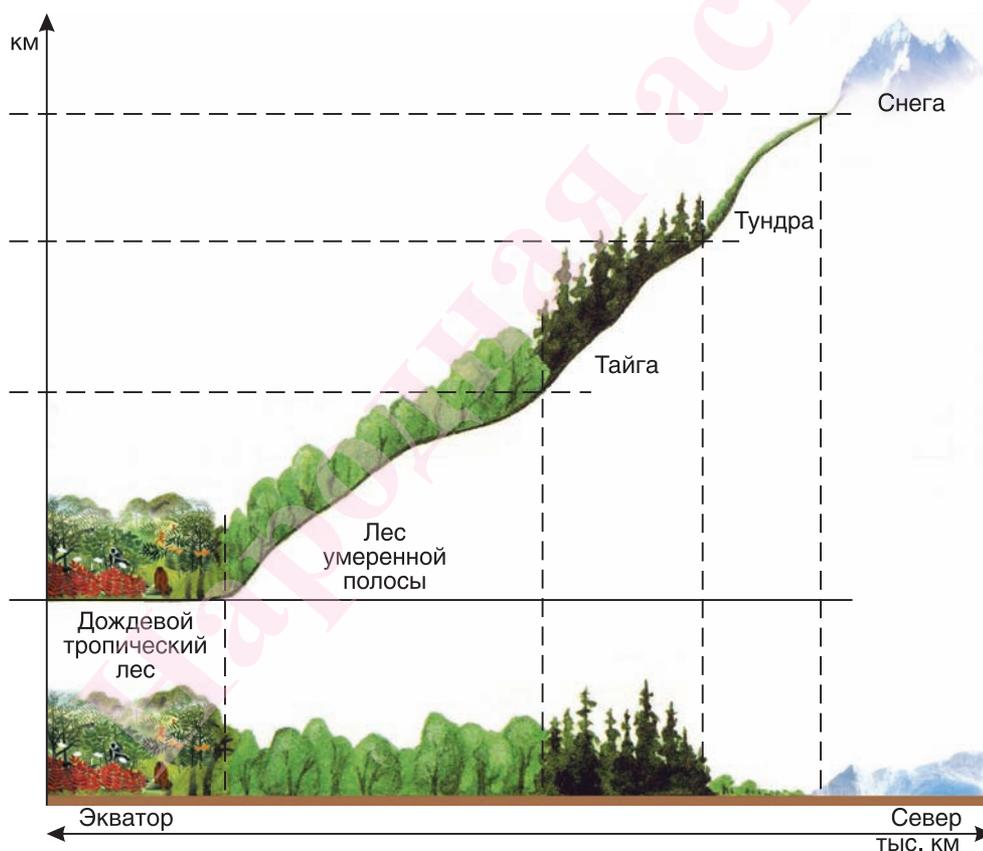


Рис. 15. Смена климатических зон в зависимости от географической широты и высоты в горах

жен не столько климат региона, сколько комплекс факторов в их непосредственной среде обитания. Он может существенно отличаться от общих климатических условий. *Микроклимат* — климат отдельных, небольших участков территории. В каждой климатической зоне может формироваться большое разнообразие микроклиматов.

Общая характеристика почвы как среды жизни. Почва — верхний слой земной коры, образовавшийся в результате взаимодействия климатических и биологических факторов с подстилающей породой (песок, глина и т. д.), обладающий плодородием. Почва контактирует с воздушной средой и выполняет функцию опоры для наземных организмов, является источником минерального питания для растений. В то же время почва — среда жизни для многих видов организмов. Для нее характерны следующие свойства: определенная структура, влажность, температурный режим, аэрация (обеспечение воздухом), реакция среды (рН), засоленность.



Вертикальная структура почвы имеет три основных горизонта: 1) перегнойно-аккумулятивный (гумусовый) горизонт, где накапливаются и преобразуются органические вещества, часть из которых выносятся в нижний слой; 2) горизонт вымывания, где оседают и преобразуются вымытые из верхнего горизонта вещества; 3) материнская порода, которая превращается в почву. Эти горизонты сильно различаются по химическому составу и физическим свойствам. Почвы классифицируются по типам (черноземы, торфяно-болотные, дерново-подзолистые и др.) и по видам (песчаные, супесчаные, суглинки, глинистые и др.).

Плотность почвы увеличивается с глубиной. Влажность, температура и аэрация почвы тесно взаимосвязаны и взаимозависимы. Температурные колебания в почве сглажены по сравнению с приземным воздухом и на глубине 1—1,5 м уже не прослеживаются. Хорошо увлажненные почвы медленно прогреваются и медленно остывают. Повышение влажности и температуры почвы ухудшает ее аэрацию и наоборот. Гидротермический режим почвы и ее аэрация зависят от структуры почвы. Глинистые почвы по сравнению с песчаными сильнее удерживают влагу, хуже аэрируются и хуже прогреваются. По реакции среды почвы разделяются на кислые (рН < 7,0), нейтральные (рН ≈ 7,0) и щелочные (рН > 7,0).

Адаптации растений к жизни в наземно-воздушной среде и почве. В связи с тем, что воздух не может служить надежной опорой, у растений появились механические ткани. Вы уже знаете, что благодаря подвижности воздуха (ветру) у растений сформировались приспособления к опылению, распространению спор, плодов и семян. Широкий диапазон изменения климатических факторов стал причиной формирования плотных покровных тканей.

Почва в жизни растений выполняет функции закрепления, водоснабжения, источника минерального питания. Концентрация питательных веществ в почве привела к развитию у растений корневой системы и проводящих тканей.

Адаптации животных к жизни в наземно-воздушной среде и почве. Жизнь во взвешенном состоянии в воздухе невозможна из-за его низкой плотности. Хотя многие виды (насекомые, птицы) приспособились к активному полету и могут длительно пребывать в воздухе, их размножение происходит на поверхности почвы. Перемещение воздушных масс в горизонтальном и вертикальном направлениях используется некоторыми мелкими организмами для пассивного расселения (пауки, насекомые, протисты). Низкая плотность воздуха стала причиной совершенствования у животных в процессе эволюции наружного (членистоногие) и внутреннего (позвоночные) скелетов. По этой же причине имеет место ограничение предельной массы и размеров тела наземных животных. Самое крупное животное суши — слон (масса до 5 т) гораздо меньше морского гиганта — синего кита (до 150 т). Благодаря появлению разных типов конечностей млекопитающие смогли заселить разнообразные по характеру рельефа участки суши.

Животные, обитающие в почве, имеют ряд адаптаций для жизни в ней (рис. 16). Для них характерны разные способы передвижения в почве: рытье ходов и нор (медведка, крот), раздвигание почвенных частиц и прокладывание ходов (дождевые черви), ползание среди почвенных частиц (личинки насекомых). В связи с этим в процессе эволюции выработались соответствующие адаптации: копательные конечности у землероющих организмов, гидростатический скелет у кольчатых червей, коготки у насекомых, многоножек.

У кротов, перемещающихся в узких ходах, шерсть укладывается в двух направлениях. Почвенные животные имеют короткое компактное тело с ненамокающими покровами (млекопитающие) или покрытое слизью. Недостаток света в почве привел к снижению зрения у многих почвенных животных. У крота крошечные, недоразвитые глаза часто скрыты под складкой кожи.

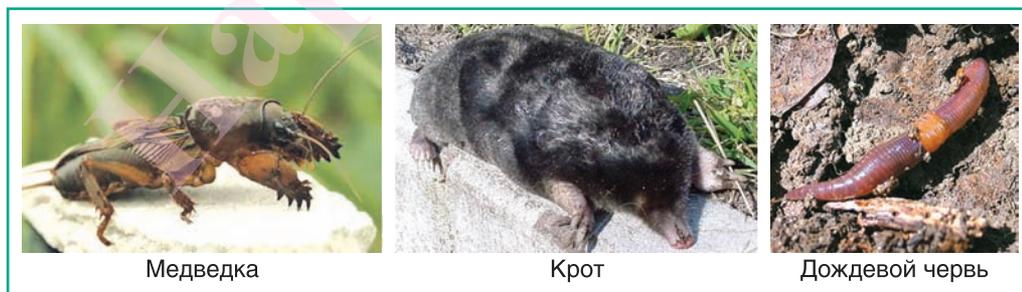


Рис. 16. Обитатели почвы



В наземно-воздушной среде организмы окружены воздухом, имеющим низкую влажность, плотность и давление, высокую прозрачность и содержание кислорода. Влажность является основным лимитирующим фактором. Почва как среда жизни имеет определенную структуру, гидротермический режим, аэрацию. У растений и животных к жизни в наземно-воздушной и почвенной средах выработались разнообразные адаптации.



1. Охарактеризуйте свойства воздуха, как компонента наземно-воздушной среды.
2. Какие факторы наземно-воздушной среды являются лимитирующими? Почему?
3. Перечислите особенности почвы, как среды жизни.
4. Обоснуйте необходимость появления у растений механических, покровных и проводящих тканей в связи с выходом в наземно-воздушную среду.
5. Какие адаптации животных позволяют им обитать в почве?
6. Почему после обильного дождя на поверхности почвы можно увидеть много дождевых червей?

§ 10. Живой организм как среда жизни

Характерные особенности организма как среды жизни. Относительное постоянство внутренней среды одного организма — хозяина — дает возможность использовать его тело другим организмом — сожителем — в качестве среды жизни. **Хозяин** — организм, являющийся средой жизни для других организмов. **Сожитель** — организм, поселяющийся на поверхности или внутри тела другого организма. Сожитель может быть для хозяина нейтральным (мальки рыб в кишечной полости морских кишечнopolостных животных). Он может приносить ему пользу, снабжая питательными веществами (азотфиксирующие клубеньковые бактерии и бобовые растения). Но он может причинять хозяину вред, используя его питательные вещества (аскарида человеческая и человек).



Сожителей больше всего среди микроорганизмов (все вирусы, некоторые представители бактерий и грибов), протистов (дизентерийная амеба, трихомонада) и многоклеточных организмов, имеющих упрощенное строение (плоские и круглые черви, некоторые насекомые).

Наиболее часто в природе встречаются взаимоотношения, когда сожитель живет за счет хозяина и угнетает его жизнедеятельность. Эти взаимоотношения называются **паразитизмом** (от греч. *parásitos* — нахлебник), а сожители — **паразитами**. Академик Е. Н. Павловский дал им следующее определение: «Паразитами называют животных, которые живут за счет особей другого вида, будучи тесно связаны с ними в своем жизненном цикле на большем или меньшем его протяжении».

Паразиты могут поселяться на поверхности тела хозяина как в случае *эктопаразитизма* (вши, блохи, клещи, клопы) или внутри него в случае *эндопаразитизма* (малярийный плазмодий, аскариды, власоглавы, бычий цепень). У эктопаразитов большая часть тела находится вне хозяина (в контакте с окружающей средой) и лишь органы питания внедряются в его живые ткани. У эндопаразитов в процессе эволюции выработались особые приспособления: органы фиксации, обеспечивающие обитание в организме хозяина (кутикулярные крючки, присоски); специфический покров тела, защищающий паразитов от переваривания пищеварительными соками хозяина.

Попав во внутреннюю среду хозяина, эндопаразит получает ряд преимуществ:

1) обилие легко доступной для усвоения пищи, не требующей перестройки процессов пищеварения. Например, клеточный сок растений, кровь животных, содержимое их пищеварительного тракта, уже подвергнутое ферментативной обработке;

2) защищенность от непосредственного воздействия абиотических и биотических факторов внешней среды. Все взаимодействия со сложными и изменяющимися окружающими условиями и врагами берет на себя организм хозяина;

3) относительная стабильность условий существования. Внутренняя среда организма по ряду физико-химических факторов имеет высокую степень постоянства.

В то же время организм как среда жизни создает для паразитов некоторые экологические трудности:

- 1) ограниченность среды во времени и пространстве;
- 2) трудность распространения от одной особи хозяина к другой;
- 3) сложности в обеспечении кислородом;
- 4) защитные реакции организма хозяина.

Как преимущества, так и экологические трудности жизни в другом организме явились причиной формирования у паразитов разнообразных адаптаций, позволяющих им эффективно размножаться и процветать.

Адаптации к жизни в другом организме. Обилие легко доступной пищи привело к упрощению системы пищеварения у паразитов. Например, у печеночного сосальщика пищеварительная система упрощена, а у бычьего цепня и вовсе утрачена. Всасывание питательных веществ у ленточных червей происходит всей поверхностью тела.

У паразитических растений питание соками хозяина привело к редукции системы фотосинтеза и утрате хлорофилла. Среди растений встречаются полные паразиты и полупаразиты. Паразиты не содержат хлорофилла, например, пови-

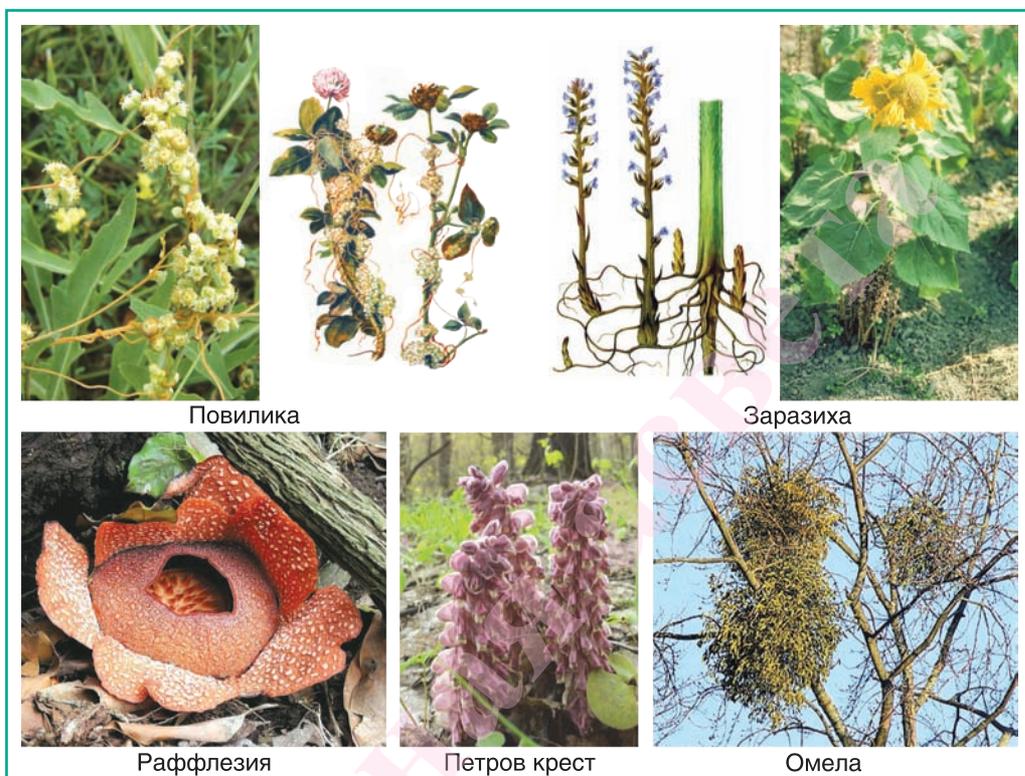


Рис. 17. Растения-паразиты и полупаразиты

лика, заразиха, раффлезия, петров крест. Полупаразиты (омела) имеют хлоропласты и берут от растения только минеральные вещества (рис. 17).

В отличие от свободноживущих организмов, которые сами взаимодействуют с окружающей средой, паразиты «переложили» тяжесть регуляции отношений со средой на хозяина. Отсутствие у паразитов непосредственного контакта с факторами внешней среды привело к упрощению строения их нервной системы и редукции органов чувств. Отпала и необходимость выработки приспособлений для активной и пассивной защиты от врагов.

Так как условия обитания паразитов постоянны и оптимальны, у них нет необходимости вырабатывать сложные механизмы адаптации. Это приводит к экономии расхода энергии на процессы, не связанные с поддержанием жизнедеятельности.

Ограниченность размеров среды обитания паразитов компенсируется малыми размерами их тела и упрощением внешнего строения, а трудности в распро-

странении — повышением способности к размножению. Огромная плодовитость у паразитов получила название «закона большого числа яиц».



Например, человеческая аскарида за сутки способна отложить 250 тыс. яиц, а за 5—6 месяцев половой зрелости — 50—60 млн яиц. Их масса в 1700 раз превосходит массу самки.

Интенсивное развитие половой системы обеспечивает высокие репродуктивные возможности вида. Этому также способствуют *партеногенез* (развитие без оплодотворения), *полиэмбриония* (когда из одного яйца появляется много зародышей), *бесполое размножение* (самки рожают только самок). Возникновение *гермафродитизма* (совмещение в одном организме мужской и женской половых систем) является гарантией полового размножения при наличии даже одной особи. Защита оплодотворенных яиц многослойными оболочками и обеспечение зародыша питанием способствуют выживанию потомства. Развитие приспособлений для выхода личинок из яйца и тела хозяина во внешнюю среду и их проникновение в организм нового хозяина способствуют расселению.

Благодаря смене хозяев в жизненном цикле паразита не допускается скопление в одном организме большого количества особей, что могло бы привести к гибели хозяина.

Сложности в обеспечении кислородом привели у паразитов к редукции дыхательной системы и переходу к анаэробному дыханию. Так как их энергетические затраты невелики, а запасы пищи неиссякаемы, то такой способ дыхания оправдан.



Взаимоотношения, когда один организм (паразит) живет за счет другого (хозяина), называются паразитизмом. Паразит, использующий хозяина как среду жизни, получает ряд преимуществ, но при этом испытывает экологические трудности. Основные адаптации к паразитизму: малые размеры тела, упрощение внешнего и внутреннего строения, повышение способности к размножению, наличие смены хозяев в жизненном цикле.



1. Какое влияние может оказывать сожитель на своего хозяина? **2.** Какие взаимоотношения между организмами называются паразитизмом? **3.** В чем преимущества организма как среды жизни? **4.** Какие экологические трудности для обитателей создает организм как среда жизни? **5.** Назовите основные адаптации организмов к жизни в другом организме. **6.** Что позволяет люпину (бобовое растение) расти на бедных песчаных почвах и давать хороший урожай?



§ 11. Понятие вида. Критерии вида

Вид как таксономическая категория. Чтобы изучать многообразие жизни, человеку необходимо было разработать систему классификации организмов для разделения их на группы. Как вы уже знаете, основной структурной единицей в систематике живых организмов является вид.

Вид — исторически сложившаяся совокупность популяций, особи которых сходны по морфологическим, физиологическим и биохимическим признакам, свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определенным условиям среды и занимают в природе общую территорию — ареал.

Для того чтобы отнести особей к одному и тому же или к разным видам, их сравнивают между собой по ряду определенных характерных признаков — критериев.

Критерии вида — совокупность характерных однотипных признаков, по которым особи одного вида схожи, а особи разных видов различаются между собой. В современной биологии выделяют следующие основные критерии вида: морфологический, физиологический, биохимический, генетический, экологический, географический.

Морфологический критерий отражает совокупность характерных признаков внешнего строения. Например, виды клевера различаются по окраске соцветий, форме и окраске листьев (рис. 18). Этот критерий относительный. В пределах вида особи могут заметно различаться по строению в зависимости от пола (*половой диморфизм*), стадии развития, способа размножения, условий среды обитания, принадлежности к сортам или породам.

Например, у кряквы самец ярко окрашен, а самка темно-бурая, у благородного оленя самцы имеют рога, а у самок их нет (рис. 19). У бабочки капустной белянки гусеница отличается от взрослой особи внешними признаками. У папоротника щитовника мужского спорофит имеет листья и корни, а гаметофит представлен зеленой пластинкой с ризоидами. В то же время некоторые виды настолько схожи по морфологическим признакам, что их называют видами-двойниками. Например, некоторые виды малярийных комаров, дрозофил, североамериканских сверчков внешне не различаются, но не скрещиваются между собой.

Таким образом, на основании одного морфологического критерия нельзя судить о принадлежности особи к тому или иному виду.

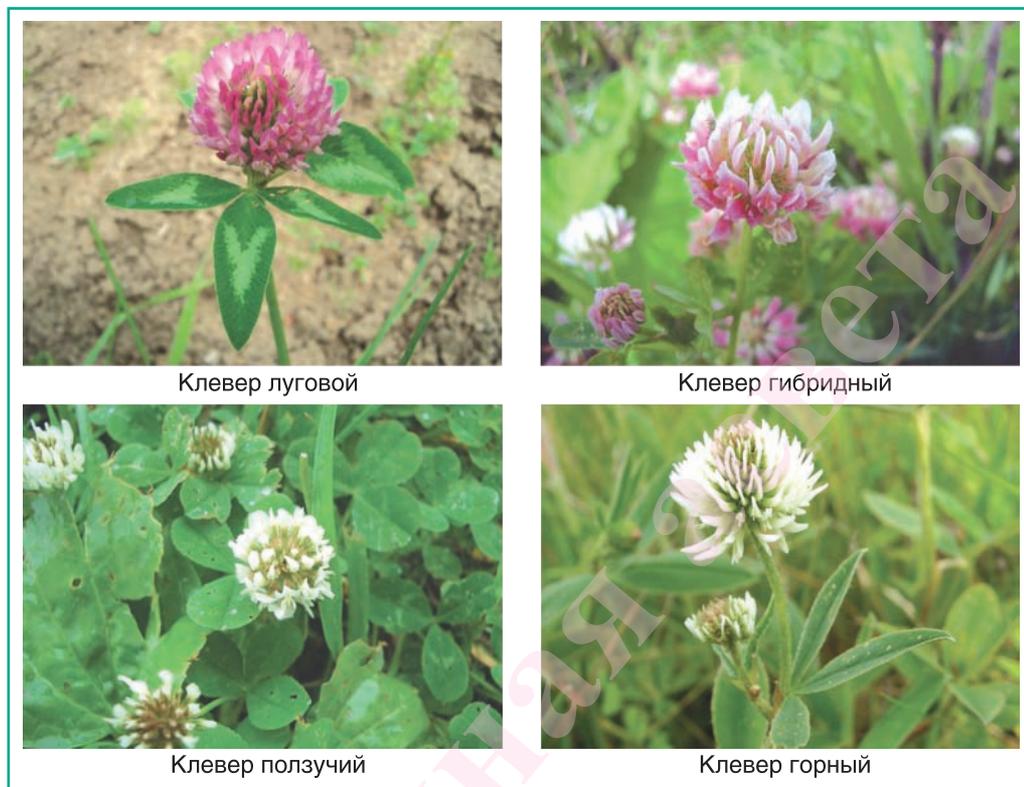


Рис. 18. Морфологические различия разных видов клевера

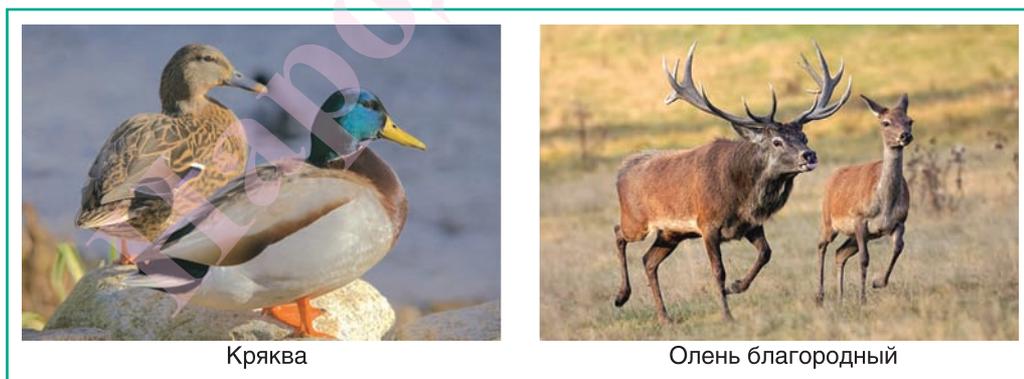


Рис. 19. Внешние различия самцов и самок — доказательство относительности морфологического критерия

Физиологический критерий — совокупность характерных особенностей процессов жизнедеятельности (размножения, пищеварения, выделения и др.). Одним из важных признаков является способность особей скрещиваться. Особи разных видов не могут скрещиваться из-за сдвига сроков размножения, несовместимости половых клеток, несоответствия поведения в брачный период. Этот критерий относительный, поскольку и особи одного вида иногда не могут скрещиваться. Например, растения одуванчика на южном склоне холма зацветают раньше и могут отцвести к моменту цветения растений на северном склоне. Значит, опыление между ними будет невозможно, хотя они и относятся к одному виду. И наоборот, известны такие виды, представители которых могут скрещиваться между собой. Например, лошадь и осел, представители некоторых видов ив, тополей, зайцев, канареек. Из этого следует, что для определения видовой принадлежности особей недостаточно сравнивать их только по физиологическому критерию.

Биохимический критерий отражает характерный химический состав тела и обмен веществ. Это самый ненадежный критерий. Нет веществ или биохимических реакций, характерных только для определенного вида. Особи одного вида могут значительно различаться по этим показателям. Тогда как у особей разных видов синтез белков и нуклеиновых кислот происходит одинаково. Ряд биологически активных веществ играют аналогичную роль в обмене веществ у разных видов. Например, хлорофилл у всех зеленых растений участвует в фотосинтезе. Значит, определение видовой принадлежности особей на основании одного биохимического критерия тоже невозможно.

Генетический критерий характеризуется определенным набором хромосом, сходных по размерам, форме и составу. Это самый надежный критерий, так как он является фактором репродуктивной изоляции, поддерживающей генетическую целостность вида. Однако и этот критерий не является абсолютным. У особей одного вида число, размеры, форма и состав хромосом могут различаться в результате геномных, хромосомных и генных мутаций. В то же время при скрещивании некоторых видов иногда появляются жизнеспособные плодовитые межвидовые гибриды. Например, собака и волк, тополь и ива, канарейка и зяблик при скрещивании дают плодовитое потомство. Таким образом, сходства по данному критерию также недостаточно, чтобы отнести особей к одному виду.

Экологический критерий — это совокупность характерных факторов среды, необходимых для существования вида. Каждый вид может обитать в той среде, где климатические условия, особенности почвы, характер рельефа и источники пищи соответствуют его пределам толерантности. Но в этих же усло-

виях среды могут обитать и организмы других видов. Выведение человеком новых пород животных и сортов растений показало, что особи одного вида (дикие и окультуренные) могут жить в сильно различающихся условиях среды. Это доказывает относительный характер экологического критерия и необходимость использования других критериев при определении принадлежности особей к определенному виду.

Географический критерий представляет собой определенную часть земной поверхности (ареал) в природе, где обитают особи данного вида.

Например, лиственница сибирская распространена в Сибири (Зауралье), а лиственница даурская — в Приморском крае (Дальний Восток), морошка — в тундре, а черника — в умеренной зоне.

Этот критерий указывает на приуроченность вида к определенному местообитанию. Но есть виды, не имеющие четких границ расселения, а обитающие практически повсеместно (лишайники, бактерии). У некоторых видов вообще нет собственного ареала. Они сопровождают человека и называются *синантропными видами* (комнатная муха, постельный клоп, домовая мышь, серая крыса). У разных видов могут быть совпадающие местообитания. Значит, и этот критерий имеет относительный характер и не может использоваться в качестве единственного для определения видовой принадлежности особей.

Таким образом, ни один из описанных критериев не является абсолютным и универсальным, поэтому при определении принадлежности особи к определенному виду следует учитывать все его критерии.

Ареал вида. Понятие об эндемиках и космополитах. Согласно географическому критерию, каждый вид в природе занимает определенную территорию — ареал.

Ареал (от лат. *area* — площадь, пространство) — *часть земной поверхности, в пределах которой распространены и проходят полный цикл своего развития особи данного вида.*

Ареал может быть *сплошным* или *прерывистым* (рис. 20), *обширным* или *ограниченным*. Виды, имеющие обширный ареал в пределах разных континентов, называются *видами-космополитами* (некоторые виды протистов, бактерий, грибов, лишайников). Когда ареал распространения очень узкий и находится в пределах небольшого региона, то населяющий его вид называется *эндемиком* (от греч. *éndēmos* — местный).

Например, кенгуру, ехидна и утконос обитают только в Австралии. Гинкго в естественных условиях произрастает только в Китае, рододендрон остроконечный и лилия даурская — только на Дальнем Востоке.

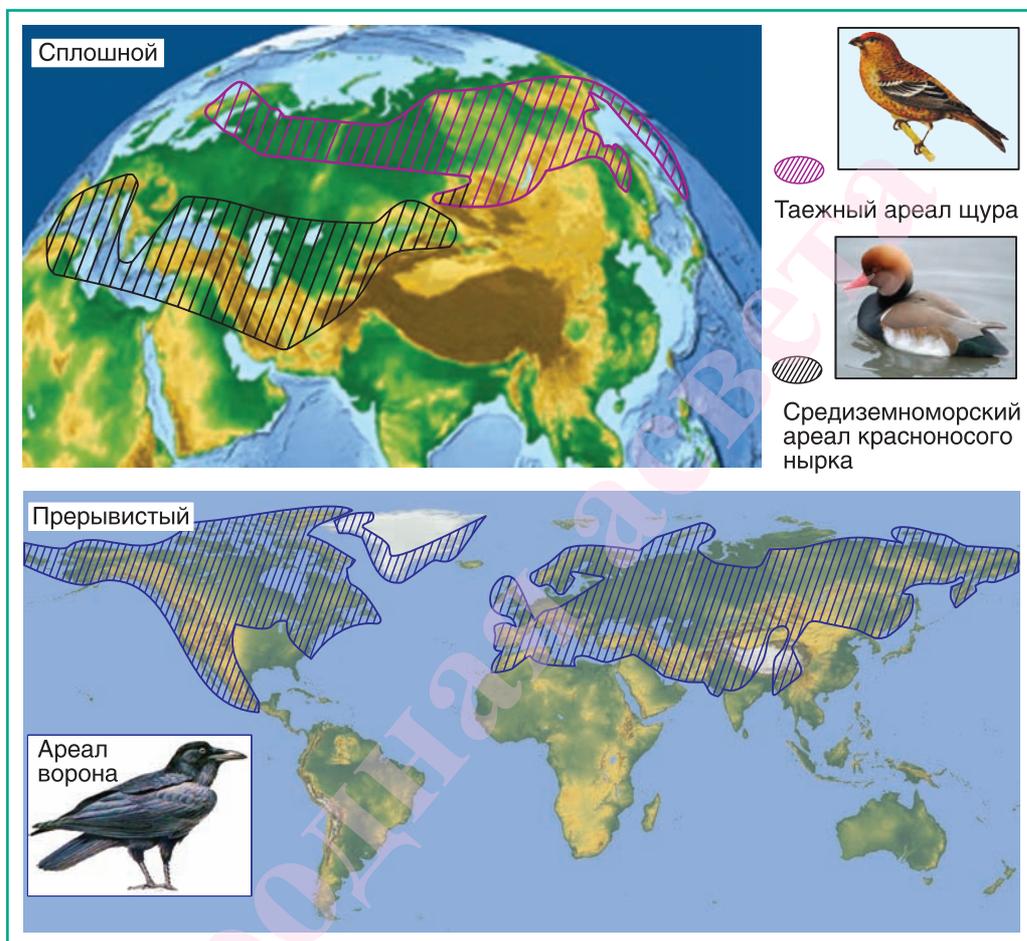


Рис. 20. Виды ареалов



Вид — совокупность популяций, особи которых сходны по морфологическим, физиологическим и биохимическим признакам, свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определенным условиям среды и занимают в природе общую территорию — ареал. Для каждого вида характерны следующие критерии: морфологический, физиологический, биохимический, генетический, экологический, географический. Все они носят относительный характер, поэтому при определении видовой принадлежности особей используют все возможные критерии.



1. Перечислите критерии вида. Какой из них самый надежный, а какой — самый ненадежный? Обоснуйте ответ. 2. В приведенном ниже списке животных подсчитайте количество видов и родов: еж обыкновенный, заяц беляк, медведь бурый, ворона черная, заяц русак, медведь белый, ворон. 3. Какой критерий вида указан в следующих названиях видов: мышь лесная и мышь полевая; медведь бурый и медведь белый? 4. Укажите, какие из перечисленных ниже видов называются эндемиками: ехидна, заяц русак, кенгуру, сосна обыкновенная, утконос, гинкго, волк.

§ 12. Свойства популяции

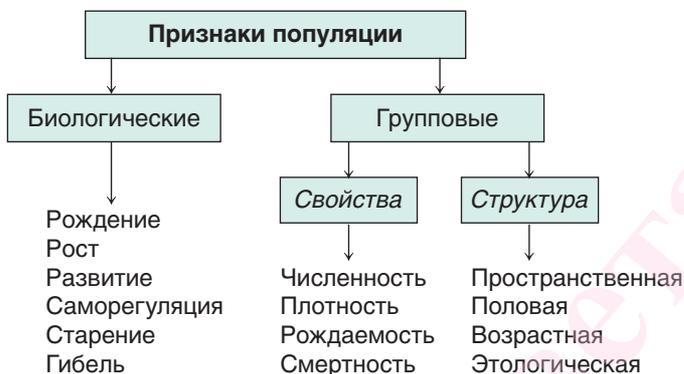
Понятие популяции. Каждый вид заселяет ареал не просто как скопление особей, а в виде относительно обособленных групп разного масштаба. Формирование этих групп является следствием разнообразия абиотических факторов и наличия различных преград (реки, горы) в пределах ареала. Такие группы особей, неравноценные по ряду признаков и населяющие разные по условиям участки ареала, были названы *популяциями*. Термин «популяция» (от лат. *populus* — народ, население) ввел в экологию датский биолог В. Иогансен в 1903 г.

Популяция — группа особей одного вида с общим генофондом, находящихся во взаимодействии между собой и населяющих общую территорию.

Каждая популяция живет в конкретной части ареала и приспособлена к существованию в определенных экологических условиях. Благодаря этому вид может занимать довольно обширный и неоднородный по условиям ареал. Таким образом, вид в пределах ареала существует за счет разнообразия популяций.

Следовательно, популяция — это форма существования вида в пространстве. Например, вид окунь обыкновенный в крупных водоемах существует в форме двух популяций: окуня придонного и окуня прибрежного. Их пространственная разобщенность проявляется в обитании на разных глубинах водоема с разными пищевыми ресурсами. Благодаря данным популяциям окунь обыкновенный способен заселять весь водоем.

Как любая биологическая система, популяция имеет свои собственные признаки (*групповые признаки*). Но поскольку она состоит из особей, то ей присущи и признаки особей (*биологические признаки*). Биологические признаки характеризуют жизненный цикл популяции. Но они не позволяют получить полное представление о популяции, как о самостоятельной биологической системе природы. Разнообразие признаков популяции можно показать с помощью следующей схемы:



Групповые признаки позволяют человеку прогнозировать будущее популяции и правильно строить с ней взаимоотношения. Рассмотрим характеристику свойств популяций.

Численность — общее количество особей на участке ареала с однородными экологическими условиями. Численность популяции постоянно изменяется, но ее колебания ограничиваются верхним и нижним пределами. Выход за эти пределы может привести к гибели популяции.

Верхний предел численности — максимальное количество особей, способных существовать в данной части ареала. Он зависит от количества корма, площади занимаемой территории и силы воздействия экологических факторов. Если численность достигает верхнего предела, то начинается гибель особей из-за нехватки корма. Могут возникать эпидемии из-за повышенной контактности, что в конечном итоге способно привести к гибели всей популяции. Следовательно, если численность близка к верхнему пределу, то часть особей следует изъять из популяции. Это может быть переселение на свободную территорию, использование в хозяйственных целях, санитарный отстрел или вырубка.

Нижний предел численности — минимальное количество особей, способных обеспечить длительное существование популяции. Он зависит от биологических свойств организмов и является величиной постоянной для всех популяций в пределах вида. Снижение численности ниже нижнего предела является причиной снижения плодовитости особей. Это неизбежно приводит к вымиранию популяции. Вот почему популяции с очень малой численностью особей длительно существовать не могут. Случаи вымирания популяций известны даже в заповедниках со строгим режимом охраны. Следовательно, если численность приближается к нижнему пределу, следует осуществлять охрану популяции или вселять новые особи.

Всем популяциям присущи периодические (сезонные) колебания численности под влиянием биотических и абиотических факторов среды (*популяционные волны*, или *волны жизни*).

Плотность — количество особей популяции на единицу площади. Этот показатель прямо пропорционален численности. При увеличении численности плотность не повышается или даже снижается лишь в том случае, если возможно расселение особей вследствие расширения ареала. Различают два вида плотности. **Средняя плотность** — количество особей в расчете на единицу площади всей занимаемой территории. **Экологическая (удельная) плотность** — количество особей в расчете на единицу площади территории, пригодной для обитания. Плотность, как и численность, имеет верхний и нижний пределы, поэтому прогноз для популяции можно давать и на основании плотности.

Рождаемость — число особей, появившихся в популяции в единицу времени за счет размножения особей. В курсе географии вы познакомились с понятием «рождаемость» при изучении причин естественного изменения численности населения. Рождаемость является важной демографической характеристикой. В экологии под рождаемостью понимают любой способ появления новых особей (деление клетки, проращение семян, вылупливание из яиц, живорождение и т. д.). Для популяции можно рассчитать два показателя рождаемости: абсолютную и удельную. **Абсолютная рождаемость** — отношение числа потомков к периоду времени, за который они появились. **Удельная рождаемость** — число особей, появившихся в единицу времени в расчете на одну особь популяции.

Как правило, при повышении рождаемости численность популяции увеличивается. Но иногда в популяции отмечается высокая рождаемость, а численность особей в ней остается прежней или даже снижается. Это может быть связано с высокой смертностью особей или с какими-либо другими причинами (например, с расселением особей на новые территории).

Смертность — количество особей, погибших за единицу времени. Она является одной из характеристик демографических процессов. Смертность по характеру влияния на численность природных популяций является свойством противоположным рождаемости. Но охарактеризовать ее можно аналогичными по способу расчета показателями: **абсолютной смертностью** и **удельной смертностью**. Увеличение смертности, как правило, приводит к снижению численности популяции и свидетельствует о неблагоприятном воздействии факторов окружающей среды.

Соотношение между рождаемостью и смертностью определяет *скорость роста численности популяции*. Если показатель рождаемости ниже показателя

смертности, то численность популяции будет снижаться (*отрицательный рост численности*), и она нуждается в охране. Наоборот, если смертность ниже рождаемости, то численность популяции возрастает (*положительный рост численности*), и из нее возможно изъятие особей. В случае равенства рождаемости и смертности численность популяции поддерживается на постоянном уровне, и популяция является стабильной.



Популяция — группа особей одного вида с общим генофондом, находящихся во взаимодействии между собой и населяющих общую территорию. Любая популяция имеет биологические и групповые признаки. К свойствам популяции относятся численность, плотность, рождаемость и смертность.



1. Объясните, почему популяция обладает и биологическими, и групповыми признаками. Перечислите свойства популяции. 2. Зимой, когда устанавливается лед, живущие на разных берегах реки зайцы встречаются и скрещиваются. Как можно назвать группы зайцев с разных берегов: две популяции двух видов, две популяции одного вида или две группы одной популяции? 3. Сколько видов и сколько популяций можно насчитать в следующих сочетаниях особей: мыши полевые и мыши лесные; растения рябины обыкновенной в лесу и в парке; растения сосны обыкновенной в центре леса и на его окраине? 4. Почему популяция может погибнуть, если ее численность выйдет за верхний или нижний пределы? Какие меры нужно предпринять, чтобы этого не произошло?

§ 13. Структура популяции

Структура популяции — соотношение особей по какому-либо признаку или по характеру их распределения в среде обитания. Различают пространственную, половую, возрастную и этологическую (поведенческую) структуры популяции.

Пространственная структура — характер распределения особей популяции на занимаемой территории. В природе популяциям свойственны три типа пространственного распределения особей: случайное, равномерное, групповое (рис. 21). Они формируются в зависимости от степени неоднородности среды обитания, биологических особенностей вида и поведения особей.

Случайное распределение происходит, если среда обитания относительно однородна по экологическим условиям. При этом количество особей в популяции невелико, и биологические особенности вида не позволяют им образовывать группы. Например, у белой планарии, пресноводного полипа гидры, пауков, двусторчатых моллюсков отмечается случайное распределение.

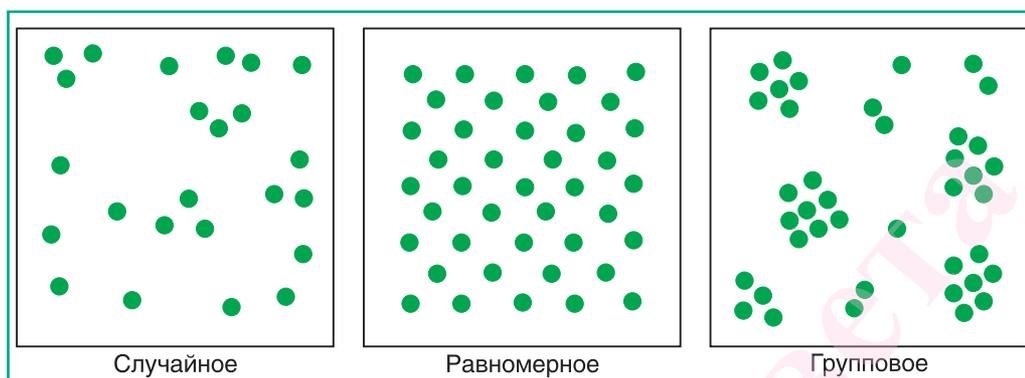


Рис. 21. Типы пространственного распределения особей в популяциях

Равномерное распределение наблюдается у видов, жестко конкурирующих за пищевые ресурсы и территорию. Тенденция к равномерному распределению особей у некоторых животных может быть обусловлена мечением и охраной мест обитания. В природе равномерное распределение встречается довольно редко. Например, кустарники в пустыне, конкурируя за влагу, распределены довольно равномерно. Поддерживают между собой определенную дистанцию некоторые виды хищных рыб, птиц и млекопитающих, охраняющих свои кормовые территории.

Групповое распределение наиболее распространено в природе. Неоднородность среды, ограниченность мест обитания, биологические особенности вида, способы размножения могут приводить к объединению особей в группы. Групповое распределение у растений обусловлено их способами размножения и распространения семян и плодов. Например, некоторые растения образуют крупные, тяжелые плоды (орех лещины, желудь дуба), которые падают рядом с деревом и тут же прорастают, образуя группы. При вегетативном размножении корневищами у растений также формируются группы (пырей ползучий, ландыш майский, клевер ползучий).

У многих млекопитающих и птиц наблюдается социальное поведение, которое приводит к образованию групп с социальной иерархией (стаи, стада, колонии, табуны, семьи, гаремы). Выживаемость особей в группе повышается благодаря лучшим возможностям для защиты от врагов, обнаружения корма, противостояния неблагоприятным факторам среды, формирования микроклимата. Например, стае волков легче охотиться, а табуна лошадей — защищаться от волков. Стае скворцов легче спастись от ястреба, косяку мелких рыб — от крупных хищных рыб. Колонии пингинов, образуя плотное скопление, проще переносят холод. В семьях птиц и млекопитающих благодаря заботе родителей повышается выживаемость потомства. Группа растений способна лучше противостоять ветру, эффективнее использовать воду.

Половая структура — соотношение особей разного пола в популяции. Из курса географии Беларуси вы знаете о зависимости соотношения мужского и женского населения Беларуси от возрастной категории людей, а также о его изменении в связи с Великой Отечественной войной.

В природных популяциях при половом размножении в момент оплодотворения соотношение зигот по половой принадлежности, как правило, близко к 1 : 1 — это **первичное соотношение полов**. В дальнейшем соотношение полов на эмбриональной стадии может меняться в зависимости от различных факторов среды. Например, изменение соотношения полов на эмбриональном этапе развития отмечается у тутового шелкопряда. Пол особи у него зависит от температуры окружающей среды. Эту особенность использует в шелководстве человек. Поскольку в коконах, завиваемых самцами, шелка на 25 % больше, то для получения большего количества самцов яйца выдерживают при температуре, благоприятной для их развития.

Таким образом, в эмбриональный период на генетическую обусловленность пола накладывается влияние факторов среды, что приводит к формированию **вторичного соотношения полов**.

К моменту полового созревания соотношение полов изменяется и формируется **третичное соотношение полов**. Оно зависит от устойчивости особей разного пола к факторам среды, что связано с физиологическими, экологическими, поведенческими и другими особенностями самцов и самок. Так, в популяциях фазанов, больших синиц, крякв отмечается преобладание численности самок, а в популяциях пингвинов, наоборот, преобладают самцы.

Соотношение особей разного пола и особенно доля размножающихся самок значительно влияют на численность, плотность, рождаемость популяции. Поэтому определение половой структуры позволяет человеку прогнозировать будущее популяции и правильно строить с ней взаимоотношения.

Возрастная структура — соотношение в популяции возрастных групп особей, различающихся по способности к воспроизводству. В природных популяциях животных выделяют три возрастные группы. **Предрепродуктивные особи** — молодые особи, не достигшие полового созревания и еще не способные давать потомство. **Репродуктивные особи** — половозрелые размножающиеся особи. **Пострепродуктивные особи** — старые особи, утратившие функцию размножения и уже не дающие потомства.



Продолжительность существования каждой возрастной группы по отношению к продолжительности жизни поколения сильно варьирует у разных организмов. У современного человека эти три возраста по продолжительности примерно одинаковы. У первобытных людей пострепродуктивный период был гораздо короче, чем сейчас. Предрепродуктивный период у некоторых организмов очень длительный по сравнению с остальными. Например, у цикад он длится 17 лет,

в то время, как репродуктивный период продолжается только один летний сезон, а пострепродуктивный вообще отсутствует. Отсутствие пострепродуктивного периода наблюдается у некоторых насекомых (поденки) и рыб (лососевые).

Количественное соотношение групп разных возрастов в популяциях животных выражают с помощью возрастных пирамид (рис. 22). Оно служит показателем изменения численности популяции. Популяция с большой долей предрепродуктивных особей является *развивающейся*, или *растущей*. При равномерном распределении особей по возрастным группам популяция находится в *стабильном* состоянии. При малой доле предрепродуктивных особей численность популяции будет снижаться. Такая популяция называется *вымирающей* или *стареющей*. Она нуждается в охране или дополнительном вселении особей.

У растений возрастная структура популяций определяется соотношением особей разного возраста. Распределение особей популяции по возрасту называется *возрастным спектром*.

Возрастные различия в популяции существенно усиливают ее экологическую неоднородность, т. е. обеспечивают особям неодинаковую сопротивляемость среде. Возрастная структура популяции имеет приспособительный характер. Она формируется на основе биологических свойств вида, но всегда отражает и силу воздействия факторов окружающей среды. Возрастная структура популяции влияет как на рождаемость, так и на смертность в данный момент и показывает, что может произойти с популяцией в будущем.

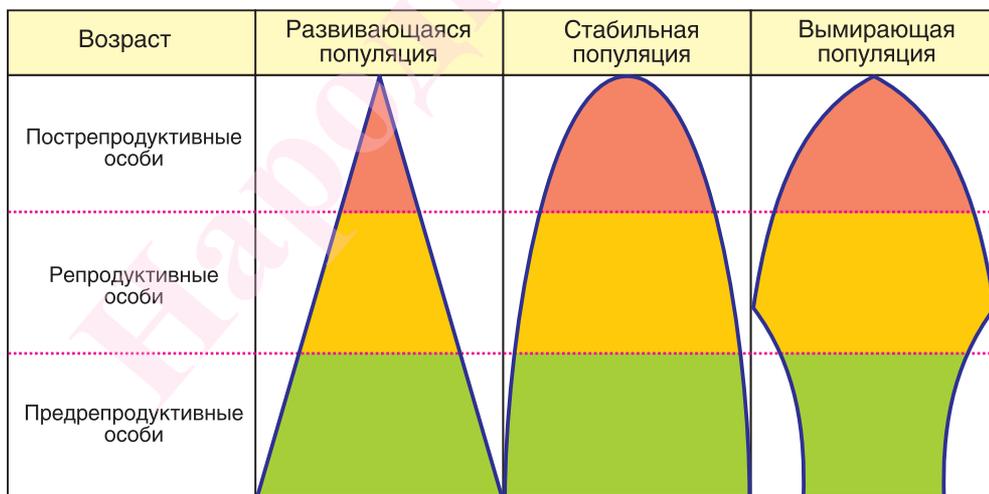


Рис. 22. Типы возрастных пирамид в популяциях животных

Изучение соотношения возрастных групп в популяциях имеет практическую значимость для человека. Оно позволяет оценить, какую возрастную группу и в какой степени можно изъять для использования. Или наоборот, какая возрастная группа особей в наибольшей степени нуждается в охране.

Этологическая (поведенческая) структура — соотношение особей по типу поведенческих реакций. Эта структура характерна для животных. В некоторых популяциях особи ведут одиночный образ жизни. По поведению они равнозначны и независимы друг от друга (божьи коровки, жужелицы, бабочки). В большинстве случаев особи объединяются в социальные группы — семьи, колонии, стада, стаи и др. При семейном образе жизни у птиц и млекопитающих поведение родителей различается в зависимости от того, кто из них ухаживает за потомством. В связи с этим различают семьи *отцовского*, *материнского* и *смешанного* типов. В колониях пчел, термитов, муравьев этологические группы формируются в результате разделения труда и специализации особей.

Наиболее сложная этологическая структура отмечается в стаях и стадах, где имеет место система «доминирования-подчинения». Доминирование проявляется в приоритетном доступе к пище, убежищам, особям противоположного пола. У разных видов животных система «доминирования-подчинения» зависит от типа иерархии. При иерархической организации популяций особям свойствен закономерный порядок перемещения, расположения на отдых, определенная организация при защите от врагов (рис. 23). При *линейной* иерархии особи данного ранга доминируют над последующими и подчиняются предыдущим (стая ездовых собак). У некоторых обезьян такие ряды возникают отдельно среди самок и самцов (*параллельная* иерархия). Самой жесткой иерархической системой является *деспотия* — доминирование одной особи (вожака) над всеми другими (волчья стая).



Рис. 23. Порядок расположения особей в стаде павианов: первое кольцо образуют самцы, второе — самки, в центре — молодняк



Для популяций характерна пространственная, половая, возрастная и этологическая структура. Пространственная структура — случайное, равномерное или групповое распределение особей. Половая структура — первичное, вторичное или третичное соотношение полов. Возрастная структура — соотношение предрепродуктивных, репродуктивных и пострепродуктивных особей. Этологическая структура — соотношение особей, различающихся по комплексу поведенческих реакций.



1. Назовите типы пространственной структуры популяций и причины их формирования. 2. В популяциях каких организмов имеется групповое распределение: пырей, гидра, осина, волк, планария, ландыш, грач? 3. Почему изменяется соотношение полов в популяциях на разных стадиях жизненного цикла особей? 4. Какие типы возрастных пирамид характерны для популяций? 5. Какое значение для хозяйственной и природоохранной деятельности человека имеет знание половой и возрастной структуры популяций? 6. От чего зависит поведение особей в разных социальных группах животных?

§ 14. Динамика численности популяций и ее регуляция

Причины и типы динамики численности популяции. Вся совокупность факторов среды в природе постоянно изменяется и вызывает колебания численности популяций. Диапазон колебаний численности зависит от степени изменчивости абиотических, антропогенных и биотических факторов среды, а также от биологических особенностей вида. Изменение численности популяции во времени называется **динамикой численности**. Различают два типа динамики численности популяций: периодические и непериодические колебания численности.

Периодические колебания численности (популяционные волны, или волны жизни) происходят преимущественно под влиянием закономерно изменяющихся факторов среды (особенно кормовых ресурсов) при смене сезонов. Они могут быть связаны и с особенностями жизненного цикла (размножение в определенное время года) особей самой популяции. У некоторых видов млекопитающих, птиц, рыб, насекомых, растений наблюдается четко выраженное регулярное чередование всплесков и спадов численности.

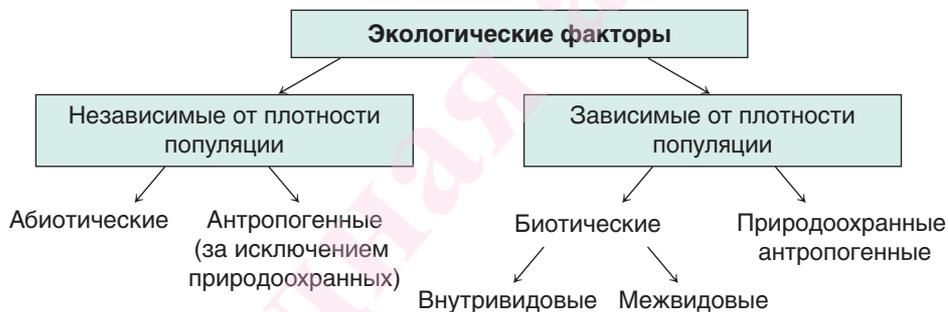
Например, у многих насекомых, однолетних растений появление потомства происходит в весенний период. А с наступлением зимы численность взрослых особей может снижаться до нуля. Ширина амплитуды колебания численности зависит от степени обеспеченности потомства кормом. Так, в чистых однопородных лесах численность насекомых-вредителей может регулярно возрастать в тысячи раз. Тогда как в смешанных лесах у этой же популяции численность будет колебаться незначительно.

В эволюционной теории популяционные волны рассматриваются как одна из предпосылок эволюции.

У многих видов процесс размножения и степень обеспеченности кормом не приурочены к определенному времени года, а зависят от динамики экологических факторов в течение сезона или на протяжении года. В популяциях таких видов наблюдаются *непериодические колебания численности*.

Факторы регуляции численности популяции. В природных системах с низким уровнем видового разнообразия численность популяций подвержена сильному воздействию абиотических и антропогенных факторов. Она зависит от погоды, химического состава среды и степени ее загрязнения. В системах с высоким уровнем видового разнообразия колебания численности популяций в основном контролируются биотическими факторами.

Все экологические факторы в зависимости от характера их влияния на численность популяции можно разделить на две группы:



Факторы, независимые от плотности популяции изменяют численность популяций в одном направлении, независимо от количества особей в них. Абиотические и антропогенные (за исключением природоохранной деятельности человека) факторы влияют на численность особей независимо от плотности популяции. Так, суровые зимы снижают численность популяций пойкилотермных животных (змей, лягушек, ящериц). Толстый слой льда и отсутствие подо льдом достаточного количества кислорода снижают численность популяций рыб зимой. Сухое лето и осень с последующей морозной зимой уменьшают численность популяций колорадского жука. Неконтролируемый отстрел животных или отлов рыбы снижают восстановительные возможности их популяций. Высокие концентрации загрязнителей в окружающей среде отрицательно сказываются на численности всех чувствительных к ним видов.

Факторы, зависимые от плотности популяции изменяют ее численность в сторону оптимального уровня и предотвращают перенаселение, поэтому

их еще называют регулируемыми факторами. К ним относятся биотические и природоохранные антропогенные факторы. Зависимыми от плотности факторами являются: запасы кормовых ресурсов (рис. 24), наличие естественных врагов, различные виды природоохранной деятельности и др. Так, численность популяций изменяется обратно пропорционально количеству хищников, паразитов, возбудителей болезней и прямо пропорционально запасу кормовых ресурсов. Таким образом, их наличие в среде обитания сглаживает резкие колебания численности популяций и способствует ее поддержанию на определенном оптимальном уровне.

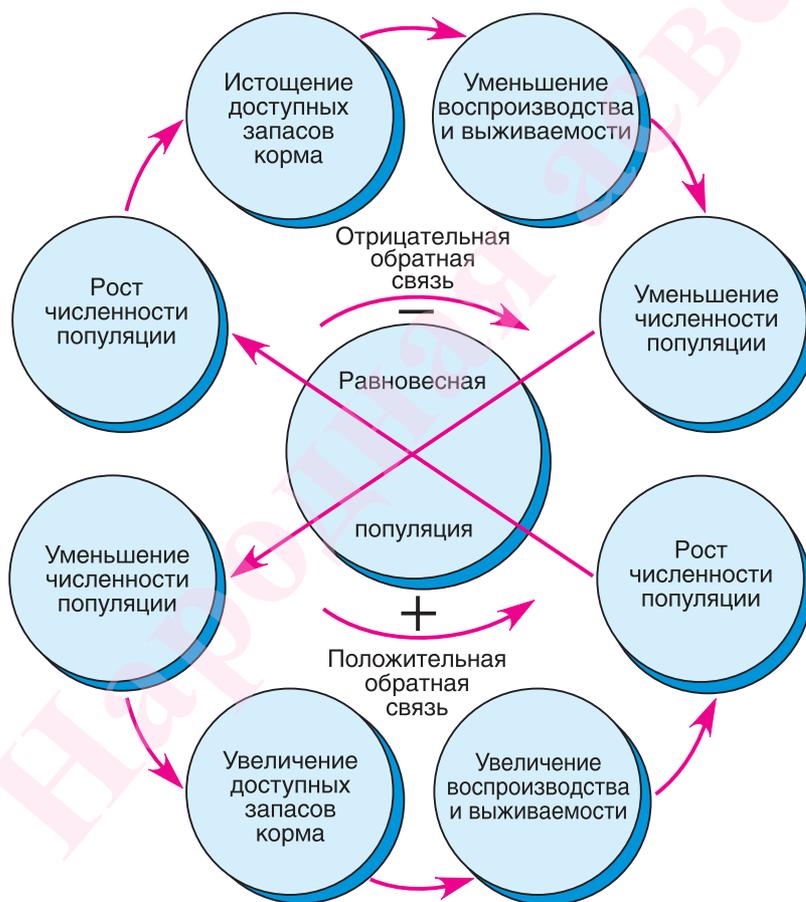


Рис. 24. Схема регуляции численности популяции животных под действием факторов, зависящих от плотности популяции (запасы кормовых ресурсов)

Емкость среды (максимальная численность популяции) определяется возможностью среды обеспечить популяцию необходимыми ресурсами: кормом, убежищем, особями противоположного пола и т. д. Когда численность популяции приближается к емкости среды, возникает нехватка корма, вследствие его усиленного выедания. И тогда приводится в действие механизм регуляции численности популяции через *внутривидовую конкуренцию за ресурс*. Если плотность популяции высокая — ее регулирует повышение смертности в результате обострения конкуренции. Часть особей погибает либо из-за нехватки корма (травоядные животные), либо в результате биологической или химической «войны». Повышение смертности приводит к снижению плотности. Если плотность популяции низкая — происходит ее пополнение за счет увеличения рождаемости вследствие возобновления кормовых ресурсов и ослабления конкуренции.



Биологическая «война» — это умерщвление конкурентов внутри популяции путем прямого нападения (хищники одного вида). Резкое снижение кормовых ресурсов может привести к возникновению каннибализма (поедание себе подобных). *Химическая «война»* — это выделение химических веществ, задерживающих рост и развитие или убивающих молодых особей (растения, водные животные). Проявление химической «войны» можно наблюдать на примере развития головастиков и прорастания семян сорняка мари белой. При высокой плотности более крупные головастики выделяют в воду вещества, которые подавляют рост мелких особей. Поэтому завершают свое развитие только крупные головастики. После этого начинают расти мелкие головастики. Марь белая образует семена, различающиеся по окраске. Вначале прорастают черные семена. Корневые выделения появившихся растений угнетают прорастание остальных семян. Если выполоть выросшие растения, то прорастут семена серой окраски, и численность популяции восстановится.

Регуляция численности популяции через количество кормовых ресурсов четко прослеживается на примере взаимодействия популяций хищника и жертвы. Они оказывают взаимное влияние на численность и плотность друг друга, вызывая повторяющиеся подъемы и спады численности обеих популяций. Причем в этой системе колебаний увеличения численности хищника отстают по фазе от увеличений численности жертвы (рис. 25). Примерно по тому же механизму при паразитизме осуществляется взаимная регуляция численности популяций паразита и хозяина. При повышении плотности популяции организмов-хозяев облегчается передача возбудителей от одной особи к другой, т. к. увеличивается частота контактов. В результате возникает вспышка заболевания, приводящая к увеличению смертности. Снижение плотности популяции хозяина препятствует переносу возбудителя, и здоровые особи начинают размножаться. Следовательно, хищники и паразиты в природе играют регулирующую роль, препятствуя чрезмерному росту численности других популяций. Полное их уничтожение приведет к нарушению равновесия в природных системах.

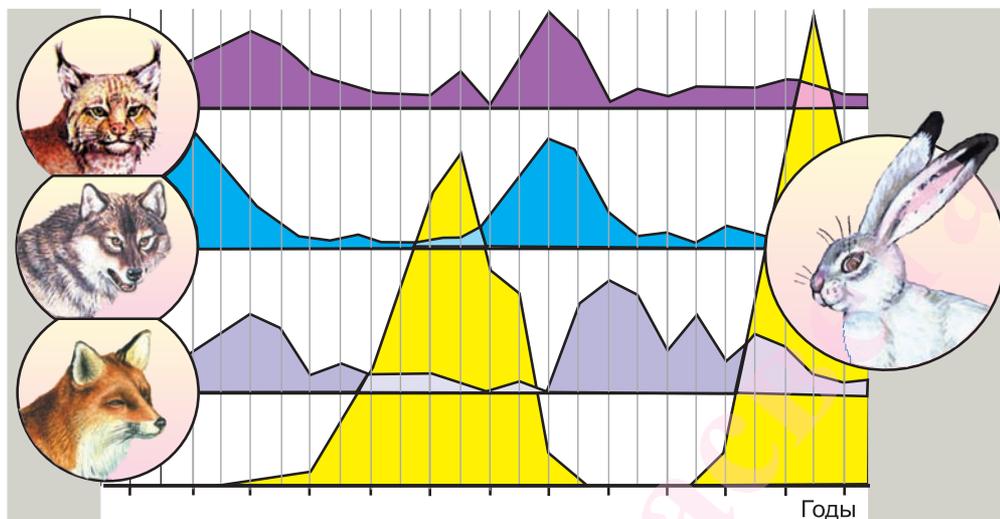


Рис. 25. Динамика численности хищников и их жертвы



Важным механизмом регуляции численности в переуплотненных популяциях является стресс-реакция. Повышение плотности приводит к увеличению частоты встреч между особями, что вызывает у них такие физиологические изменения, которые ведут либо к снижению рождаемости, либо к увеличению смертности, что является причиной уменьшения численности. Стресс не вызывает необратимых изменений в организме, а лишь приводит к временному блокированию его функций. При устранении перенаселения способность к размножению может быстро восстанавливаться.

Все зависимые от плотности популяции механизмы регуляции численности включаются до того, как произойдет полное истощение ресурсов среды. Благодаря этому в популяциях осуществляется саморегуляция численности.



У популяций в природе наблюдается два типа динамики численности: периодические и непериодические колебания. Факторы среды, влияющие на численность популяций, разделяют на: факторы, независимые от плотности популяции, и факторы, зависимые от плотности популяции. Регуляция численности популяций в природе осуществляется преимущественно через конкуренцию за ресурсы, хищничество, паразитизм.



1. Почему в природе не может оставаться постоянной численность популяции?
2. Укажите причины периодических и непериодических колебаний численности популяций.
3. Как влияют на численность популяций факторы, независимые от их плотности?
4. Что такое емкость среды и от чего она зависит?
5. В чем заключается механизм регуляции численности популяции через внутривидовую конкуренцию за ресурс?
6. Почему в природе нельзя полностью уничтожить хищников и паразитов?



§ 15. Биоценоз и биотоп. Связи популяций в биоценозах

Понятие биоценоза и биотопа. В природе популяции разных видов, существующие в одной среде, вступают друг с другом в разнообразные связи и взаимоотношения в зависимости от их потребностей. В результате образуется более сложная биологическая система — биоценоз. Этот термин ввел немецкий гидробиолог К. Мебиус в 1877 г.

Биоценоз (от греч. *bíos* — жизнь, *koinós* — общий) — исторически сложившаяся совокупность взаимосвязанных популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов, населяющих экологически однородную среду обитания.

Часто в экологии вместо термина «биоценоз» используется термин «сообщество». Биоценоз (сообщество) является основным компонентом природных надорганизменных систем.

Место обитания биоценоза — **биотоп** (от греч. *bíos* — жизнь, *tópos* — место) — **участок территории с однородными условиями среды.**



Иногда в экологической литературе употребляют термин «экотоп». **Экотоп** — комплекс абиотических факторов окружающей среды без участия живых организмов. Различие между терминами «биотоп» и «экотоп» заключается в том, что для биотопа обязательным компонентом является почва, а для экотопа ее наличие не обязательно.

Состав биоценоза и биотопа. Составляющими компонентами биоценоза являются: фитоценоз, зооценоз, микоценоз, микробоценоз. **Фитоценоз** (от греч. *phytón* — растение, *koinós* — общий) — растительное сообщество, произрастающее на определенной территории и изменяющееся как по сезонам, так и по годам. **Зооценоз** (от греч. *zōon* — животное, *koinós* — общий) — совокупность популяций животных, населяющих определенный биотоп. **Микоценоз** (от греч. *mýkēs* — гриб, *koinós* — общий) — сообщество различных видов грибов. **Микробоценоз** (от греч. *micrós* — малый, *koinós* — общий) — совокупность популяций бактерий и протистов.

Граница между биоценозами определяется по фитоценозам, которые всегда имеют специфические особенности. Например, луг резко отличается от леса, лес — от болота, хвойный лес — от лиственного, березовая роща — от дубравы и т. д. Фитоценоз определяет видовой состав зооценоза, микоценоза и микробоценоза, то есть является главным структурным компонентом биоценоза.

По происхождению различают первичные и вторичные биоценозы. **Первичные** биоценозы практически не подвержены деятельности человека (недоступные

участки тайги, горные леса). Во *вторичных* биоценозах отмечается заметное влияние человека (большинство биоценозов на Земле).

Биотоп включает воздух с климатическими факторами (*климатоп*), почву (*эдафотоп*) и воду (*гидротоп*). Эти компоненты взаимодействуют между собой и формируют среду обитания биоценоза. Биоценоз своим существованием изменяет состояние биотопа. В свою очередь изменяющийся биотоп может влиять на видовой состав биоценоза.

Связи популяций в биоценозах. Структура биоценоза поддерживается во времени и пространстве за счет разнообразных связей между популяциями. Связи возникают с целью удовлетворения определенных потребностей одной популяции за счет другой. В зависимости от характера потребностей выделяют четыре типа связей: трофические, топические, форические, фабрические.

Трофические связи (от греч. *trophē* — пища) — связи между популяциями, когда особи одной популяции получают пищу за счет особей другой популяции. Это может происходить путем поедания особей, питания отмершими органическими остатками или продуктами жизнедеятельности особей другого вида. Например, лягушка питается насекомыми, аист — лягушками, дождевой червь — опавшими листьями (*прямые* трофические связи). Хищники поедают травоядных животных, и этим они влияют на численность травянистых растений, которые являются пищей для некоторых листогрызущих беспозвоночных животных (*косвенная* трофическая связь).

Топические связи (от греч. *tópos* — место) — связи между популяциями, когда особи одной популяции используют особей другой популяции в качестве местообитания или испытывают их влияние на свою среду обитания. Например, птицы используют деревья и кустарники как места для гнездования, мальки рыб находят укрытие под «зонтиком» медузы, эпифиты и лианы используют стволы деревьев как субстрат (рис. 26) и т. д. В лесу высокие деревья под своим пологом могут создавать благоприятные условия среды для тенелюбивых растений.



Орхидеи (эпифиты) на стволе дерева

Лианы в тропическом лесу

Рис. 26. Топические связи

Форические связи (от греч. *phora* — ношение) — связи между популяциями, когда особи одной популяции участвуют в расселении (распространении) особей другой популяции. Например, птицы, питаясь ягодами брусники, черники, рябины, боярышника, распространяют семена этих растений вместе с экскрементами. Млекопитающие переносят блох, клещей и других паразитов. Белки, сойки, запасая орехи и желуди на зиму, иногда используют их не полностью, и те весной прорастают.



Эволюция животных и растений протекала взаимосвязанно (коэволюция), поэтому они вырабатывали приспособления для форических связей. Например, пищеварительные ферменты животных и птиц не переваривают семена растений, а наоборот, обеспечивают им высокую всхожесть. Плоды и семена некоторых растений имеют крючки, зацепки для прикрепления к шерсти животных с целью последующего распространения.

Фабрические связи (от лат. *fabrico* — изготовлять) — связи между популяциями, когда особи одной популяции используют выделения или мертвые части тела особей другой популяции в качестве материала для строительства гнезд, нор, убежищ и др. Например, бобры сооружают бобровые хатки из стволов и ветвей деревьев. Муравьи используют опад хвойных деревьев, как основной строительный материал для муравейников. Птицы применяют сухие веточки, траву, пух, шерсть для строительства гнезд (рис. 27). Некоторые лесные звери выстилают свои норы мхом, опавшими листьями, сухой травой и т. д.

Популяция любого вида в биоценозе постоянно вступает в различные связи с другими популяциями. Например, дятел, питающийся насекомыми, вступает с ними в прямую трофическую связь, а с дубом, под корой которого он отыскивает этих насекомых, — в косвенную трофическую связь. Выдалбливая на стволе дерева дупло, он вступает в топическую связь с деревом и т. д.



Муравейник



Гнездо грача

Рис. 27. Фабрические связи



Биоценоз — совокупность взаимосвязанных популяций растений (фитоценоз), животных (зооценоз), грибов (микоценоз) и микроорганизмов (микробиоценоз), населяющих участок территории с однородными условиями среды — биотоп. Биотоп включает воздух с климатическими факторами (климатопоп), почву (эдафотоп) и воду (гидротоп). В биоценозе между популяциями разных видов возникают трофические, топические, форические и фабрические связи.



1. Дайте определение понятий «биоценоз» и «биотоп». 2. Назовите структурные компоненты биоценоза соснового леса. 3. Какие типы связей между популяциями поддерживают структуру биоценоза? 4. В какие связи вступают азотфиксирующие бактерии, находящиеся в клубеньках бобовых растений; дятел, живущий в дупле дуба? 5. Приведите примеры форических связей в лесном биоценозе.

§ 16. Видовая структура биоценоза

Любой биоценоз планеты характеризуется определенной видовой структурой. **Видовая структура** — видовое разнообразие биоценоза и соотношение видов по численности.

Видовое разнообразие биоценоза. Достаточно только посмотреть на разные биоценозы, чтобы заметить их различия по видовому составу. Получить полное представление о видовом разнообразии биоценоза практически невозможно, так как нельзя учесть виды микроорганизмов. Но даже количественная характеристика видимых элементов дает возможность получить о биоценозе важную информацию. Видовое разнообразие биоценоза можно охарактеризовать с помощью двух количественных показателей: видовое богатство и видовая насыщенность.

Видовое богатство — общее количество видов, обитающих в биотопе. Каждый вид в биоценозе представлен популяцией. Природные биоценозы считаются бедными, если их видовое богатство составляет десятки и сотни видов (биоценозы хвойных лесов, пустынь, высокогорий). В богатых биоценозах количество видов достигает нескольких тысяч (тропические леса, саванны). Чем выше видовое богатство, тем устойчивее биоценоз.

Чем можно объяснить такую зависимость? *Во-первых*, у каждой популяции есть возможность образовать большее количество связей и удовлетворить свои экологические потребности. Это повышает ее выживаемость, а значит, и сохранение биоценоза в целом. *Во-вторых*, имеется возможность взаимозаменяемости одних видов другими при выполнении их функции, благодаря чему не нарушается функциональная структура биоценоза.

Видовая насыщенность — количество видов, приходящихся на единицу площади или единицу объема биотопа. Два биоценоза, имеющих одинаковое видовое богатство, не будут в равной степени устойчивы, если они обитают в разных по площади биотопах. Устойчивее будет биоценоз с меньшей площадью биотопа. В нем будет выше видовая насыщенность, а значит, больше вероятность образования связей между популяциями и выше их прочность.

Таким образом, чтобы получить представление о видовом разнообразии биоценоза, недостаточно знать общее количество видов в биотопе. Необходимо иметь информацию и о плотности его заселения видами.

Видовое разнообразие биоценоза зависит от условий среды в биотопе. Условия же среды определяются его географическим положением. Например, в тундре, где постоянно ощущается дефицит тепла, биоценозы имеют небольшое видовое разнообразие в основном за счет мхов и лишайников. В умеренных широтах видовое разнообразие в основном определяется видовым богатством покрытосеменных и голосеменных растений, животного мира и в меньшей степени видовой насыщенностью грибов. В тропических лесах самое богатое многообразие флоры и фауны. Таким образом, можно сделать вывод, что, чем благоприятнее условия среды, тем больше видовое разнообразие биоценозов, и наоборот. Значит, по видовому разнообразию биоценоза можно судить о степени благоприятности условий среды в биотопе.

Видовое разнообразие зависит и от возраста биоценоза. Молодые, только начинающие развиваться биоценозы бедны по видовому составу. Они становятся богаче по мере развития. Наибольшее видовое разнообразие наблюдается в зрелых устойчивых биоценозах. Следовательно, по видовому разнообразию можно определить стадию развития биоценоза.



В природе границы между биоценозами редко бывают резкими, чаще всего наблюдается постепенный переход. В результате образуется переходная зона, которая имеет уникальный комплекс факторов среды, не характерный для соседних биотопов. По протяженности она всегда меньше, чем территория каждого из биотопов. Эта зона называется *эктоном*. Она более богата видами, чем каждое из смежных сообществ. Объясняется это тем, что здесь встречаются как виды из соседних сообществ, так и виды, характерные только для экотона. Тенденция к увеличению видового разнообразия на границе сообществ называется *краевым* или *пограничным эффектом*.

Соотношение видов по их численности. В любом биоценозе есть виды, обладающие по численности и занимающие большую площадь территории биотопа. Эти виды называются *доминантными* или *доминантами*. Например, в сосновом лесу — это сосна, в березовой роще — береза. Доминирование вида не всегда означает его обилие, доминантный вид может иметь и низкую абсолютную численность (например, верблюжья колючка в пустыне). Но по сравнению с численностью других видов в данном биоценозе его численность самая высокая.

Доминанты, которые участвуют в формировании среды для всего сообщества (средообразующие виды), называются *видами-эдификаторами*. Эдификаторы верхового болота — это сфагнум и клюква, степей — ковыль, дубрав — дуб и т. д. Иногда эдификаторами могут быть и животные: бобры формируют бобровые ландшафты, копытные животные — степные ландшафты и т. д. Удаление вида-эдификатора может настолько изменить условия среды обитания, что данный биотоп окажется непригодным для ранее существовавших там видов. В него станут заселяться новые виды, и это приведет к смене биоценоза.

Кроме видов-доминантов, любой биоценоз включает множество других видов с меньшей численностью. Они поддерживают разнообразие связей в биоценозе и служат резервом для замещения доминантов, то есть придают стабильность биоценозу. В зависимости от доли особей данного вида в общей численности особей биоценоза — *степени доминирования*, их разделяют на четыре категории:

- 1) субдоминантные виды — довольно многочисленные и часто встречающиеся в биотопе виды, но заметно уступающие по численности доминантным;
- 2) малочисленные виды — виды с небольшой численностью, изредка встречающиеся в биотопе;
- 3) редкие виды — виды с очень малой численностью, встречающиеся только в отдельных местах биотопа;
- 4) случайные виды — виды, нетипичные для данного биоценоза, и представленные здесь единичными экземплярами.

Доминантные и субдоминантные виды человек может использовать в процессе хозяйственной деятельности без ущерба для биоценоза. Малочисленные и редкие виды нужно охранять. Редкие виды, как правило, заносят в международную или национальные Красные книги. Случайные виды не заслуживают внимания, так как они на данной территории существовать не смогут и со временем исчезнут.



Видовая структура биоценоза — видовое разнообразие и соотношение видов по их численности. Видовое разнообразие характеризуется видовым богатством и видовой насыщенностью. По степени доминирования виды биоценоза разделяют на доминантные, субдоминантные, малочисленные, редкие и случайные. Редкие виды заносятся в Красную книгу.



1. Какими показателями характеризуется видовое разнообразие биоценоза? Покажите зависимость устойчивости биоценоза от этих показателей.
2. Как по видовому разнообразию определить стадию развития биоценоза?
3. На какие категории разделяются виды по степени доминирования?
4. Какую роль в жизни биоценоза играют виды-эдификаторы?
5. Назовите виды-эдификаторы биоценозов вашего региона.
6. Какие действия должен предпринять человек, чтобы сохранить редкие, особо ценные виды?

§ 17. Пространственная структура биоценоза

Любой биоценоз в природе занимает определенное пространство, которое разделяется между видами в зависимости от их биологических особенностей. Это приводит к формированию пространственной структуры. **Пространственная структура биоценоза** — закономерное расположение видов в биотопе, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Для биоценоза характерны вертикальная (ярусность) и горизонтальная (мозаичность) структуры.

Вертикальная структура биоценоза (ярусность). В наземных биоценозах основную роль в формировании вертикальной структуры играют растения разной высоты. Благодаря этому наблюдается вертикальное расслоение биоценоза на структурные части. Эти части биоценоза, занимающие разное положение по отношению к уровню почвы, называются **ярусами**, а состоящая из них вертикальная структура биоценоза — **ярусность**.

Главную роль при формировании видового состава растительных ярусов играет количество света, достигающее каждого яруса. От него зависит температурный режим и влажность на разных уровнях (ярусах) биоценоза. Верхние ярусы составляют светолюбивые растения. Ниже располагаются теневыносливые, а в самом низу обитают тенелюбивые растения. Такое распределение растений способствует более полному усвоению солнечной энергии. До поверхности почвы доходит лишь 1—5 % света, поступающего в биоценоз. В одноярусных фитоценозах большая часть поступающей солнечной энергии не усваивается. Она идет на нагревание почвы и частично отражается.

Растительные ярусы создают микроклимат для существования других видов. Каждый растительный ярус заселяется определенными видами животных и микроорганизмов. Это позволяет рассматривать ярус как структурную единицу биоценоза, которая отличается от других его частей совокупностью экологических условий, составом видов растений, животных и микроорганизмов. В каждом ярусе складывается своя система связей и взаимоотношений между компонентами.

Большинство видов приспособлено к конкретным ярусам. Но есть виды, которые в силу различных обстоятельств занимают в разное время жизни разные ярусы. Их называют **внеярусными** видами. Например, нельзя отнести к конкретному ярусу лианы, лишайники, некоторые виды мхов и паразитов.

В наземных биоценозах различают **надземную** и **подземную** ярусность. Ярусы нумеруются римскими цифрами. Первым считается самый удаленный от уровня почвы ярус (как надземный, так и подземный). Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах, где фитоценозы образованы различными жизненными формами растений. Там представлены деревья, кустарники, кустарнички, однолетние и многолетние травы, занимающие разное пространственное положение относительно уровня почвы.

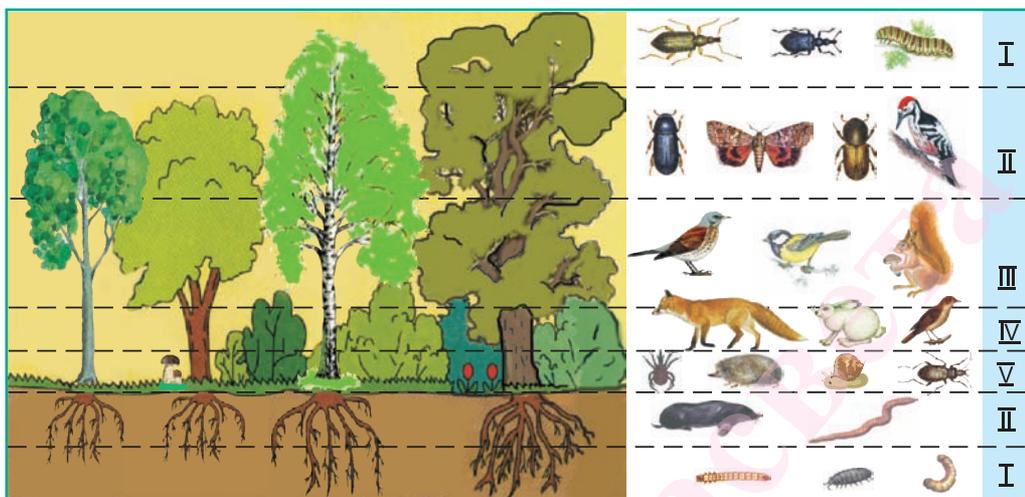


Рис. 28. Вертикальная структура (ярусность) биоценоза лиственного леса

Надземная ярусность в лиственном лесу обычно включает пять, иногда шесть, растительных ярусов (рис. 28). I ярус образован деревьями первой величины (дуб, береза, ясень, липа и др.). Ко II ярусу относятся деревья второй величины (дикие яблоня, груша, черемуха, рябина и др.). III ярус — это подлесок из кустарников (лещина, крушина, бересклет, можжевельник, калина, бузина и др.). IV ярус представлен высокими травами и кустарничками (папоротники, крапива, чистотел, вереск, багульник и др.). V ярус составляют низкие травы и кустарнички (черника, брусника, земляника, толокнянка, ландыш и др.). В нижних ярусах обычно присутствует подрост древесных растений. Если ярусов много, то фитоценоз считается сложным, а если их мало — простым. В некоторых лесах хорошо представлен напочвенный (VI) ярус из мхов, грибов и лишайников.

Животные приурочены к определенным ярусам фитоценоза. I ярус населяют листогрызущие насекомые (обитатели кроны деревьев). Во II ярусе обитают птицы и стволовые вредители (жуки короеды, усачи, златки). В III и IV ярусах — копытные и хищные животные, птицы, грызуны. V ярус богат различными многожками, жуками, шмелями, клещами и другими мелкими животными.

Подземная ярусность обусловлена разной глубиной расположения корневой системы. Она, как правило, является зеркальным отражением надземной ярусности, но количество ярусов в ней меньше. Чем выше деревья, тем глубже в почву проникают их корни. Расположение корней на разной глубине снижает остроту конкуренции между растениями за воду, минеральное питание, кислород. К подземным ярусам относятся: подстилка, корневое пространство и минеральный слой. В подстилке начинается преобразование отмершего органического

вещества в гумус (перегной). Здесь находятся мхи, грибы, лишайники, муравьи, жуки, улитки, пауки, черви. В *корневом пространстве* формируется почва. *Минеральный слой* (почвообразующий субстрат) состоит из горной породы и ее преобразованных деятельностью микроорганизмов частей.

Возникновение ярусности — результат длительного приспособления разных видов друг к другу и формирования межвидовых связей и взаимоотношений. Ярусность способствует значительному ослаблению конкуренции между видами за ресурсы и территорию. Благодаря этому увеличивается численность особей на единице площади, более полно и рационально используются условия и ресурсы биотопа.

Вертикальное распределение видов в биоценозе оказывает влияние на его горизонтальную структуру.

Горизонтальная структура биоценоза (мозаичность). Неоднородность почвенных условий, рельефа, деятельность человека являются факторами, определяющими характер горизонтального распределения видов в биотопе — горизонтальную структуру биоценоза. Под действием вышеуказанных факторов в биоценозе происходит формирование растительных микрогруппировок. Например, в луговых биоценозах можно обнаружить микрогруппировки бобовых, злаков, сложноцветных. Они различаются видовым составом, соотношением численности видов, продуктивностью, биомассой и т. д. В каждой такой растительной микрогруппировке формируется определенный микроклимат, видовой состав животных, грибов и микроорганизмов. Совокупность всех этих компонентов, связанных трофическими и топическими связями, представляет собой структурную единицу горизонтальной пространственной структуры биоценоза. В лесном биоценозе, например, четко видны различия между опушкой леса, поляной, участками леса с сильно выраженным кустарниковым подростом, или со сплошным моховым покровом, или с покровом из черничника. Таким образом, горизонтальная структура биоценоза является отражением разнообразия условий среды в биотопе в горизонтальном направлении.

Благодаря формированию горизонтальной структуры биоценозов более полно использует возможности биотопа. В нем активно потребляются пищевые ресурсы, увеличивается количество видов и, как следствие, возрастает стабильность биоценоза.



Пространственная структура биоценоза — расположение видов в вертикальном (ярусность) и горизонтальном (мозаичность) направлениях. Вертикальная структура формируется благодаря наличию растений разной высоты, образующих ярусы. В биоценозах различают надземную и подземную ярусность. Горизонтальная структура биоценоза формируется вследствие неоднородности почвы и рельефа в биотопе.



1. Какой компонент биоценоза играет главную роль в формировании вертикальной структуры биоценоза? 2. Охарактеризуйте надземную и подземную ярусность на примере лесного биоценоза. 3. В каком ярусе лесного биоценоза живут дождевые черви? Какова их роль в образовании почвы? 4. В чем заключается преимущество многоярусного биоценоза над одноярусным? 5. Назовите причины формирования горизонтальной структуры биоценоза.

§ 18. Экосистема. Биогеоценоз. Структура экосистемы

Понятие экосистемы и биогеоценоза. Термин «экосистема» впервые был предложен английским экологом А. Тенсли в 1935 г. Он рассматривал экосистемы как основные структурные единицы природы на планете Земля.

Экосистема — комплекс из сообщества живых организмов и неживых компонентов среды их обитания, связанных между собой обменом вещества и энергии.

Гниющий пень с населяющими его беспозвоночными, грибами и бактериями представляет собой экосистему небольшого масштаба (*микрoэкоcистема*). Озеро с водными и околоводными организмами является экосистемой среднего масштаба (*мезоэкоcистема*). А море с его многообразием водорослей, рыб, моллюсков, ракообразных — экосистема крупного масштаба (*макрoэкоcистема*).

Для обозначения подобных систем на однородных участках суши русский геоботаник В. Н. Сукачев в 1942 г. предложил термин «биогеоценоз».

Биогеоценоз — исторически сложившаяся совокупность живых (*биоценоз*) и неживых (*биотоп*) компонентов однородного участка суши, где происходит круговорот веществ и превращение энергии.

Как видно из приведенного определения, биогеоценоз включает две структурные части — биоценоз и биотоп. Каждая из этих частей состоит из определенных компонентов, которые между собой взаимосвязаны (рис. 29).

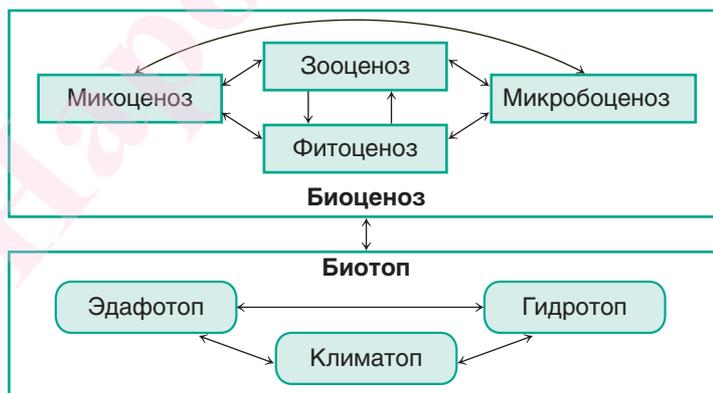


Рис. 29. Схема биогеоценоза

Биогеоценоз и экосистема — близкие понятия, обозначающие биосистемы одного уровня организации. Общим признаком для этих систем является наличие в них обмена веществом и энергией между живым и неживым компонентами. Однако вышеуказанные понятия не являются синонимами. Экосистемы имеют разную степень сложности, разные масштабы, они могут быть естественными (природными) и искусственными (созданными человеком). В качестве отдельных экосистем могут рассматриваться капля воды из лужи с микроорганизмами, болотная кочка с ее «населением», озеро, луг, пустыня и, наконец, биосфера — экосистема самого высокого ранга. Следовательно, экосистема не имеет определенной размерности.

Биогеоценоз отличается от экосистемы территориальной ограниченностью и определенным составом популяций (биоценоз). Его границы определяются наземным растительным покровом (фитоценозом). Изменение растительности свидетельствует об изменении условий в биотопе и о границе с соседним биогеоценозом. Например, переход от древесной растительности к травянистой свидетельствует о границе между лесным и луговым биогеоценозами. Биогеоценозы выделяют только на суше.

Следовательно, понятие «экосистема» более широкое, чем «биогеоценоз». Экосистемой можно назвать любой биогеоценоз, а вот биогеоценозом можно назвать только наземные экосистемы.

С точки зрения обеспечения питательными веществами биогеоценозы более автономны (независимы от других биогеоценозов), чем экосистемы. В них происходит замкнутый круговорот веществ между организмами и окружающей средой, обеспечивающий единство живой и неживой природы. Экосистемы же более открытые системы. Это еще одно отличие биогеоценозов от экосистем.

Структура экосистемы. В экосистеме виды организмов выполняют разные функции, благодаря которым осуществляется круговорот веществ. В зависимости от роли, которую виды играют в круговороте, их относят к разным функциональным группам: продуцентам, консументам или редуцентам.

Продуценты (от лат. *producens* — создающий), или **производители**, — автотрофные организмы, синтезирующие органическое вещество из минерального с использованием энергии. Если для синтеза органического вещества используется солнечная энергия, то продуцентов называют *фототрофами*. К фототрофам относятся все зеленые растения, лишайники, цианобактерии, автотрофные протисты, зеленые и пурпурные серобактерии. Продуценты, использующие для синтеза органического вещества энергию химических реакций окисления неорганических веществ, называются *хемотрофами*. Ими являются железобактерии, бесцветные серобактерии, нитрифицирующие и водородные бактерии.

Консументы (от лат. *consumo* — потребляю), или **потребители**, — гетеротрофные организмы, потребляющие живое органическое вещество и передающие содержащуюся в нем энергию по пищевым цепям. К ним относятся большинство животных, насекомоядные растения, растения-паразиты. В зависимости от вида потребляемого органического вещества консументы подразделяются на порядки. Организмы, потребляющие продуцентов, называются **консументами I порядка**. К ним относятся растительноядные животные (кузнечики, саранча, грызуны, парно- и непарнокопытные животные) и растения-паразиты. Консументов I порядка потребляют **консументы II порядка**, которые представлены плотоядными животными и насекомоядными растениями. **Консументами III** и последующих порядков являются более крупные плотоядные животные. Количество порядков консументов в экосистеме ограничено и определяется объемом биомассы, созданной продуцентами.

Редуценты (от лат. *reducens* — возвращающий), или **разрушители**, — гетеротрофные организмы, разрушающие отмершее органическое вещество любого происхождения до минерального. Образующееся минеральное вещество накапливается в почве и в дальнейшем поглощается продуцентами. В экологии отмершее органическое вещество, вовлеченное в процесс разложения, называется детритом. **Детрит** — отмершие остатки растений и грибов, трупы и экскременты (непереваренные остатки корма) животных с содержащимися в них бактериями.

Процесс разложения детрита идет в три этапа: механическое измельчение, гумификация (образование перегноя), минерализация. В зависимости от этапа разложения, осуществляемого редуцентами, их разделяют на три порядка. **Редуценты I порядка (механические разрушители)** осуществляют механическое измельчение детрита и подготавливают субстрат для биологического разложения. К ним относятся сапротрофные животные (детритофаги): мокрицы, некоторые клещи, многоножки, ногохвостки, жуки мертвоеды, некоторые насекомые и их личинки, черви. **Редуценты II порядка (гумификаторы)** частично разлагают детрит, превращая его в гумус (перегной). Ими являются грибы, гетеротрофные протисты, крупные бактерии. **Редуценты III порядка (минерализаторы)** обеспечивают полное разложение гумуса до минеральных веществ. К ним относятся почвенные бактерии размером менее 0,1 мм. Именно их часто называют истинными редуцентами. Представители всех порядков редуцентов, отмирая, также образуют детрит.

Роль редуцентов в природе очень велика. Без них в биосфере накапливались бы отмершие органические остатки, а минеральные вещества, необходимые продуцентам, иссякли бы. И жизнь на Земле в той форме, которую мы знаем, прекратилась бы.

Взаимосвязь функциональных групп в экосистеме можно показать на следующей схеме:



Функциональная структура в экосистеме очень жесткая — должны присутствовать все функциональные группы. Однако видовой состав каждой из них непостоянен, потому что одну и ту же функцию могут выполнять разные виды организмов. В экосистеме с большим видовым разнообразием может осуществляться взаимозаменяемость одного вида другим без нарушения функциональной структуры.



Экосистема — комплекс из сообщества живых организмов и неживых компонентов среды их обитания, связанных между собой обменом вещества и энергии. Наземные экосистемы называют биогеоценозами. Биогеоценоз — совокупность биоценоза и биотопа, где осуществляется круговорот веществ и превращение энергии. Функциональными компонентами экосистемы являются продуценты, консументы и редуценты.



1. Сравните определения понятий «биогеоценоз» и «экосистема». Что между ними общего? В чем отличие? 2. Какие из экосистем можно назвать биогеоценозами: луг, озеро, гнилой пень, море, хвойный лес, реку? 3. В чем состоит роль продуцентов в экосистеме? Приведите примеры фото- и хемотрофов. 4. Какие из организмов являются консументами: береза, лось, дождевой червь, лев, подосиновик, кузнечик, лишайник? 5. Какую функцию в экосистеме выполняют редуценты? Какие последствия могли бы ожидать Землю, если бы исчезли все редуценты?

§ 19. Цепи и сети питания. Экологические пирамиды

Пастбищные и детритные цепи. Трофические уровни. Основное условие существования экосистемы — это поддержание круговорота веществ и превращения энергии. Оно обеспечивается благодаря *трофическим (пищевым)* связям между видами, относящимися к разным функциональным группам. Именно

на основе этих связей органические вещества, синтезированные продуцентами из минеральных веществ с поглощением солнечной энергии, передаются консументам и претерпевают химические превращения. В конечном итоге органические вещества под действием редуцентов возвращаются в среду в виде минеральных веществ. А затем они снова с помощью продуцентов вовлекаются в круговорот. Если бы эти вещества не использовались многократно, жизнь на Земле была бы невозможна. Ведь запасы веществ, поглощаемых продуцентами, в природе не безграничны. Для осуществления полноценного круговорота веществ в экосистеме должны быть в наличии все три функциональные группы организмов. И между ними должно происходить постоянное взаимодействие в виде трофических связей с образованием трофических (пищевых) цепей, или цепей питания.

Цепь питания (пищевая цепь) — последовательность организмов, в которой происходит поэтапный перенос вещества и энергии от источника (предыдущего звена) к потребителю (последующему звену).

При этом один организм может поедать другой, питаться его отмершими остатками или продуктами жизнедеятельности. В зависимости от вида исходного источника вещества и энергии цепи питания подразделяют на два типа: пастбищные (цепи выедания) и детритные (цепи разложения).

Пастбищные цепи (цепи выедания) — пищевые цепи, которые начинаются с продуцентов и включают консументов разных порядков. В общем виде пастбищную цепь можно показать следующей схемой:



Например: осока → кузнечик → лягушка → змея. Стрелки в схеме показывают направление переноса вещества и энергии в цепи питания. Каждый организм в цепи питания относится к определенному трофическому уровню.

Трофический уровень — совокупность организмов, которые, в зависимости от способа их питания и вида корма, составляют определенное звено пищевой цепи.

Трофические уровни принято нумеровать. Первый трофический уровень составляют автотрофные организмы (продуценты), на втором трофическом уровне находятся растительноядные животные (консументы I порядка), на третьем и последующих уровнях — плотоядные животные (консументы II, III и т. д. порядков).



В природе почти все организмы питаются не одним, а несколькими видами кормов. Следовательно, любой организм может находиться на разных трофических уровнях в одной и той же пищевой цепи в зависимости от характера корма. Например, ястреб, питаясь мышами,

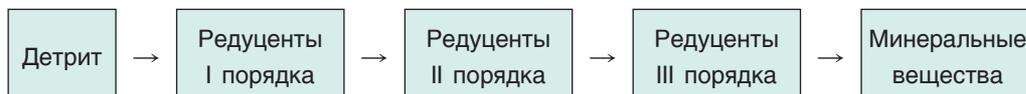


Рис. 30. Пастбищные цепи питания

занимает третий трофический уровень, а поедая змей — четвертый. Кроме того, один и тот же организм может быть звеном разных пищевых цепей, связывая их между собой. Так, ястреб может съесть ящерицу, зайца или змею, которые входят в состав разных цепей питания (рис. 30).

В природе пастбищные цепи в чистом виде не встречаются. Они связаны между собой общими пищевыми звеньями и образуют *пищевую сеть*, или *сеть питания*. Ее наличие в экосистеме способствует выживанию организмов при недостатке определенного вида корма, благодаря возможности использовать другой корм. И чем больше видовое разнообразие особей в экосистеме, тем больше пищевых цепей в составе пищевой сети и тем устойчивее экосистема. Выпадение одного звена из цепи питания не нарушит всей экосистемы, так как могут быть использованы источники питания из других пищевых цепей.

Детритные цепи (цепи разложения) — пищевые цепи, которые начинаются с детрита, включают редуцентов разных порядков и заканчиваются минеральными веществами. В детритных цепях происходит перенос вещества и энергии детрита редуцентами разных порядков через продукты их жизнедеятельности. В общем виде детритную цепь можно описать следующей схемой:



Например: погибшая птица → личинки мух → плесневые грибы → бактерии → минеральные вещества. Если детрит не требует механического разрушения, то он сразу подвергается гумификации и последующей минерализации.

Благодаря детритным цепям в природе замыкается круговорот веществ. Отмершие органические вещества в детритных цепях превращаются в минеральные, которые поступают в почву, а из нее поглощаются растениями (продуцентами).

Пастбищные цепи преимущественно располагаются в надземных, а цепи разложения — в подземных ярусах экосистем. Взаимосвязь пастбищных цепей с детритными осуществляется через детрит, попадающий в почву. Детритные цепи связаны с пастбищными через минеральные вещества, извлекаемые из почвы продуцентами. Благодаря взаимосвязи пастбищных и детритных цепей в экосистеме формируется сложная пищевая сеть, обеспечивающая постоянство процессов превращения вещества и энергии.

Экологические пирамиды. Процесс превращения вещества и энергии в пастбищных цепях имеет определенные закономерности. На каждом трофическом уровне пастбищной цепи не вся съеденная биомасса идет на образование биомассы консументов данного уровня. Значительная ее часть затрачивается на процессы жизнедеятельности организмов: движение, размножение, поддержание температуры тела и т. д. Кроме того, часть корма не усваивается и в виде продуктов жизнедеятельности попадает в окружающую среду. Другими словами, большая часть вещества и содержащейся в нем энергии при переходе от одного трофического уровня к другому теряется. Процент усвояемости сильно варьирует и зависит от состава пищи и биологических особенностей организмов. Многочисленные исследования показали, что на каждом трофическом уровне пищевой цепи теряется в среднем около 90 % энергии, и только 10 % переходит на следующий уровень. Американский эколог Р. Линдеман в 1942 г. сформулировал эту закономерность как **правило 10 %**. Используя это правило, можно рассчитать количество энергии на любом трофическом уровне цепи питания, если ее показатель известен на одном из них. С некоторой степенью допущения это правило используют и для определения перехода биомассы между трофическими уровнями.

Если на каждом трофическом уровне пищевой цепи определить число особей, или их биомассу, или количество заключенной в ней энергии, то станет очевидным уменьшение этих величин по мере продвижения к концу цепи питания. Эту закономерность впервые выявил английский эколог Ч. Элтон в 1927 г. Он назвал ее **правилом экологической пирамиды** и предложил выражать графически. Если любую из вышеуказанных характеристик трофических уровней изобразить в виде прямоугольников с одинаковым масштабом и расположить их друг над другом, то получится *экологическая пирамида*.

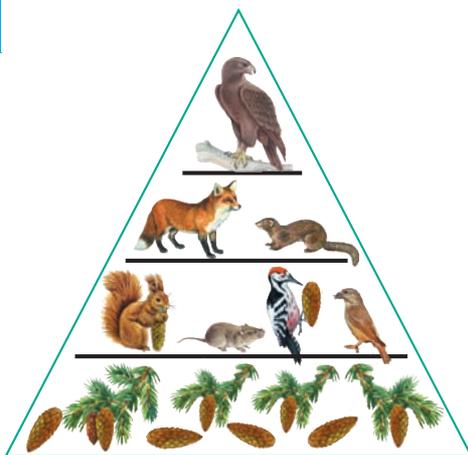


Рис. 31. Экологическая пирамида чисел: в пищевой цепи численность особей уменьшается в каждом последующем звене по сравнению с предыдущим

Известны три типа экологических пирамид. **Пирамида чисел** отражает численность особей в каждом звене пищевой цепи (рис. 31). Однако в экосистеме часто второй трофический уровень (*консументы 1 порядка*) численно богаче первого трофического уровня (*продуцентов*). В этом случае получается перевернутая пирамида чисел. Это объясняется участием в таких пирамидах особей, не равных по размерам. Примером может служить пирамида чисел, состоящая из листового дерева, листогрызущих гусениц, мелких насекомоядных и крупных хищных птиц. **Пирамида биомассы** отражает количество органического вещества, накопленного на каждом трофическом уровне пищевой цепи. Пирамида биомассы в наземных экосистемах правильная, а для водных экосистем она имеет перевернутый вид. Водные продуценты имеют высокую скорость образования продукции при небольшом запасе собственной биомассы. **Пирамида энергии** отражает закономерности расходования энергии на разных трофических уровнях.

Таким образом, запас вещества и энергии, накопленный растениями в пастбищных пищевых цепях, быстро расходуется (выедается), поэтому эти цепи не могут быть длинными. Обычно они включают от трех до пяти трофических уровней.



В экосистеме продуценты, консументы и редуценты связаны трофическими связями и образуют цепи питания: пастбищные и детритные. В пастбищных цепях действует правило 10 % и правило экологической пирамиды. Можно построить три типа экологических пирамид: биомассы, энергии и чисел.



1. Чем отличаются пастбищные цепи от детритных? 2. Составьте пастбищную цепь питания, выбрав нужные звенья из следующих компонентов: осина, дятел, береза, синица, аист, гусеница березовой пяденицы, коршун. 3. Составьте детритную цепь питания, выбрав нужные звенья из следующих компонентов: змея, погибшая птица, почвенные бактерии, личинки мух, травяная лягушка, плесневые грибы, минеральные вещества. 4. Что произойдет с численностью особей одного из звеньев пищевой цепи, если исчезнут организмы предыдущего звена? 5. Сформулируйте правило экологической пирамиды. Какие бывают типы экологических пирамид? В чем их особенности?

§ 20. Продуктивность экосистем

Понятие о биомассе и продукции экосистемы. Как вы уже знаете, вещества в экосистеме используются многократно, превращаясь по принципу круговорота. Причем, в движении веществ участвуют живые организмы, поэтому круговорот веществ является биогенным. Он начинается с поступления химических элементов из почвы (вода и минеральные соли) и атмосферы (углекислый газ) в живые организмы — продуценты. Продуценты синтезируют органические вещества, часть которых дальше передается по пищевой цепи консументам, а часть — остается неиспользованной. Определенное количество органических веществ продуцентов и консументов возвращается в почву с трупным материалом, экскрементами (детрит). В результате деятельности редуцентов они превращаются в минеральные вещества, вовлекающиеся продуцентами в новый круговорот. Но совершенно замкнутым круговорот веществ быть не может. Некоторые химические элементы могут накапливаться в различных сферах Земли и выводиться из круговорота (мел, известняк, мрамор, нефть, газ, каменный уголь, торф, руды некоторых металлов).

Превращение энергии в экосистеме идет несколько иначе, чем превращение веществ. Поток солнечной энергии, поступивший в экосистему, как бы разделяется на два русла — *пастбищное* и *детритное*. В каждом из них энергия расходуется на поддержание жизнедеятельности организмов. Соотношение количества энергии, проходящей через пастбищные и детритные цепи, в разных типах экосистем разное. Потеря энергии в пищевых цепях может быть восполнена только за счет поступления новых порций солнечной энергии или готового органического вещества (энергия корма). Поэтому в экосистеме не может быть круговорота энергии, аналогичного круговороту веществ. Экосистема функционирует только за счет направленного потока энергии.

Благодаря многократному использованию вещества и постоянному притоку энергии экосистемы способны длительно поддерживать стабильное существование. Населяющие их продуценты, консументы и редуценты при этом обеспечивают возобновление своей биомассы, несмотря на то, что запас веществ в биосфере ограничен и не пополняется. Скорость возобновления биомассы организмов экосистемы называется *биологической продуктивностью*. Она выражается количеством образующейся продукции.

Продукция экосистемы — количество биомассы, образующейся в экосистеме на единице площади или в единице объема биотопа за единицу времени.

Экосистемы сильно различаются по количеству образующейся продукции. Она убывает в последовательности: тропический лес → субтропический лес → лес в зоне умеренного климата → пашня → степь → океан → пустыня.

Образующаяся продукция может по-разному расходоваться в разных экосистемах. Если скорость ее потребления отстает от скорости образования, то это ведет к приросту *биомассы экосистемы* и накоплению избытка детрита. В результате будет наблюдаться образование торфа на болотах, зарастание мелких водоемов, создание запаса подстилки в таежных лесах и т. д. В стабильных экосистемах практически вся образующаяся продукция тратится в сетях питания. В результате биомасса экосистемы остается практически постоянной.

Биомасса экосистемы — общее количество органического вещества всех живых организмов, накопившегося в данной экосистеме за предыдущий период ее существования.

Биомасса экосистемы выражается в единицах сырой массы или массы сухого органического вещества на единицу площади: в г/м^2 , кг/м^2 , кг/га , т/км^2 (наземные экосистемы) или на единицу объема (водные экосистемы).

Биомасса экосистемы и ее биологическая продуктивность могут очень сильно отличаться (рис. 32). Например, в густом лесу общая биомасса организмов очень велика по сравнению с ее годовым приростом — продукцией. Тогда как в пруду небольшая накопленная биомасса фитопланктона имеет высокую скорость возобновления — образования продукции за счет быстрого размножения.

Первичная и вторичная продукции. В зависимости от того, какие вещества и энергия используются для возобновления биомассы, в экосистеме различают

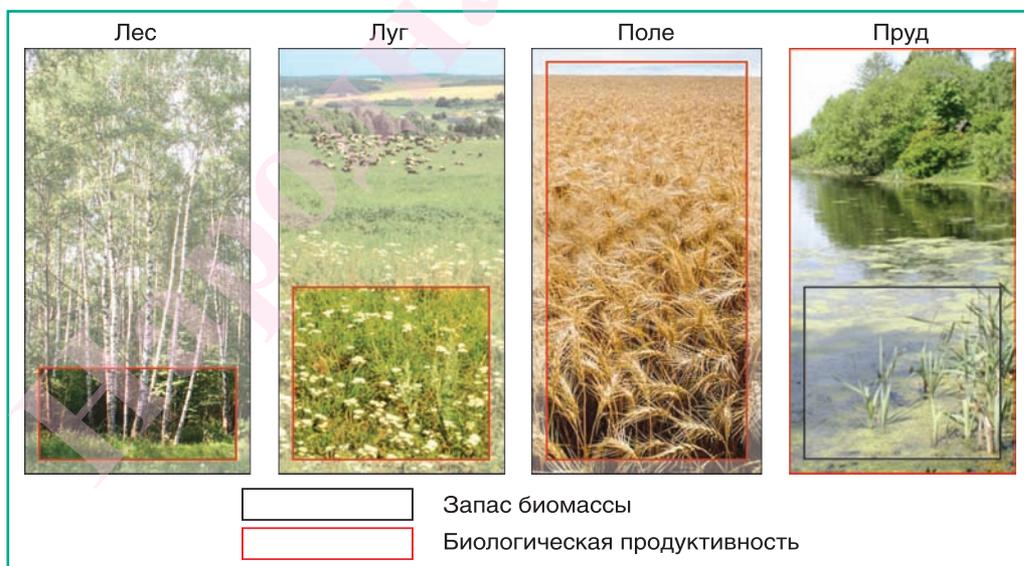


Рис. 32. Соотношение биомассы и биологической продуктивности в разных экосистемах

первичную и вторичную продуктивность. Соответственно, образующаяся при этом продукция называется первичной и вторичной.

Первичная продукция — биомасса, созданная автотрофными организмами (продуцентами) из минеральных веществ в процессе фото- или хемосинтеза. Основной объем первичной продукции на Земле создают зеленые растения. Эффективность превращения поглощаемой ими солнечной энергии в энергию химических связей органических веществ составляет в среднем 1 %. Эта закономерность получила название **правила 1 %**. Первичная продукция является очень важной характеристикой экосистемы. Именно накопленная в ней энергия позволяет существовать всем гетеротрофным организмам (консументам и редуцентам) и создавать свою продукцию.

Вторичная продукция — биомасса, созданная гетеротрофными организмами (консументами и редуцентами) из органического вещества после его частичного расщепления.

Распределение первичной и вторичной продукции на трофических уровнях экосистемы показано на рисунке 33. Видно, что часть продукции остается не-

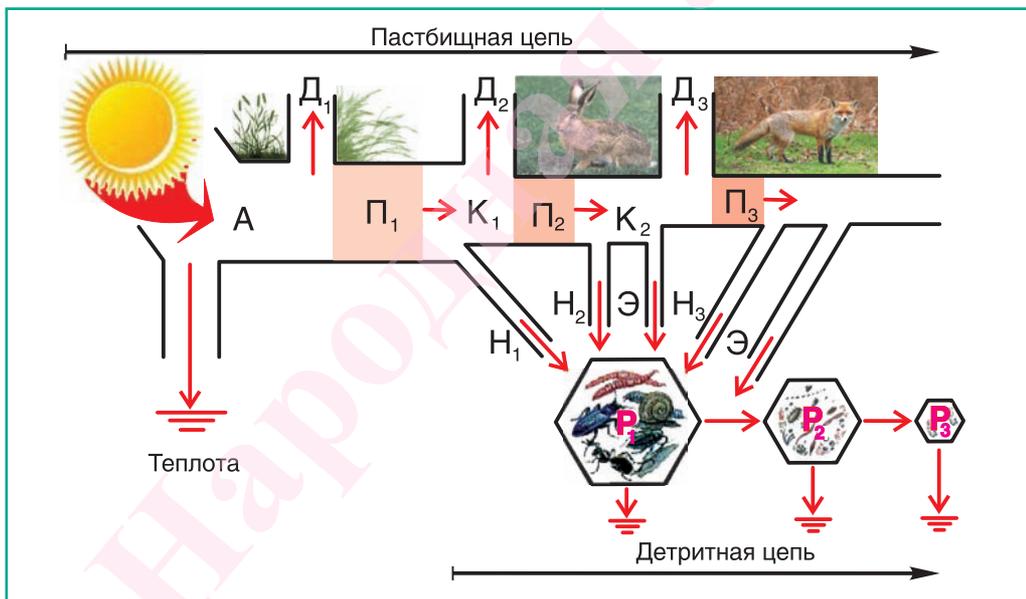


Рис. 33. Схема биологической продуктивности в экосистеме: А — поглощенная (ассимилированная) растениями солнечная энергия; П₁ — первичная продукция; П₂, П₃ — вторичная продукция на II и III трофических уровнях; Д₁, Д₂, Д₃ — траты на дыхание на I, II, III трофических уровнях; Н₁, Н₂, Н₃ — неиспользованная продукция на I, II, III трофических уровнях; К₁, К₂ — корм, потребленный консументами I, II порядков; Э — экскременты консументов I, II порядка; Р₁, Р₂, Р₃ — редуценты I, II, III порядков

использованной. Совокупность неиспользованных продуктов всех трофических уровней экосистемы составляет чистую продукцию сообщества. *Чистая продукция сообщества* — часть продукции экосистемы, которая может быть использована в пределах самой экосистемы для ее развития или может быть изъята человеком без ущерба для экосистемы. В молодых экосистемах, где численность консументов еще невелика, запас чистой продукции сообщества большой. Такие экосистемы можно вовлекать в хозяйственный оборот. По мере усложнения видового состава экосистемы количество чистой продукции сообщества постепенно снижается. На конечной стадии развития экосистемы оно приближается к нулю. Вмешательство в такие равновесные экосистемы чревато нарушением пищевых связей между организмами и может привести к разрушению экосистем.



В экосистеме происходит непрерывный круговорот веществ и направленный поток энергии. Благодаря этому идет образование биомассы организмов. Скорость возобновления биомассы называется биологической продуктивностью. Она выражается количеством продукции — биомассой, образующейся на единице площади или в единице объема за единицу времени. Различают первичную и вторичную продукции. Вся неиспользованная продукция называется чистой продукцией сообщества.



1. Докажите, что круговорот веществ в экосистеме является результатом взаимодействия продуцентов, консументов и редуцентов. 2. Объясните, почему в экосистеме нет круговорота энергии. 3. Дайте определение продукции и биомассы экосистемы. 4. Как изменение соотношения продукции и биомассы в экосистеме может повлиять на ее состояние? Приведите примеры. 5. Какая продукция называется первичной, а какая — вторичной? Почему? 6. Что такое чистая продукция сообщества? Для чего она может быть использована?

§ 21. Биотические взаимоотношения популяций в экосистемах

Как известно, между популяциями в экосистеме возникают трофические, топические, форические и фабрические связи. На основе этих связей формируются различные биотические взаимоотношения, которые могут по-разному отражаться на численности и жизнеспособности популяций в экосистеме.



Американский эколог Ю. Одум предложил классифицировать биотические взаимоотношения по характеру их влияния на взаимодействующие популяции (виды). Согласно этой классификации любое взаимоотношение можно описать с помощью сочетания двух символов, показывающих его последствия для популяций. Символ «0» означает отсутствие заметных для вида последствий данного взаимоотношения. Польза для вида от взаимодействия с другим видом обо-

значается символом «+», а отрицательное влияние такого взаимодействия — символом «-». Используя эти символы, характеристику наиболее распространенных в экосистеме типов взаимоотношений популяций представим в виде таблицы (табл. 3).

Таблица 3. Классификация биотических взаимоотношений

Тип взаимоотношений	Вид А	Вид Б	Характеристика взаимодействия
Конкуренция	—	—	Прямое и не прямое подавление обоих видов при дефиците общего ресурса
Аменсализм	—	0	Вид Б подавляет вид А, но сам ничего при этом не испытывает
Паразитизм	+	—	Паразит получает пользу, а хозяин угнетается
Хищничество	+	—	Хищник получает пользу, а жертва несет урон
Нейтрализм	0	0	Виды не влияют друг на друга
Комменсализм	+	0	Вид А получает пользу, а виду Б это взаимодействие безразлично
Протокооперация	+	+	Взаимодействие благоприятно для обоих видов, но не обязательно
Мутуализм	+	+	Взаимодействие благоприятно для обоих видов и обязательно

Для регуляции численности популяций в экосистеме наибольшее значение имеют такие взаимоотношения, как конкуренция и хищничество.

Конкуренция (от лат. *concurrentia* — соперничество) — взаимоневыгодный тип взаимоотношений между видами со сходными потребностями. Она проявляется либо в форме агрессии, когда организмы вступают в прямую, открытую борьбу (*прямая конкуренция*), либо в форме *косвенной конкуренции* за ресурс. В результате прямой конкуренции особи уничтожают друг друга путем прямого нападения. Например, серая крыса крупнее и агрессивнее черной, в схватках чаще одерживает верх. Поэтому в поселениях человека в Европе серая крыса почти вытеснила черную. В случае косвенной конкуренции численность популяций обоих видов снижается вследствие гибели особей из-за недостатка общего ресурса. Примером может служить конкуренция между растениями разных видов за свет, воду и минеральные вещества. Было замечено, что близкородственные виды с одинаковыми потребностями, как правило, не существуют вместе. Один вид (более конкурентоспособный) вытесняет другой (менее конкурентоспособный). Этот принцип важно учитывать при вселении видов в другую среду.

Хищничество — тип взаимоотношений видов разных трофических уровней, когда один вид (*хищник*) живет за счет другого (*жертвы*) в результате его умерщвления и поедания. По сути дела к этому типу взаимоотношений можно отнести все варианты трофических связей. Однако, когда в качестве жертвы выступают растения, то эти взаимоотношения называют *растительнойядностью*. В ходе эволюции хищник и жертва параллельно эволюционируют, приспособляясь друг к другу (*коэволюция*). Примерами хищничества являются взаимоотношения: паук — муха, сова — мышь, удав — кролик, каракатица — рыба-глобрюх и др.

Совокупность таких взаимоотношений, как паразитизм, комменсализм и мутуализм называют симбиозом.

Симбиоз (от греч. *symbiōsis* — совместная жизнь) — длительное сожительство популяций двух или нескольких видов, извлекающих из него взаимную или одностороннюю пользу. Основой для симбиоза могут быть трофические и топические связи. При этом каждый из симбионтов либо может жить самостоятельно, либо один из них (или оба) оказывается в такой зависимости от другого, что самостоятельно существовать не может. По характеру отношений между партнерами выделяют три типа симбиоза.

Паразитизм (от греч. *parásitos* — нахлебник) — тип взаимоотношений популяций разных видов, из которых одна (паразит) использует другую (хозяина) в качестве среды обитания и источника пищи. Паразитизм возник на основе трофических и топических связей. Паразит всегда меньше хозяина, он ослабляет, но не уничтожает хозяина, иначе погибнет сам. Паразитизм распространен среди мелких организмов — вирусов, бактерий, грибов. Встречается и среди некоторых растений (повилика, заразиха), червей и др. В ходе эволюции формируются взаимные приспособления паразита и хозяина (*коэволюция*). Примерами паразитизма могут служить взаимоотношения: аскарида — человек, печеночный сосальщик — крупный рогатый скот, фитофтора — томаты.

Паразитизм, также как хищничество и конкуренция, играет важную роль в регуляции численности популяций в природе. Неразумное вмешательство в эти взаимоотношения часто наносит вред природе и человеку.

Комменсализм (от лат. *commensalis* — сотрапезник) — тип взаимоотношений, при котором популяция одного вида извлекает пользу, не принося ни вреда, ни пользы популяции другого вида. Если взаимоотношения возникают на основе трофических связей, то такая форма комменсализма называется нахлебничеством. Например, грифы питаются остатками пищи львов (рис. 34), а песцы доедают остатки трапезы белого медведя. Если же популяции взаимодействуют на основе топических связей, то это проявление комменсализма

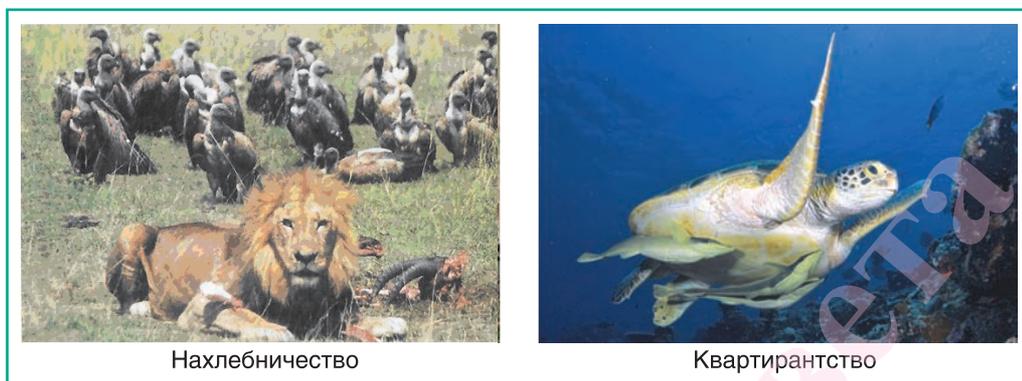


Рис. 34. Комменсализм

называется квартирантством. Например, рыбы-прилипалы и водная черепаха, беспозвоночные в гнездах птиц.

Мутуализм (от лат. *mutuus* — взаимный) — взаимовыгодный и обязательный для жизни хотя бы одной из популяций тип взаимоотношений. При нарушении этих взаимоотношений жизнь одной или обеих популяций становится невозможной. Примером могут служить отношения клубеньковых бактерий и бобовых растений, шляпочного гриба и древесного растения (рис. 35).

Биотические взаимоотношения имеют большое экологическое значение. Они участвуют в саморегуляции любой экосистемы, помогая сохранить ее устойчивость. Комменсализм обеспечивает максимальное использование пищевых ресурсов и среды обитания. Паразиты и хищники регулируют численность популяций хозяина и жертвы. Жертва, уходя от своего преследователя, расселяется и расширяет свой ареал. Взаимовыгодные взаимоотношения способствуют лучшему выживанию видов, их размножению, то есть поддерживают видовое многообразие.



Рис. 35. Мутуализм (микориза, образованная масленком на корнях лиственницы)



Биотические взаимоотношения в экосистеме формируются на основе связей между популяциями разных видов. Наибольшее значение для регуляции численности популяции имеют: конкуренция, хищничество, симбиоз (паразитизм, комменсализм, мутуализм). Устойчивость экосистемы обеспечивается благодаря взаимоуравновешиванию этих отношений.



1. Какие типы взаимоотношений могут возникать между популяциями разных видов?
2. В саваннах Африки в одних и тех же условиях обитают растительноядные карликовая антилопа, жирафовидная антилопа и антилопа гну. Почему между ними нет жесткой конкуренции за пищу?
3. К каким последствиям для экосистемы может привести полное уничтожение отдельного вида хищника или паразита?
4. Хищные млекопитающие имеют немало особенностей, помогающих им на охоте. Однако в природе численность самих хищников и их жертв остается примерно на одном уровне. Почему?

§ 22. Динамика экосистем

Любая экосистема достаточно изменчива, несмотря на относительную стабильность ее структуры. Изменение состояния экосистемы в ответ на изменение условий среды называется *динамикой экосистемы*. Тип динамики зависит от характера изменения экологических факторов среды, которые приводят к изменению свойств и структуры популяций, их взаимоотношений и состава. Изменение факторов среды может носить циклический или однонаправленный характер, вследствие чего будут возникать *периодические* или *поступательные* изменения экосистемы.

Сезонная динамика экосистем — периодические изменения экосистемы, связанные со сменой времен года. Вы уже знаете, что смена времен года происходит вследствие вращения Земли вокруг Солнца. В зависимости от положения Земли относительно Солнца в экосистему поступает разное количество солнечного света, тепла, влаги. Наиболее резкие изменения этих факторов при смене времен года наблюдаются в умеренных и высоких широтах. Именно в направлении от экватора к полюсам отмечается усиление выраженности сезонной динамики экосистем. Наступление неблагоприятного периода вызывает миграции и кочевки у птиц, спячку у млекопитающих, оцепенение у пресмыкающихся и земноводных, инцистирование у протистов. В растительном сообществе в течение года четко отслеживаются периоды листопада, зимнего покоя, активной вегетации, цветения, плодоношения, подготовки к зиме. В животном мире размножение особей связано с наличием кормовой базы для потомства, которая также зависит от времени года. Например, клесты выводят птенцов в февральские морозы, когда вскрываются еловые шишки и имеется обилие семян. Грачи выкармливают своих птенцов дождевыми червями, которых больше всего ранней весной

во время пахоты. Сезонные изменения обеспечивают выживание видов в течение года, когда климатические условия изменяются в широких пределах.

В результате сезонных изменений наблюдается изменение не только качественных, но и количественных характеристик экосистемы. Некоторые виды практически полностью исключаются из жизни сообщества в определенные периоды (спячка, оцепенение, миграции и т. д.). Сезонной изменчивости подвержены и ярусы. Некоторые ярусы могут полностью исчезать в определенный сезон (например, растения-однолетники зимой). Все вышеперечисленные изменения носят периодический характер. Они не изменяют саму сущность экосистемы, поэтому и не приводят к ее смене. Например, летний лес сильно отличается от зимнего как качественно, так и количественно. Но он по-прежнему остается лесом, а не становится, например, лугом.

Понятие экологической сукцессии. Поступательные изменения экосистемы вызываются однонаправленным изменением условий среды. В результате направленного изменения абиотических факторов существующие в экосистеме популяции начинают вымирать. Новые условия среды становятся непригодными для их существования, так как сила воздействия факторов выходит за пределы выносливости популяций. Вместо них заселяются новые популяции, для которых эти условия благоприятны. Это приводит к смене одного биоценоза другим с новым набором видов. В результате происходит смена всей экосистемы. Новая экосистема сменится следующей определенной экосистемой по той же причине. И так будет продолжаться до тех пор, пока не стабилизируются условия среды, и сформируется конечная равновесная экосистема, т. е. пока не произойдет *сукцессия*.

Сукцессия (от лат. *successio* — преемственность, последовательность) — **закономерная, последовательная смена одних экосистем другими на определенной территории под влиянием направленного изменения природных факторов или деятельности человека.**

Цепь сменяющих друг друга экосистем называется *сукцессионным рядом* или *серией*, а сами экосистемы — *сериальными стадиями*. Экосистема, в которой достигается равновесное состояние сообщества и окружающей среды, называется *климаксовой стадией* или *климаксом* (от греч. *kli* *ἔταx* — зрелая ступень). Типичными климаксовыми экосистемами являются тундра, тайга, ковыльная степь. Теоретически климаксовая экосистема способна поддерживать себя неограниченно долго. В отличие от сериальных стадий годовая продукция климаксовой экосистемы уравнивает ее годовое потребление.

Выделяют два основных типа сукцессий в зависимости от первоначального состояния субстрата — первичные и вторичные.

Первичные сукцессии начинаются на месте, ранее лишенном жизни. Например, на застывшей лаве после извержения вулканов, на морских островах после землетрясений, на песчаных дюнах, на голых скалах, наносах рек. При пер-

вичных сукцессиях сериальные стадии сменяют одна другую в течение значительного промежутка времени. Достижение климаксовой стадии занимает длительный период (столетия и тысячелетия). При этом начальные стадии значительно продолжительнее конечных.

Первичная сукцессия на песчаных дюнах происходит следующим образом. На голых песках поселяются многолетние злаки, ивы, способные жить в условиях засухи, а вместе с ними — норные пауки, кузнечики, роющие осы. Потом появляется разнотравье. Создается органическое вещество, обогащающее субстрат. Появляется сосна, которая закрепляет пески, потом лиственные породы. Богаче становится животный мир: новые места заселяют муравьи, кобылки, жуки, дождевые черви, моллюски, грызуны и другие обитатели лиственного леса. Таким образом, главная роль в этой сукцессии принадлежит растениям, которые вызывают изменения в почве, служащие основой для изменения видового состава экосистемы.

Вторичные сукцессии начинаются на месте разрушенной экосистемы. Примером может служить зарастание заброшенных полей, лесной вырубки, загрязненных водоемов, восстановление лугов и лесов после пожара, засухи, наводнения, эрозии. В современных условиях вторичные сукцессии наблюдаются повсеместно. Смена сериальных стадий и достижение климакса в этом случае происходит значительно быстрее (десятки и сотни лет), чем при первичных сукцессиях. Поскольку здесь сохраняется почва, семена, зачатки и части предшествующего населения и связей, то начальные стадии в этом случае менее продолжительные, чем последующие.

В качестве примера рассмотрим вторичную антропогенную сукцессию, протекающую на месте сгоревшего леса (рис. 36). В первые десять лет на месте пожа-

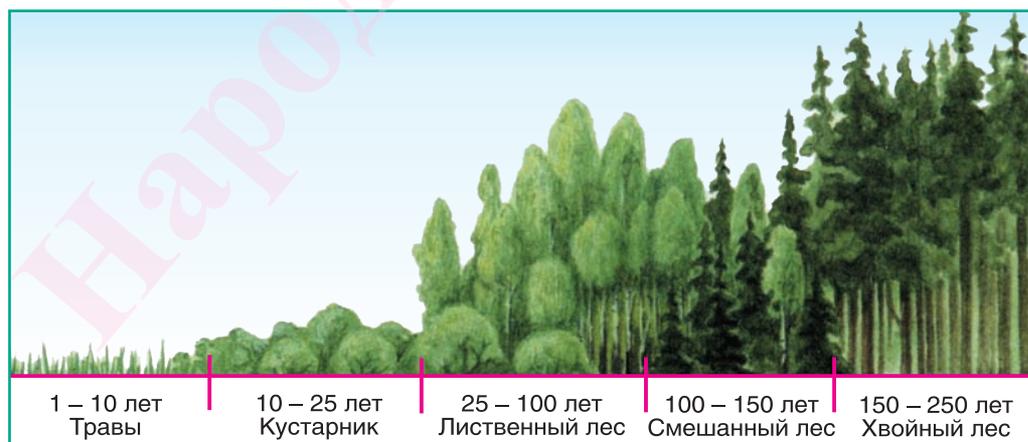


Рис. 36. Схема вторичной сукцессии на месте лесного пожара в умеренном поясе

рища развивается густой травостой. В последующие 10—25 лет происходит зарастание кустарником. Первыми из деревьев появляются береза и осина. Их семена переносятся ветром и, прорастая, легко дают поросль. В течение 25—100 лет формируется лиственный лес. Со временем кроны деревьев смыкаются и для проростков создаются неблагоприятные условия. Под пологом берез и осин прорастают семена ели, и через 100—150 лет формируется смешанный лес. Ель, затеняя, постепенно вытесняет березу и осину, и смешанный лес через 150—250 лет заменяется еловым, который может существовать бесконечно долго. Еловый лес является климаксовой стадией, потому что под его пологом может идти возобновление только ели.

Зрелая климаксовая экосистема обладает высокой устойчивостью. Чем больше разнообразие видов в экосистеме и сложнее трофические связи между ними, тем устойчивее экосистема. При высоком видовом разнообразии консументы имеют широкую сеть пищевых ресурсов. В случае недостатка или отсутствия одного вида корма они способны переключиться на другой источник питания. Это дает возможность недостающему корму восстановиться. Так устанавливается динамическое равновесие между пищевыми ресурсами и их потребителями в условиях постоянных изменений условий среды. Динамическое равновесие экосистемы в изменяющихся условиях среды называется *гомеостазом* экосистемы. Гомеостаз достигается благодаря саморегуляции. Саморегуляция происходит после любого внешнего воздействия (антропогенного или природного), которое изменяет состояние экосистемы. Она представляет собой способность экосистемы к восстановлению своих прежних свойств и структуры. В результате саморегуляции формируются экосистемы, наиболее характерные для данного региона.



Сезонная динамика — периодические изменения экосистемы, связанные со сменой времен года. Она не приводит к смене экосистемы. Сукцессия — закономерная, последовательная смена одних экосистем другими на определенной территории. Она включает сериальные стадии и стадию климакса. Сукцессии бывают первичные и вторичные.



1. Чем сезонная динамика экосистемы отличается от сукцессии? **2.** Что такое сукцессия? Какие бывают типы сукцессий? **3.** Что такое климаксовая стадия сукцессии? Чем она отличается от сериальной стадии? **4.** Проанализируйте механизмы первичной и вторичной сукцессий. В чем их различие? **5.** Укажите, какие из перечисленных ниже сукцессий являются первичными, а какие — вторичными: восстановление луга после пожара, превращение водоема в болото, появление леса на месте вулканической лавы, превращение луга в пустырь, зарастание песчаной дюны. **6.** Дайте определение гомеостаза экосистемы. За счет чего он поддерживается в экосистеме?

§ 23. Агроэкосистемы и их особенности

Понятие об агроэкосистемах. Человек получает достаточно много разных видов продукции от природных экосистем. Тем не менее, основным источником пищевых ресурсов для него является сельское хозяйство. Сельскохозяйственная деятельность человека способна изменять природные экосистемы, а также формировать искусственные экосистемы и поддерживать их существование с целью получения сельскохозяйственной продукции. Эти искусственные экосистемы называются агроэкосистемами.

Агроэкосистемы (от греч. *agrós* — поле) — **искусственные экосистемы, созданные и используемые человеком для получения сельскохозяйственной продукции или отдыха.**

Агроэкосистемы занимают примерно 30 % свободной ото льда суши нашей планеты. Из них около 10 % приходится на пахотные земли, почти 20 % занимают пастбища.

Условно агроэкосистемы можно разделить на два типа: *агроэкосистемы доиндустриального периода* и *агроэкосистемы индустриального периода*.

Для агроэкосистем первого типа характерно использование дополнительной энергии только в виде мышечных усилий человека и животных. Получаемая от них продукция в основном используется семьей производителя и лишь частично идет на местный рынок. Доиндустриальные агроэкосистемы гармонируют с природными экосистемами, не вызывая их загрязнения, но характеризуются низкой продуктивностью.

Агроэкосистемы второго типа получают дополнительную энергию в основном в виде техники, горючего, минеральных удобрений, пестицидов (химических средств борьбы с вредителями). Для них характерна высокая продуктивность. Производимая продукция в основном идет на рынок (порой на международный) и лишь частично используется производителями.

В Республике Беларусь сельскохозяйственная продукция как товар играет важную роль в экономике. Площадь сельскохозяйственных угодий у нас составляет около 75 %, из них на долю пахотных земель приходится примерно 60 %. Основными типами агроэкосистем в нашей стране являются: пахотные поля, сенокосы и пастбища, фруктовые сады, огороды, теплицы (рис. 37).

Однако индустриализация сельского хозяйства имеет не только плюсы, но и минусы. Современные агроэкосистемы представляют экологическую опасность для природных экосистем. Применяемые для повышения их продуктивности химические средства борьбы с вредителями и возбудителями болезней — *пестициды*, с помощью воды, воздуха по цепям питания переносятся в природные эко-

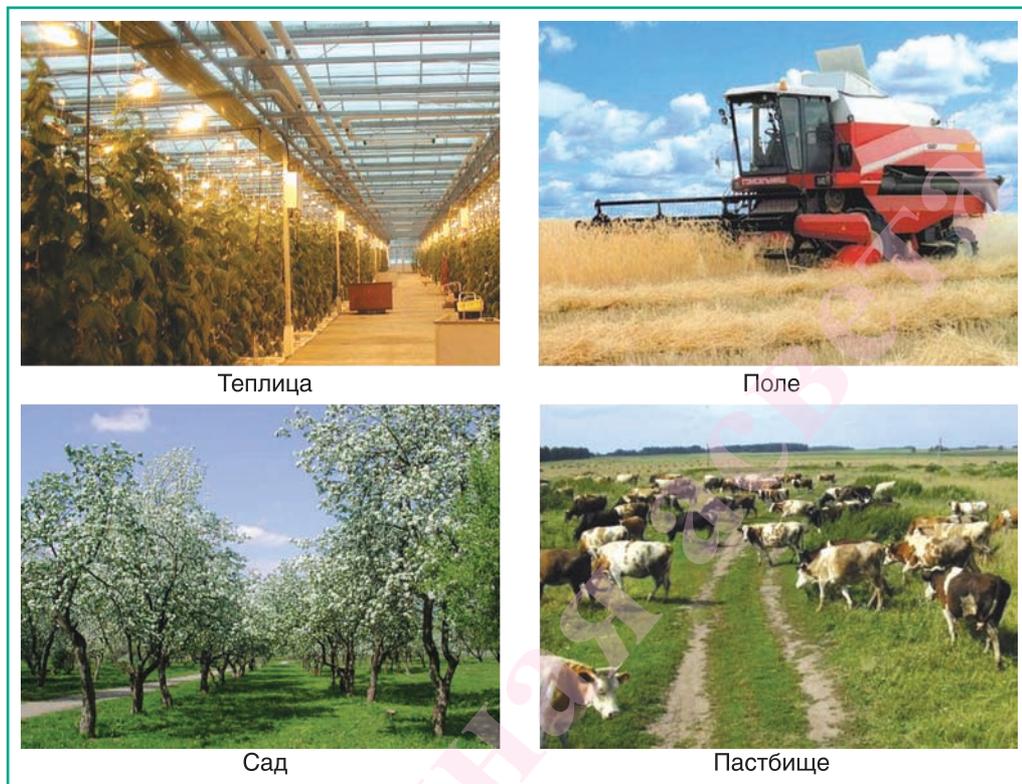


Рис. 37. Агроэкосистемы

системы, загрязняя их. Следовательно, нужно переходить на биологические методы борьбы. Избыточное внесение минеральных и органических удобрений может вызывать загрязнение грунтовых вод и поверхностных водоемов. Сорняки и насекомые-вредители из агроэкосистем способны мигрировать в природные экосистемы и отрицательно влиять на них.

Для того чтобы снизить негативное воздействие агроэкосистем на природное окружение, в Республике Беларусь проводится большая работа по созданию продуктивных, высокоэкономичных и экологических агрокомплексов.



Институт овощеводства НАН Республики Беларусь разработал комплекс машин по возделыванию овощных культур с применением современных технологий. Например, культиватор-опрыскиватель не только обрабатывает междурядья овощных культур, но и вносит растворимые пестициды и минеральные удобрения. Его можно использовать для обработки картофеля и других пропашных культур. Комбинированный посевной агрегат одновременно обрабатывает почву, готовит ее к севу, высевает пунктирным способом семена овощных культур, осуществляет дозированное внесение гранулированных минеральных удобрений.



ОАО «Бобруйскагромаш» впервые выпустил машины для внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений. На этом предприятии разработаны машины для дозированного внесения твердых органических и минеральных удобрений. Научно-практический центр НАН Республики Беларусь по земледелию создает селекционно-семеноводческий комплекс для получения нового поколения сортов и гибридов культурных растений с использованием мировых достижений в области биотехнологии и генетической инженерии. Их внедрение в сельское хозяйство позволит получать высокие урожаи при меньшем количестве вносимых удобрений и пестицидов.

Структура агроэкосистемы. Агроэкосистемы являются биосистемами того же уровня организации, что и природные экосистемы. Они включают сообщество и биотоп, которые связаны обменом вещества и энергии.

Сообщество состоит из продуцентов, консументов и редуцентов, взаимодействующих за счет трофических связей, благодаря чему осуществляется круговорот веществ. Отличие сообщества агроэкосистемы от природного сообщества отмечается на уровне видового состава функциональных групп организмов и их взаимосвязей. Каждая функциональная группа состоит из небольшого количества специфичных видов. Среди продуцентов доминирует культурный вид растений, имеется несколько видов сопутствующих сорняков. Консументы представлены беспозвоночными, паразитическими грибами и бактериями, питающимися преимущественно культурными растениями. Иногда могут присутствовать мелкие грызуны, некоторые птицы. На пастбищах доминируют виды домашних животных. Функцию редуцентов выполняют почвенные грибы, бактерии, дождевые черви. Человек постоянно нарушает взаимодействие видов в сообществе через искусственный отбор и приемы агротехники.

Отличия агроэкосистем от природных экосистем. Агроэкосистемы существенно отличаются от природных экосистем (табл. 4).

Таблица 4. Сравнительная характеристика экосистем

Природные экосистемы	Агроэкосистемы
Первичные естественные структурные единицы биосферы, образовавшиеся в результате длительной эволюции	Вторичные искусственные структурные единицы биосферы, созданные человеком
Сложные системы с большим видовым разнообразием, в которых доминирует несколько видов. Видовая структура формируется под действием факторов среды. Культурные (сельскохозяйственные) растения отсутствуют	Упрощенные системы с небольшим видовым разнообразием, в которых доминирует, как правило, один культивируемый человеком вид растений или животных. Видовая структура формируется как под действием факторов среды, так и при определяющей роли человека

Продолжение

Природные экосистемы	Агроэкосистемы
Свойственно устойчивое динамическое равновесие, достигаемое саморегуляцией, благодаря разнообразию трофических связей. Пищевые цепи длинные (3—5 звеньев), а пищевая сеть сложная	Неустойчивы, без поддержки человека быстро разрушаются. Саморегуляция отсутствует. Пищевые цепи короткие (2—3 звена), пищевая сеть простая
Продуктивность определяется количеством поступающей солнечной энергии и степенью замкнутости круговорота веществ	Продуктивность определяется количеством совокупной энергии (солнечная энергия + энергия, привносимая человеком), поступающей в систему, и зависит от технических и экономических возможностей человека
Вся чистая первичная продукция используется консументами и редуцентами, вовлекающими ее в полный и замкнутый круговорот веществ	Основную часть чистой первичной продукции в виде урожая человек изымает для своих потребностей и на корм скоту. Изъятые на уровне продуцентов вещества восполняются на уровне детритных цепей в виде органических (детрит) или минеральных удобрений. Круговорот веществ неполный и незамкнутый
Экологически безопасны, не являются источником загрязняющих веществ	Экологически опасны, являются источником загрязняющих веществ, способны влиять на устойчивость природных экосистем



Агроэкосистемы — искусственные системы, созданные и поддерживаемые человеком с целью получения сельскохозяйственной продукции или отдыха. Отличительными особенностями агроэкосистем являются: небольшое видовое разнообразие, низкая устойчивость, неспособность к саморегуляции, неполный и незамкнутый круговорот веществ, наличие дополнительного источника энергии, высокая биологическая продуктивность.



1. Сравните агроэкосистемы доиндустриального и индустриального периодов. В чем их различие? **2.** Объясните, почему в агроэкосистемах насекомые-вредители могут достигать высокой численности, а в природных экосистемах их численность относительно постоянна. **3.** Отнесите перечисленные ниже объекты к природным экосистемам или к агроэкосистемам: океан, огород, степь, озеро, парк, альпийский луг, яблоневый сад, тропический лес, пшеничное поле. **4.** Объясните, почему агроэкосистемы неустойчивы и быстро разрушаются без поддержки человека. Предложите пути повышения их устойчивости. **5.** Почему в агроэкосистемах круговорот веществ неполный и незамкнутый?



§ 24. Основные гипотезы происхождения жизни

Вопрос о происхождении жизни является одним из наиболее трудных и в тоже время интересных вопросов современного естествознания. Трудность его состоит в том, что ученые не могут точно воспроизвести все процессы и явления, происходившие в нашей Вселенной миллиарды лет назад. В тоже время нынешнее многообразие форм и проявлений жизни на планете приковывает к этой проблеме самое пристальное внимание. Сегодня выделяют следующие основные гипотезы происхождения жизни.

Креационизм. Согласно этой гипотезе жизнь и все населяющие Землю виды живых существ созданы Богом. Причем божественное сотворение мира произошло одновременно, поэтому сам процесс создания жизни не доступен для наблюдений во времени. Кроме того, креационизм не дает ясного толкования о происхождении самого Бога-Творца и поэтому носит характер постулата. Знаменитый шведский естествоиспытатель К. Линней, а также выдающийся русский химик М. В. Ломоносов поддерживали данную догму возникновения жизни.

Гипотеза самопроизвольного зарождения подразумевает возникновение живых организмов из неживого вещества. Данная гипотеза явилась альтернативой креационизму, когда накопленные знания людей о живой природе стали подвергать сомнению сотворение жизни Богом. Философы Древней Греции и естествоиспытатели средневековой Европы верили в появление живых организмов из неживой материи. Они считали и даже пытались доказать, что лягушки и насекомые заводятся в сырой почве, мухи — в гнилом мясе, мыши — в грязном белье и т. д. Взгляды о самопроизвольном зарождении жизни были распространены практически до конца XVIII в. Только в середине XIX в. французский ученый Луи Пастер доказал, что бактерии вездесущи и любые неживые объекты могут быть «заражены» ими, если не проводить стерилизацию. Таким образом, Пастер подтвердил теорию **биогенеза** — жизнь может возникнуть только из предшествующей жизни. В то же время этот ученый окончательно опроверг концепцию самопроизвольного зарождения жизни.



Во второй половине XIX в. получила распространение **гипотеза панспермии**. Согласно этой гипотезе жизнь могла быть занесена на Землю из космоса с других планет вместе с метеоритами и космической пылью. Следует отметить, что ее сторонником был великий русский ученый, создатель современного учения о биосфере В. И. Вернадский. Действительно, современные лабораторные исследования подтверждают высокую устойчивость некоторых микроорганизмов и их

А. И. Опарин (1894—1980) — русский биохимик. Выдвинул гипотезу возникновения жизни на Земле (1922)

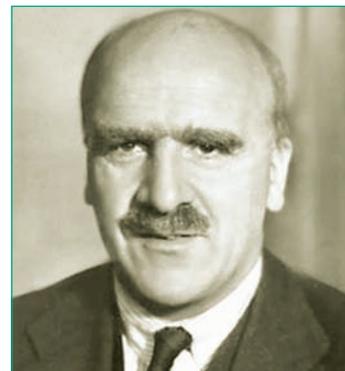
спор к радиации, низким температурам и другим неблагоприятным воздействиям. В последнее время появились сообщения о том, что в метеоритах обнаружены следы органического вещества. При изучении ближайшей к Земле планеты Марс были найдены структуры, похожие на бактерии, и следы воды. Однако указанные находки не отвечают на вопрос о происхождении жизни, а просто переносят эту проблему в иную часть нашей Галактики.

Биохимическая гипотеза возникновения жизни является наиболее распространенной в настоящее время. Биохимическую гипотезу в 20-е гг. прошлого века предложили русский биохимик А. И. Опарин и английский биолог Дж. Холдейн. Она легла в основу научных представлений о происхождении жизни.

Суть данной гипотезы заключается в том, что на ранних этапах развития Земли существовал продолжительный период образования органических соединений из неорганических без участия живых организмов (рис. 38, 1). Для синтеза органических соединений источником энергии служило ультрафиолетовое излучение Солнца. Солнечная радиация в то время не задерживалась озоновым слоем, потому что ни озона, ни кислорода в атмосфере древней Земли не было. Аминокислоты, сахара и другие синтезированные органические соединения в течение десятков миллионов лет запасались в древнем океане. Их накопление в итоге привело к образованию однородной массы, которая была названа Опариним «первичным бульоном». По мнению Опарина, именно в «первичном бульоне» и возникла жизнь (рис. 38, 2).

Опарин считал, что решающая роль в превращении неживого в живое принадлежит белкам. Именно белки способны образовывать коллоидные комплексы, притягивающие к себе молекулы воды. Такие комплексы, сливаясь друг с другом, формировали *коацерваты* — структуры, обособленные от остальной массы воды (рис. 38, 3).

Коацерваты обладали некоторыми свойствами живого. Они могли избирательно поглощать из окружающего раствора вещества и за счет этого увеличиваться в размерах — некое подобие питания и роста (рис. 38, 4). При дроблении ко-



Дж. Холдейн (1892—1964) — английский биолог, подтвердивший генетическую основу эволюции и мутагенеза

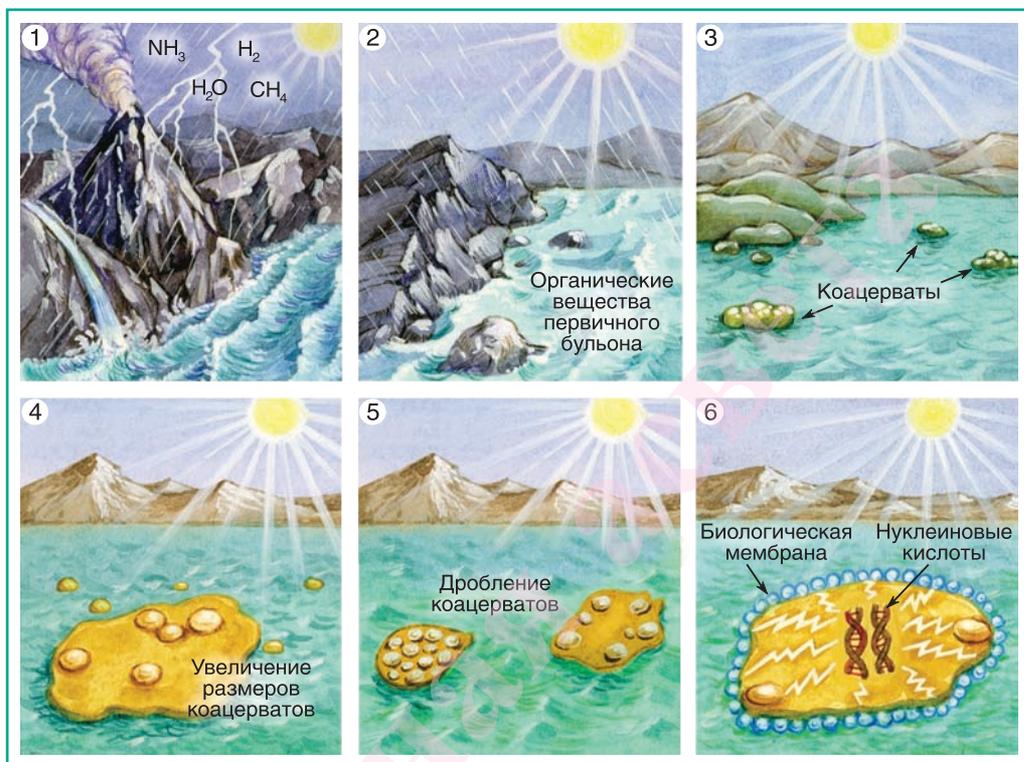


Рис. 38. Схема зарождения жизни согласно биохимической гипотезе Опарина—Холдейна ацерватов образовывались новые капли, сохранявшие основные свойства исходного образования — подобие размножения (рис. 38, 5). Но для превращения в первые живые организмы коацерватам не хватало биологических мембран и генетической информации, обеспечивающей воспроизводство.

Следующим шагом в зарождении жизни стало появление мембран. Они могли образовываться из липидных пленок, покрывающих поверхность водоемов, к которым присоединялись растворенные в воде белки. В результате поверхность коацерватов приобретала структуру и свойства биологической мембраны, которая уже могла пропускать внутрь одни вещества и не пропускать другие (рис. 38, 6).

Дальнейшее объединение коацерватов с нуклеиновыми кислотами привело к образованию способных к саморегуляции и самовоспроизведению первых живых организмов — *протобионтов*. Эти примитивные первичные организмы были анаэробами и гетеротрофами, питавшимися веществами «первичного бульона». Таким образом, спустя 1 млрд лет согласно этой гипотезе завершилось зарождение жизни на Земле.



В настоящее время выделяют следующие основные гипотезы происхождения жизни: гипотезы креационизма, самопроизвольного зарождения, панспермии и биохимическую. Среди современных взглядов ученых на происхождение жизни важнейшее место занимает биохимическая гипотеза. Согласно ей жизнь на Земле возникла за продолжительный отрезок времени в отсутствие кислорода при наличии химических веществ и постоянного источника энергии.



1. В чем заключаются принципиальные отличия гипотез происхождения жизни?
2. В чем несостоятельность гипотезы самопроизвольного зарождения жизни?
3. Какие современные научные данные можно привести в поддержку гипотезы панспермии?
4. Охарактеризуйте сущность биохимической гипотезы зарождения жизни. В каких, на ваш взгляд, условиях могли возникнуть живые организмы?

§ 25. Общая характеристика теории эволюции Ч. Дарвина

Развитие эволюционных взглядов. Термин «*эволюция*» (от лат. *evolutio* — развертывание) был введен в науку в середине XVIII в. швейцарским зоологом Шарлем Бонне. **Биологическая эволюция — поступательный направленный исторический процесс изменения живых организмов и их сообществ, приводящий к более высокой ступени их развития.** Ход эволюции имеет необратимый характер.

Вопросы происхождения и разнообразия органического мира всегда волновали человечество. В средние века господствовал креационизм — представление о том, что все живые организмы созданы Богом и неизменны во времени. Однако к концу XVIII в. научные открытия в области химии, физики и биологии укрепили идею о единстве мира живых организмов и подготовили почву для создания единой эволюционной теории, которую разработал великий английский ученый Ч. Дарвин.



На рубеже XVIII—XIX вв. накопилось немало научных предпосылок создания эволюционной теории. Так, была обоснована идея об изменяемости поверхности Земли под влиянием климатических факторов. Учеными-химиками было доказано, что все живые организмы состоят из тех же химических элементов, которые есть в неживой природе. Биологи установили, что закон сохранения энергии применим и по отношению к живым организмам. В начале XIX в. французский натуралист Ж. Б. Ламарк впервые предложил последовательное учение о развитии живой природы. Ламарк первым указал на связь организмов со средой их обитания. Именно среда обитания, по его мнению, явилась причиной изменения живых организмов. Ученый определил направление эволюции как постепенный переход живых организмов от низших форм к высшим. Но в то же время Ламарку не удалось вскрыть истинные причины, способствующие данному эволюционному переходу.

Помимо научных открытий формированию теории эволюции значительно способствовала социально-экономическая обстановка — к началу XIX в. Англия превратилась в крупнейшую промышленную и колониальную державу. Развитие мо-

реплавания, торговли, освоение колоний способствовали накоплению знаний о растительном и животном мире разных стран. Увеличение масштабов промышленного производства и рост городского населения повысили спрос на сельскохозяйственное сырье и продукты питания. Это явилось стимулом к выведению более урожайных сортов культурных растений и продуктивных пород домашних животных.

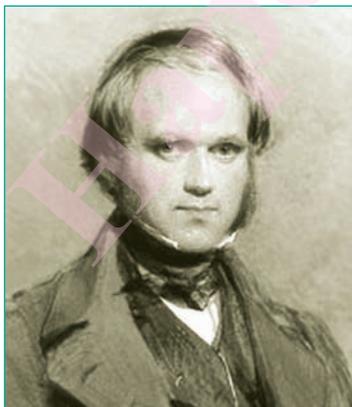


На создание эволюционной теории во многом повлияли работы английских экономистов А. Смита и Т. Мальтуса. А. Смит создал учение о свободной конкуренции в промышленности. Т. Мальтус впервые ввел выражение «борьба за существование». Он объяснял, что человеку, как и всем другим организмам, свойственно стремление к безграничному размножению. Но лишь нехватка жизненно необходимых ресурсов, производство которых не поспевает за размножением, ограничивает рост численности человечества.

Становление эволюционных взглядов Ч. Дарвина. Чарльз Дарвин родился в 1809 г. в семье английского врача. Учеба в университетах Эдинбурга и Кембриджа дала ему глубокие знания в области зоологии, ботаники и геологии, привила вкус к полевым исследованиям. Дарвин хорошо изучил эволюционные взгляды Ламарка и других более ранних эволюционистов, но не разделял их.

Ч. Дарвин, изучая животный и растительный мир, очень интересовался находками ископаемых остатков животных. Сходство данных находок с современными формами привело его к мысли о возможном родстве этих организмов. Это позволило Дарвину выдвинуть предположение о преемственности между современными и вымершими формами живых организмов.

В 1831 г. Ч. Дарвин в качестве натуралиста отправился на паруснике «Бигль» в кругосветное плавание (рис. 39). В течение пяти лет молодой ученый изучал геологическое строение материков, флору и фауну стран мира. Дарвин обратил внимание на особенности географического распределения животных по материкам. Например, в фауне Южной Америки он обнаружил формы, которых не наблюдалось в Северной Америке (обезьяны, ламы, ленивцы, муравьеды, броненосцы). Данный факт он объяснял изоляцией фауны, вызванной наличием водных преград между двумя материками.



Наибольшее впечатление произвело на Дарвина пребывание на Галапагосских островах неподалеку от западного побережья Южной Америки.

Ч. Дарвин (1809—1882) — английский естествоиспытатель, создатель дарвинизма, вскрыл основные факторы эволюции органического мира, обосновал гипотезу происхождения человека от обезьяноподобных предков



Рис. 39. Маршрут путешествия Ч. Дарвина на паруснике «Бигль»

Там он обнаружил виды вьюрков, которые различались между собой по форме клюва и типу корма (рис. 40). В то же время эти вьюрки были очень похожи на материковый вид, что, несомненно, указывало на их близкое родство.



Рис. 40. Разнообразие видов галапагосских вьюрков по форме клюва и типу корма



Клювы вьюрков одних видов идеально подходили для сбора семян, а у других были приспособлены только для охоты на насекомых. При этом все вьюрки на островах были в целом достаточно схожи. Дарвин предположил, что когда-то на острова прилетели птицы одного вида вьюрков, но затем, расселившись, они приспособились к местным условиям. Преимущество в выживании получали те, чьи клювы больше подходили для добычи доступного на островах корма: одним вьюркам досталась роль охотников за мелкими насекомыми, другие получили изобилие плодов и семян. В результате постепенно образовалось несколько различных видов этих птиц, специализировавшихся на каком-либо типе корма.

В итоге, по окончании экспедиции на основе обширного фактического материала Дарвином были сделаны важные выводы. *Во-первых*, он подтвердил, что виды способны изменяться и давать начало новым видам. *Во-вторых*, на основе изученных ископаемых остатков ученый доказал сходство в строении вымерших форм с современными живыми организмами.

Основные положения теории эволюции Ч. Дарвина. После возвращения в Англию Дарвин приступил к кропотливому труду над созданием эволюционной теории. Изучая работы Смита и Мальгуса, Ч. Дарвин попытался найти аналогичные явления в природе. Как известно, способность к неограниченному размножению является одним из основных свойств живого. К примеру, многие сельдевые рыбы ежегодно мечут до 100 тыс. икринок, а треска — до 6 млн. Но выживает же лишь малая часть потомства. Такое несоответствие между количеством родившихся и достигающих половой зрелости организмов Дарвин положил в основу учения о *борьбе за существование*. Он также указывал на наличие у организмов *изменчивости* — индивидуальных различий в признаках между особями одного вида. Результаты своих исследований Дарвин впервые опубликовал в 1859 г. в книге «Происхождение видов путем естественного отбора».

Основные положения теории эволюции Чарльза Дарвина

1. Все виды живых организмов, существующих на Земле, никогда и никем не были созданы.

2. Виды живых организмов возникли естественным путем и после возникновения поступательно совершенствовались и преобразовывались в соответствии с условиями окружающей среды.

3. Преобразование видов происходит на основе наследственности и изменчивости живых организмов и постоянно протекающего в природе естественного отбора.

4. Естественный отбор в природе осуществляется на основе сложных взаимоотношений организмов как друг с другом, так и с неблагоприятными условиями окружающей среды. Данные взаимоотношения представляют собой борьбу за существование.

5. Результатом естественного отбора является возникновение приспособленности и на этой основе многообразие видов живых организмов в природе.

Проанализировав основные положения эволюционной теории, можно сделать заключение, что, с точки зрения Ч. Дарвина, наименьшей эволюционирующей единицей — *элементарной единицей эволюции* является вид. *Предпосылками эволюции*, создающими материал для отбора в виде наследственно закрепленных различий особей, служат наследственность и изменчивость организмов. *Движущими силами эволюции*, приводящими к образованию новых видов, являются борьба за существование и естественный отбор.



В книге «Происхождение видов путем естественного отбора» Ч. Дарвин доказал, что предпосылками эволюции являются наследственность и изменчивость организмов. Естественный отбор и борьба за существование — главные движущие силы эволюции. Результатом естественного отбора является возникновение приспособленности и на ее основе многообразия видов живых организмов в природе.



1. Охарактеризуйте общественно-экономические и научные предпосылки возникновения теории эволюции Ч. Дарвина. 2. В чем заключаются основные положения теории эволюции Ч. Дарвина? 3. Что, согласно эволюционной теории Дарвина, является предпосылками, а что — движущими силами эволюции? Ответ обоснуйте.

§ 26. Теория искусственного отбора

Формы изменчивости. При создании эволюционной теории Ч. Дарвин опирался на обширный материал селекционной практики своего времени. В то время уже было известно большое количество сортов культурных растений и пород домашних животных, предками которых являлся один или несколько диких видов. Так, все известные породы домашних собак происходят от волка или шакала, породы овец — от архара или муфлона, а удивительное разнообразие голубей — от сизого скалистого голубя (рис. 41). Современные сорта капусты произошли от нескольких форм дикой капусты, встречающейся в Европе по сегодняшний день.

В условиях господства додарвиновских представлений о постоянстве и неизменности видов Ч. Дарвину важно было показать, за счет чего образуется их многообразие. Поэтому он подробно обосновал положение об изменчивости живых организмов.

Ч. Дарвин выделил три формы изменчивости: определенную (групповую), неопределенную (индивидуальную) и соотносительную (коррелятивную).

Определенная (групповая) изменчивость — появление одинаковых признаков у всех особей и их потомства под действием изменившегося фактора среды.

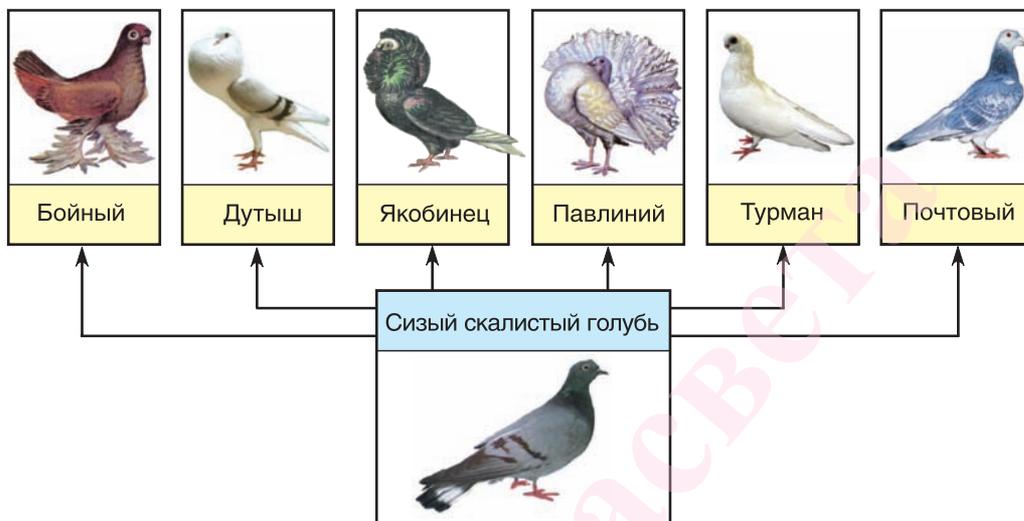


Рис. 41. Современные породы голубей и их общий предок

Определенная изменчивость носит массовый характер. Например, при недостатке корма животные теряют массу, в холодном климате шерсть у млекопитающих становится более густой, листья растений, находящиеся в условиях разной освещенности, различаются по форме и т. д. Определенная изменчивость повышает приспособленность организма к конкретным условиям среды обитания, однако не передается по наследству. То есть при изменении условий среды обитания у потомков не сохраняются признаки, приобретенные их родителями.



Рис. 42. Неопределенная изменчивость на примере узамбарской фиалки

Неопределенная (индивидуальная) изменчивость — появление у отдельно взятой особи в пределах одного сорта, породы, вида нового признака, который не встречался у родителей. Так, в пределах одной породы кроликов может наблюдаться различная окраска шерсти, а в пределах одного сорта узамбарских фиалок — различная окраска цветков (рис. 42). Дарвин отмечал, что даже в сходных условиях среды потомки от пары родителей различаются между собой. Данная форма изменчивости является результатом специфического



Рис. 43. Соотносительная (коррелятивная) изменчивость: длина ног пропорциональна длине шеи

влияния условий существования на каждый отдельный организм. Истинные причины неопределенной изменчивости Дарвину были неизвестны. Однако ее наследственный характер и появляющееся в результате значительное разнообразие особей ученый считал ведущим материалом для эволюционного процесса. Постепенно Дарвин пришел к выводу, что для эволюции важны только *наследуемые индивидуальные изменения*, так как лишь они могут накапливаться из поколения в поколение.

Соотносительная (коррелятивная) изменчивость — изменение какого-то одного органа или части тела вслед за изменением других частей организма.

Например, при постоянном упражнении нижних конечностей у пород домашних уток на бедренной кости развивается гребень для прикрепления мышц. У болотных птиц удлинение шеи сопровождается одновременным удлинением конечностей (рис. 43). Такая форма изменчивости очень важна в селекционной практике. В данном случае селекционер может предвидеть те или иные отклонения от исходной формы и проводить отбор признаков в желаемом направлении.

Помимо изменчивости важным фактором эволюции Дарвин считал наследственность.

Наследственность — свойство организмов передавать потомкам свои признаки и свойства.

Впоследствии Г. Мендель в своих законах (о единообразии гибридов первого поколения и расщеплении признаков во втором поколении) объяснил механизмы наследования признаков. Таким образом, по Дарвину, наследственность и изменчивость — общие свойства всех живых организмов. Именно они являются главными предпосылками эволюционного процесса.

Искусственный отбор. Изучив причину разнообразия пород животных и сортов растений, Дарвин приступил к выяснению механизмов их возникновения. Ученый отмечал, что еще в древности скотоводы и земледельцы стремились сохранить наиболее ценные экземпляры животных и растений и получить от них потомство. В ряду поколений такие ценные признаки накапливались и закреплялись, что обеспечивало лучшее воспроизводство стада у животных и повышало урожай у растений. Такую силу, которая постепенно приводит к возникновению новых пород животных и сортов растений, Дарвин назвал искусственным отбором.

Искусственный отбор — процесс выбора человеком наиболее ценных в хозяйственном отношении животных и растений и использование их для дальнейшего разведения.

Дарвин выделял две формы искусственного отбора — бессознательный и методический.

При *бессознательном отборе* человек не ставит перед собой цель создать новую породу или сорт, а путем размножения одних особей и удаления других медленно изменяет полезные для себя признаки организмов. Это наиболее древняя форма искусственного отбора.

Например, человек отбирал для последующего посева растения пшеницы с наиболее крупными, здоровыми и долго хранящимися семенами. Коров отбирали по величине надоя и мясности, а выбор овец производился по густоте шерсти.

Благодаря такому дифференцированному подходу из поколения в поколение усиливались определенные признаки размножаемых особей. В итоге бессознательная форма искусственного отбора медленно, но верно приводила к образованию новых пород и сортов.

Методический отбор — целенаправленное выведение человеком пород животных или сортов растений. В данном случае селекционер обращает внимание на признаки, которые максимально желательны для него в конкретных условиях, и в дальнейшем конструирует породу или сорт. На основе наследственной изменчивости организмов человек подбирает пары для скрещивания, обеспечивает максимальное развитие и закрепление желаемых признаков из поколения в поколение.

Например, породы коров выводят по мясности или по количеству молока, кур — по яйценоскости, количеству мяса и даже по бойцовым качествам (рис. 44), а собак — по способности к различным видам охоты, служебному использованию и др.

Таким образом, создав **теорию искусственного отбора**, Дарвин показал, что это основной механизм, обусловивший возникновение разнообразия культурных

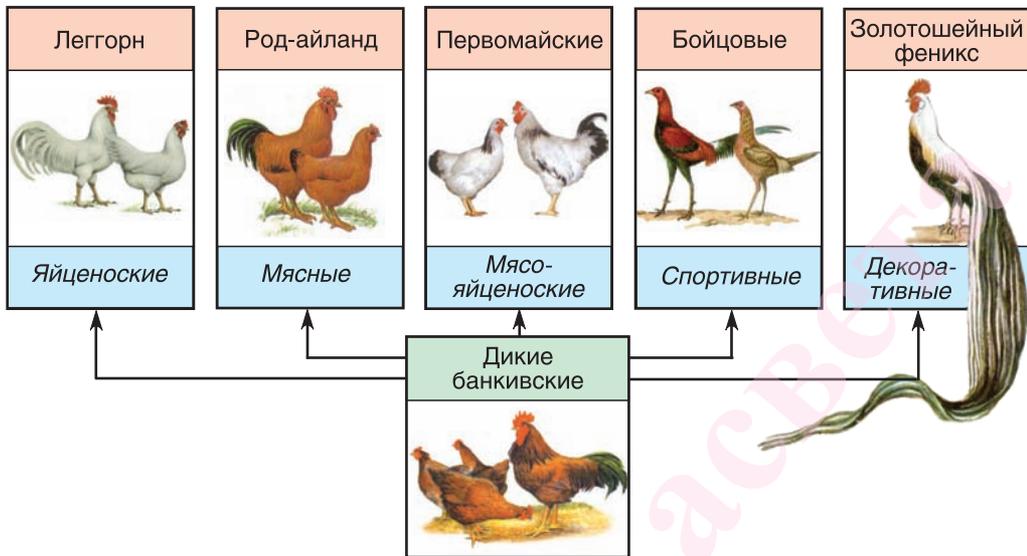


Рис. 44. Методический искусственный отбор на примере пород кур

растений и домашних животных. В тоже время ученый подчеркивал особую важность бессознательного отбора, поскольку его протекание во многом сходно с теми явлениями, которые происходят в природе. Поэтому именно бессознательный отбор является связующим звеном между искусственным и естественным отбором.

Созданная Дарвином теория искусственного отбора сегодня не только не утратила своей значимости, но и расширила сферу применения. Отметим, что во времена Дарвина весь исходный материал для выведения новых пород животных и сортов растений отбирался непосредственно из природы. Сегодня же современные методы биотехнологии и генетической инженерии позволяют получать исходный материал для дальнейшего отбора с заданными признаками. Например, в современной селекции микроорганизмов широко используются методы химического или радиационного мутагенеза для изменения генетического материала клеток в нужном исследователю направлении. В результате удается получить новые штаммы бактерий, способные синтезировать вещества, очень важные для жизнедеятельности животных и человека: ферменты, гормоны, иммуноглобулины, интерфероны и др.

Благодаря успехам генетической инженерии получены новые генетически модифицированные сорта зерновых, томатов, картофеля и других сельскохозяйственных культур, более урожайные и устойчивые к заболеваниям. На сегодняш-

ний день налажено производство человеческого инсулина путем использования генномодифицированных бактерий, выведены новые породы мышей для научных исследований и т. д.



Генетически модифицированный организм (ГМО) — это живой организм, генотип которого целенаправленно изменен человеком в научных или хозяйственных целях при помощи методов генетической инженерии.

Таким образом, современные успехи селекции, основанные на использовании достижений генетики, разных методов скрещивания и мутагенеза подтверждают творческую роль искусственного отбора, отмеченную Дарвином в его эволюционной теории.



Дарвин выделял три формы изменчивости: определенную (групповую), неопределенную (индивидуальную) и соотносительную (коррелятивную). Искусственный отбор является главным механизмом, обусловившим возникновение и разнообразие сортов культурных растений и пород домашних животных. Дарвин описал две формы искусственного отбора: бессознательный и методический.



1. Охарактеризуйте формы изменчивости, выделенные Ч. Дарвином. 2. Какой форме изменчивости и почему Ч. Дарвин придавал ведущее значение в эволюционном процессе? 3. В чем заключается творческая роль искусственного отбора? 4. Опишите формы искусственного отбора. В чем проявляется сходство и различие между ними?

§ 27. Движущие силы и основные результаты эволюции по Ч. Дарвину

Движущие силы эволюции. Изучив искусственный отбор, как главный механизм, обусловивший появление и разнообразие культурных растений и домашних животных, Дарвин пришел к мысли о наличии подобного явления в природе. Каковы движущие силы эволюции видов? Ответ на этот вопрос Дарвин видел в двух составляющих. *Во-первых*, ученый указал на наличие неопределенной (индивидуальной) изменчивости организмов в природных условиях их обитания.

Наличие индивидуальной изменчивости в природе Ч. Дарвин определил по ряду фактов. Например, пчелы хорошо отличают пчел из своего и из соседних ульев, а растения, выросшие из желудей одного дуба, различаются множеством мелких внешних особенностей и т. д.

Во-вторых, Дарвин пришел к выводу, что приспособленность дикорастущих видов, как и культурных форм, — результат отбора. Но этот отбор производится не человеком, а окружающей средой. Индивидуальная изменчивость в природе

является материалом для отбора. Подобно тому как породы животных и сорта растений целесообразно приспособлены к потребностям человека, виды приспосабливаются к жизни в определенных условиях среды.

Как уже упоминалось, организм свойственно стремление к размножению в геометрической прогрессии. Однако далеко не все родившиеся особи доживают до половозрелого возраста. Причины этого различны. Может наблюдаться гибель организмов от нехватки кормовых ресурсов, неблагоприятных факторов среды, болезней, врагов и т. д. Исходя из этого, Дарвин пришел к выводу, что между организмами в природе постоянно идет борьба за существование.

Борьба за существование — совокупность многообразных и сложных взаимодействий организмов между собой и с окружающими их условиями внешней среды.

Дарвин выделил три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с неблагоприятными условиями среды.

Внутривидовая борьба — взаимоотношения между особями одного и того же вида. Дарвин считал внутривидовую борьбу наиболее напряженной, так как организмы, принадлежащие к одному виду, предъявляют сходные требования к корму, условиям размножения, убежищам и др. Максимально остро такая борьба протекает при значительном увеличении численности особей вида и ухудшении условий существования. Это приводит к гибели части особей или к устранению их от размножения. Например, внутривидовая борьба проявляется в виде конкуренции за участки для гнездования у птиц или за полового партнера у животных одного вида (рис. 45). Проросшие семена растений, например берез, часто погибают потому, что почва уже густо заросла сеянцами этого же вида и молодые проростки



Брачный турнир у оленей



Конкуренция у берез в лесу

Рис. 45. Внутривидовая борьба



Рис. 46. Межвидовая борьба

испытывают недостаток освещенности, питания и др. У жука мучного хрущика превышение допустимого числа особей на единице пищевого субстрата приводит к полному нарушению половых циклов и к каннибализму.

Межвидовая борьба — взаимоотношения между особями разных видов. Типичными примерами межвидовой борьбы являются известные вам типы межвидовых взаимоотношений: «хищник-жертва» (рис. 46), «паразит-хозяин» и др. Результатом межвидовой борьбы является то, что ввиду лучшей приспособленности один из видов может вытеснять другой. К примеру, американская норка, ввезенная в Беларусь, постепенно физически вытесняет европейскую норку за счет более крупных размеров и выраженной агрессивности. Сорные растения на полях вытесняют культурные, конкурируя с ними за влагу, свет и минеральное питание. При выращивании в одной питательной среде инфузории туфельки и золотистой инфузории последняя неизбежно приводит «туфельку» к гибели, ввиду большей конкурентоспособности за пищевой ресурс.

Борьба с неблагоприятными условиями среды — выживание наиболее приспособленных особей, популяций и видов в изменившихся условиях неживой природы. Эта форма борьбы более остро проявляется в периоды, когда какой-либо из абиотических экологических факторов находится в дефиците или избытке. Такие ситуации складываются при сильных засухах, наводнениях, заморозках, пожарах, извержении вулканов и т. п. Например, в пустынях борьба за существование у растений направлена на экономное расходование влаги. В результате у них сформировались приспособления в виде мясистых листьев или стеблей для запасания воды, листьев-колючек для уменьшения испарения, глубоко проникающих корней для питания влагой грунтовых вод и т. д. Другим примером борьбы

с неблагоприятными условиями среды является миграция перелетных птиц в теплые страны при наступлении холодов.

Естественным результатом всех форм борьбы является гибель части особей, которые не оставляют после себя потомства. Поэтому борьба за существование является ограничивающим фактором. С другой стороны, остальные особи преодолевают неблагоприятные условия, выживают и воспроизводят потомство. Этот процесс, постоянно протекающий в природе, Дарвин назвал естественным отбором.

По Дарвину, *естественный отбор — процесс выживания и размножения наиболее приспособленных к условиям обитания особей и гибель менее приспособленных.*

Естественный отбор протекает под воздействием факторов окружающей среды (температуры, влажности, света, паразитов, конкурентов, хищников и др.). Естественный отбор позволяет сохранять и накапливать мелкие наследственные изменения, полезные в данных условиях существования. Например, даже незначительное удлинение хоботка у шмелей позволяет им добывать пыльцу из цветков с удлиненным венчиком. В этом случае длиннохоботковые шмели имеют неоспоримое преимущество.

Отбор происходит непрерывно в ряду поколений и сохраняет главным образом те формы, которые в наибольшей степени приспособлены к данным условиям среды. Таким образом, естественный отбор и борьба за существование неразрывно связаны между собой и являются движущими силами эволюции видов. Данные движущие силы способствуют совершенствованию организмов, результатом которого является их приспособленность к среде обитания и многообразию видов в природе.

Основные результаты эволюции. По Дарвину, результатами эволюции являются приспособленность организмов к среде обитания и многообразие видов в природе. **Приспособленность** — совокупность адаптаций (особенностей внешнего и внутреннего строения и поведения организмов), которые обеспечивают данному виду преимущество в выживании и оставлении потомства при определенных условиях среды.

Многообразие видов — второй важный результат эволюции. Неопределенная изменчивость и протекающий на ее основе естественный отбор приводят к многообразию взаимоотношений между организмами в природе. На основе данных взаимоотношений и формируется многообразие видов. Преимущество в этом случае получают наиболее высокоорганизованные и приспособленные к условиям среды формы. Дарвин подчеркивал, что одновременное существование видов живых организмов с различным уровнем организации объясняется тем, что их эволюция шла одновременно в нескольких направлениях.



Ч. Дарвин определил, что противоречие между неограниченными способностями организмов к размножению и нехваткой пищевых ресурсов приводит к борьбе за существование. Борьба за существование — совокупность многообразных и сложных взаимодействий организмов между собой и с окружающими их условиями внешней среды. Следствием борьбы за существование является естественный отбор. Естественный отбор — процесс выживания и размножения наиболее приспособленных к условиям обитания особей и гибель менее приспособленных. В результате действия естественного отбора достигаются основные результаты эволюции: приспособленность организмов и многообразие видов в природе.



1. Почему Дарвин при выяснении движущих сил эволюции придавал большое значение неопределенной (индивидуальной) изменчивости организмов? 2. Что такое борьба за существование согласно Ч. Дарвину? Какие формы борьбы за существование он выделил? 3. Для чего, на ваш взгляд, в сельском хозяйстве необходимо соблюдать нормы высева семян на единицу площади? Смоделируйте возможные результаты урожая при различных схемах посева семян. 4. Охарактеризуйте естественный отбор как движущую силу эволюции. В чем состоят его основные отличия от искусственного отбора?

§ 28. Популяция — элементарная единица эволюции. Предпосылки эволюции

Популяция — элементарная единица эволюции. Эволюция представляет собой длительный процесс изменения передающихся по наследству свойств и признаков живых организмов в ряду поколений. Следовательно, отдельный организм не может выступать в роли элементарной единицы эволюции. *Во-первых*, он существует ограниченное время (одно поколение) и не способен обеспечить продолжение рода. *Во-вторых*, каждая особь развивается на основе генотипа, унаследованного от родителей. Но как бы ни менялся фенотип особи, ее генотип в течение жизни остается практически неизменным. Следовательно, отдельно взятый организм не может обладать генотипическим разнообразием. Естественный отбор протекает только в неоднородных по фенотипу и генотипу группах, где отдельные особи вступают в борьбу за существование, в результате которой меняется вероятность их участия в размножении и оставлении потомства.

Ч. Дарвин рассматривал эволюцию на уровне вида. В то время вид считался наименьшей неделимой единицей природы. Однако по современным представлениям вид дискретен и разделяется на популяции. Значит, вид не является наименьшей неделимой единицей природы, способной к эволюции, а представляет собой этап эволюционного процесса.

Следовательно, особь или вид не могут быть элементарной единицей эволюции, а ее роль выполняет популяция. В главе «Вид и популяция» вы изучали популяцию как структурную единицу живой природы. В природе популяция может длительно существовать, благодаря смене поколений особей, различающихся по генотипам. Совокупность генотипов всех особей популяции называется *генофондом*. Эффективность распространения в популяции каждого конкретного генотипа зависит от того, насколько сформировавшийся на его основе фенотип особи соответствует условиям ее обитания. Однако условия жизни и численность популяции непостоянны во времени. Изменяются климат, ландшафт, численность других видов (хищников, жертв, паразитов, конкурентов), с которыми взаимодействуют особи данной популяции. Изменяется численность и плотность самой популяции в результате миграции особей. Соответственно изменяется и полезность фенотипов. То, что было полезным в предыдущем поколении, может оказаться бесполезным или вредным в последующем и наоборот. В результате одни генотипы распространяются в популяции, а другие становятся редкими и постепенно исчезают, что приводит к изменению генофонда популяции.

Условия жизни меняются не только во времени, но и в пространстве. Разные части ареала широко распространенных видов сильно различаются по условиям обитания. Фенотипы, которые полезны, например, на севере ареала, могут оказаться вредными на юге. То, что хорошо в долине, может быть плохо в горах, и наоборот. В каждой популяции выживают особи с теми фенотипами, которые обеспечивают наилучшую приспособленность их носителей к местным условиям. В результате частота генотипов, определяющих эти фенотипы, в генофонде разных популяций различается.

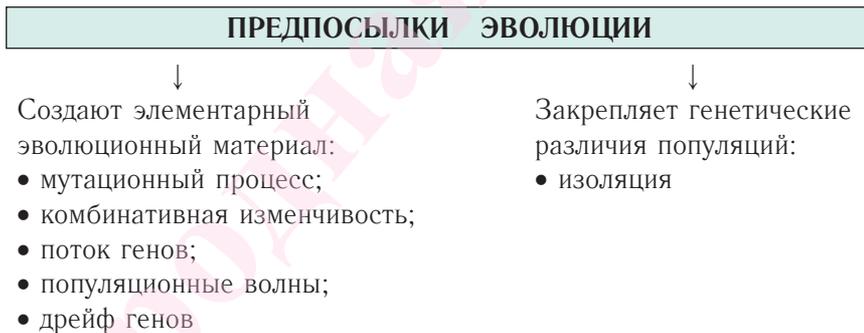
Не остаются постоянными и сами генотипы. Отдельные их элементы (гены) также меняются со временем. В генах возникают мутации, меняя при этом генотипы и фенотипы особей и их потомков. При половом размножении каждый потомок получает половину генов от матери и половину от отца и оказывается носителем уникальной комбинации аллелей в генотипе.

Таким образом, в популяциях постоянно изменяются генотипы особей и меняется их соотношение в генофондах. Это приводит к появлению генетических различий между популяциями, которые усиливаются под действием естественного отбора при наличии барьеров между ними. Если отбор действует односторонне, то в популяции возникает элементарное эволюционное явление. **Элементарное эволюционное явление** — направленное и необратимое изменение соотношения генов в генофонде популяции в ряду поколений. Со временем генофонды популяций могут стать настолько разными, что между популяциями будет невозможно скрещивание. Это значит, что популяции стали новыми видами. Образование новых видов — это результат эволюции.

Как видно, для протекания эволюционного процесса необходимо, чтобы в популяции появилось генотипическое разнообразие особей и происходило изменение соотношения генотипов в генофонде, т. е. сформировался **элементарный эволюционный материал**. Формирование данного материала в популяции происходит в результате действия определенных факторов — предпосылок эволюции.

Предпосылки эволюции. Исследования в области эволюционной биологии, генетики и экологии подтвердили справедливость положений теории Ч. Дарвина и выявили ряд факторов, которые играют важную роль в процессе эволюции. Их принято разделять на предпосылки и движущие силы эволюции. Согласно современным представлениям к предпосылкам эволюции относятся: *мутационный процесс, комбинативная изменчивость, поток генов, популяционные волны (волны жизни), дрейф генов, изоляция*. Все предпосылки, за исключением изоляции, создают элементарный эволюционный материал. Изоляция не создает материал для естественного отбора, а закрепляет генетические различия между популяциями или их частями, возникшие в результате его действия.

Таким образом, предпосылки эволюции в зависимости от их роли можно разделить на две группы:



Мутационный процесс — случайный и ненаправленный процесс возникновения наследственных изменений — *мутаций*, под действием мутагенных факторов среды. Он создает эволюционный материал для естественного отбора в виде измененных генотипов (мутационная изменчивость). Частота спонтанных мутаций в отдельном гене невелика (одна мутация на 10^4 — 10^9 гамет одного поколения). Но поскольку одновременно мутируют многие гены, то в среднем 10—15 % гамет в поколении несут мутантные аллели. В природе практически нет признаков особей, которые в той или иной степени не затрагивались бы мутациями. Они могут приводить к увеличению или снижению выраженности признака, к его резкому или незначительному отклонению от исходного значения. Мутации носят

ненаправленный характер и по-разному влияют на жизнеспособность, плодовитость, скорость роста и другие особенности особей. Фенотипическое проявление мутаций в определенных условиях может быть вредным (у большинства мутаций), полезным или нейтральным для их обладателей. Оно делает особей неравнозначными в борьбе за существование и приводит к действию естественного отбора.

Рецессивные мутации не имеют фенотипического проявления у особей данного поколения, поэтому не могут служить материалом для естественного отбора на данном этапе эволюции. Но у потомков они могут перейти в гомозиготное состояние и проявиться фенотипически. Следовательно, рецессивные мутации являются резервом дальнейшей эволюции вида, его эволюционным потенциалом.

Комбинативная изменчивость — наследственные изменения, возникающие вследствие образования новых комбинаций генов (*рекомбинаций*) у потомков. Комбинативная изменчивость создает эволюционный материал для естественного отбора в виде новых комбинаций генов. Их источником могут быть: кроссинговер, случайное расхождение хромосом при мейозе, случайное сочетание гамет при оплодотворении. При этом структура самих генов не изменяется. Появление новых признаков является результатом взаимодействия аллельных и неаллельных генов, а также перехода рецессивных мутаций в гомозиготное состояние. Возникающее вследствие этого фенотипическое разнообразие особей приводит к борьбе за существование и действию естественного отбора.

Поток генов — случайный обмен генами между популяциями одного вида в результате миграции особей. Поток генов создает эволюционный материал для естественного отбора в виде измененного соотношения генов в генофонде популяции. При вселении в данную популяцию особей из другой популяции может произойти пополнение ее генофонда новыми генами или повыситься концентрация присутствующих генов. При выселении части особей из популяции ее генофонд обедняется (одни гены могут исчезать, а другие — снижать свою концентрацию). В обоих случаях генетическая структура популяции изменяется.

Популяционные волны (волны жизни) — более или менее регулярные колебания численности, случайным образом изменяющие частоту встречаемости генов и мутаций в популяциях. Популяционные волны являются источником эволюционного материала для естественного отбора в виде измененной частоты встречаемости генов и мутаций в генофонде популяции. Причиной колебаний численности могут быть как абиотические (сезонные изменения климатических факторов), так и биотические (колебания численности хищников, паразитов, конкурентов, изменение запасов корма и др.) факторы среды.

Например, при теплых погодных условиях в экосистеме луга за лето образуется много растительного корма, что приводит к быстрому увеличению численности популяции листогрызущих насекомых. При этом концентрация редких генов

и мутаций в их популяции может случайным образом увеличиться. Также возрастет вероятность возникновения новых мутаций и их комбинаций. В результате генетическая структура популяции изменится. При неблагоприятных условиях будет уменьшаться запас растительного корма, и, как следствие, произойдет снижение численности насекомых. Это вызовет случайное изменение соотношения генов и мутаций в популяции.

Дрейф генов — резкое и случайное изменение концентрации генов в генофонде популяции. Дрейф генов создает материал для естественного отбора в виде измененного соотношения генов в генофонде популяции. Причиной дрейфа генов является резкое сокращение численности популяции в результате стихийных бедствий (лесных пожаров, наводнений, ураганов и др.). При этом одни гены могут утрачиваться, а другие — закрепляться в популяции в гомозиготном состоянии за счет увеличения частоты близкородственных скрещиваний. Особенно заметна роль этого фактора в малочисленных популяциях.

Изоляция — наличие барьеров различной природы, препятствующих обмену генами между популяциями в результате свободного скрещивания особей. Она закрепляет результат действия естественного отбора в изолированных популяциях и приводит к формированию у них независимых генофондов.



Популяция — элементарная единица эволюции. К предпосылкам эволюции относятся: мутационный процесс, комбинативная изменчивость, поток генов, популяционные волны (волны жизни), дрейф генов, изоляция. Первые пять факторов поставляют эволюционный материал для естественного отбора, а изоляция закрепляет результат его действия.



1. Почему отдельная особь или вид не могут быть элементарной единицей эволюции? Ответ аргументируйте.
2. Назовите причины изменения генотипов особей в популяциях.
3. Какие предпосылки эволюции, по вашему мнению, могут изменять соотношение генотипов в популяциях?
4. Объясните, почему только часть генетической изменчивости проявляется в фенотипах.
5. При каких условиях и какие мутации, на ваш взгляд, могут стать элементарным эволюционным материалом?
6. В чем заключается эволюционная роль изоляции?

§ 29. Движущие силы эволюции

Предпосылки эволюции сами по себе не могут привести к эволюции. Для протекания эволюционного процесса, приводящего к появлению приспособлений и образованию новых видов и других таксонов, необходимы движущие силы эволюции. В настоящее время созданное Ч. Дарвином учение о движущих силах эволюции (борьбе за существование и естественном отборе) дополнено новыми фактами благодаря достижениям современной генетики и экологии.

Борьба за существование и ее формы. По представлениям современной экологии, особи одного вида объединяются в популяции, а популяции разных видов существуют в определенных экосистемах. Следовательно, именно взаимоотношения особей внутри популяций данного вида или с особями популяций других видов, а также с условиями среды будут определять эволюционную судьбу видов и рассматриваться как **борьба за существование**.

Ч. Дарвин считал, что борьба за существование является результатом размножения видов в геометрической прогрессии и появления избыточной численности особей при ограниченности кормовых ресурсов. То есть под словом «борьба» по сути понималась конкуренция за корм в условиях перенаселенности. По современным представлениям, элементами борьбы за существование могут быть любые взаимоотношения — как конкурентные, так и взаимовыгодные (забота о потомстве, взаимопомощь). Перенаселение не является необходимым условием для борьбы за существование. Следовательно, в настоящее время борьба за существование понимается шире, чем по Дарвину и не сводится к конкурентной борьбе в прямом смысле слова. Например, у личинок дрозофилы при небольшой плотности отношения нейтральные. При средней плотности они приобретают характер взаимопомощи. А при очень высокой — становятся конкурентными.

Выделяют две основные формы борьбы за существование: прямая борьба и косвенная борьба.

Прямая борьба — любые взаимоотношения, при которых между особями одного или разных видов в составе их популяций наблюдается выраженный в той или иной степени физический контакт. Последствия этой борьбы могут быть самыми разными для взаимодействующих сторон. Прямая борьба может быть как внутривидовой, так и межвидовой (рис. 47).



Рис. 47. Прямая борьба

Примерами прямой *внутривидовой борьбы* могут быть: соперничество между семьями грачей за места гнездований, между волками за добычу, между самцами за территорию. Это также вскармливание детенышей молоком у млекопитающих, взаимопомощь при строительстве гнезд у птиц, защита от врагов и др. К прямой *межвидовой борьбе* относятся взаимоотношения хищника и жертвы, паразита и хозяина, цветковых растений и насекомых-опылителей, клубеньковых бактерий и бобовых растений, акул и рыб-прилипал и др.

При прямой межвидовой борьбе совершенствуются приспособления взаимодействующих особей обоих видов (например, хищника и жертвы, паразита и хозяина).

Косвенная борьба — любые взаимоотношения между особями разных популяций, использующих общие пищевые ресурсы, территорию, условия среды без непосредственного контакта друг с другом. Косвенная борьба может быть внутривидовой, межвидовой и с абиотическими факторами среды.

Примерами косвенной борьбы могут быть взаимоотношения между отдельными березами в загущенной березовой роще (*внутривидовая борьба*), между белыми медведями и песцами, львами и гиенами за добычу, светолюбивыми и тенелюбивыми растениями (*межвидовая борьба*). Также косвенной борьбой является разная устойчивость растений к обеспеченности почвы влагой и минеральными веществами, животных — к температурному режиму (*борьба с абиотическими факторами среды*).

Результатом борьбы за существование является успех или неудача данных особей в выживании и оставлении потомства, т. е. *естественный отбор*, а также смена территорий, изменение экологических потребностей и др.

Естественный отбор и его формы. По Дарвину, естественный отбор выражается в преимущественном выживании и оставлении потомства наиболее приспособленными особями и гибели менее приспособленных. Современная генетика расширила данное представление. Разнообразие генотипов в популяциях, возникающее в результате действия предпосылок эволюции, приводит к появлению фенотипических различий между особями. В результате борьбы за существование в каждой популяции выживают и оставляют потомство особи с полезными в данной среде фенотипами. И если в ряду поколений естественный отбор будет сохранять только такие фенотипы, то произойдет направленное изменение генофонда популяции. Следовательно, действие отбора заключается в дифференциации (избирательном сохранении) фенотипов и воспроизведении адаптивных генотипов. Поскольку отбор происходит по фенотипам, то это определяет значимость *фенотипической (модификационной) изменчивости* в эволюции. Разнообразие *модификаций* влияет на степень разнообразия фенотипов, анализируемых естественным отбором, и позволяет виду выживать в изменяющихся условиях среды.

Однако модификационная изменчивость не может быть предпосылкой эволюции, так как не влияет на генофонд популяции.

Естественный отбор — направленный исторический процесс дифференциации (избирательного сохранения) фенотипов и воспроизведения адаптивных генотипов в популяциях.

В зависимости от условий среды обитания популяций в природе можно наблюдать две основные формы естественного отбора: движущий и стабилизирующий.

Движущий отбор действует в постепенно изменяющихся в определенном направлении условиях среды. Он сохраняет полезные отклонившиеся фенотипы и удаляет прежние и бесполезные отклонившиеся фенотипы. При этом происходит сдвиг среднего значения нормы реакции признаков и смещение их вариационной кривой в конкретном направлении (рис. 48).

Если отбор действует таким образом в ряду поколений, то он приводит к формированию новой нормы реакции признаков в результате закрепления новых адаптивных генотипов в популяции. Это является причиной постепенного превращения популяции в новый вид. Именно такую форму отбора Ч. Дарвин считал движущей силой эволюции.

В результате действия движущего отбора одни признаки могут исчезать в новых условиях, а другие — развиваться и совершенствоваться. Например, утрата конечностей у змей, глаз — у пещерных животных, корней и листьев — у растений-паразитов или увеличение длины корней у склерофитов, повышение остроты зрения, слуха, обоняния у хищников и их жертв.

Стабилизирующий отбор действует в неизменных и оптимальных для популяций условиях среды. Он сохраняет прежний фенотип и удаляет любые отклонившиеся от него фенотипы. При этом среднее значение нормы реакции признаков не изменяется, но суживается их вариационная кривая (см. рис. 48). Следова-

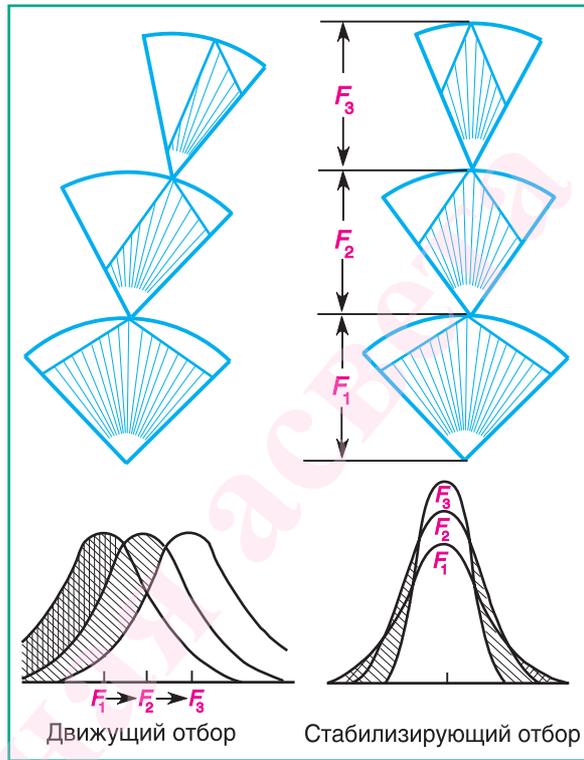


Рис. 48. Схема действия естественного отбора

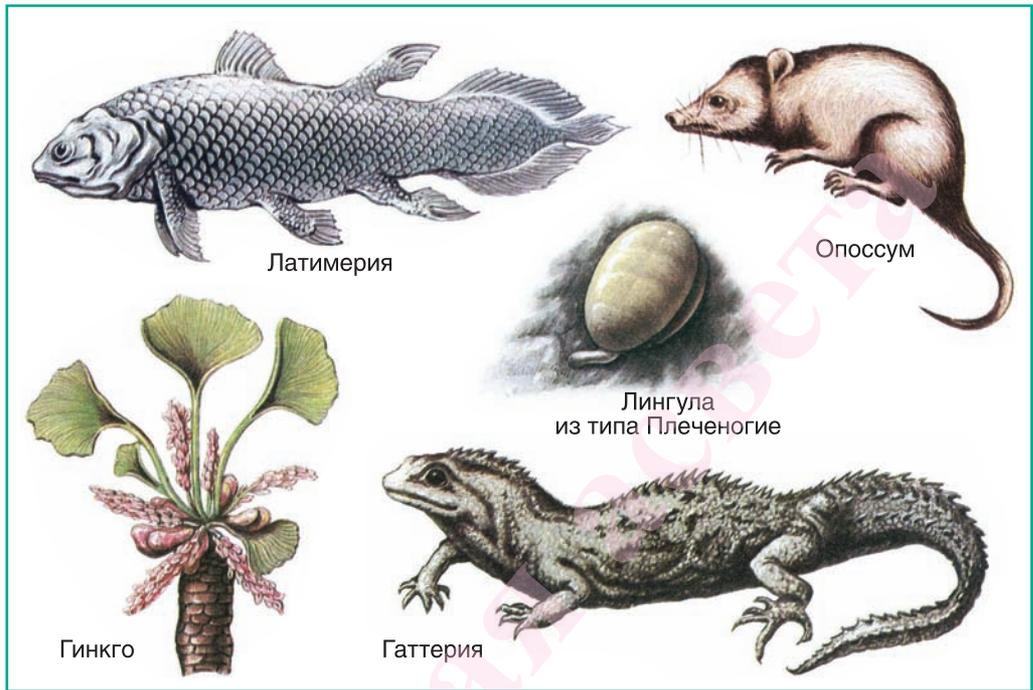


Рис. 49. Реликтовые организмы

тельно, генотипическое разнообразие, возникающее как результат действия предпосылок эволюции, снижается, что способствует закреплению прежних генотипов и сохранению существующего вида. Результатом данной формы отбора является существование в настоящее время древних (реликтовых) организмов (рис. 49).



Движущими силами эволюции являются естественный отбор и борьба за существование. Различают две формы борьбы за существование: прямую и косвенную борьбу. Естественный отбор — направленный исторический процесс дифференциации (избирательного сохранения) фенотипов и формирования адаптивных генотипов в популяциях. В природе наблюдается две основные формы естественного отбора: движущий и стабилизирующий.



1. Чем современное представление о борьбе за существование отличается от ее определения по Дарвину? 2. В чем различие между прямой и косвенной борьбой за существование? Приведите примеры. 3. Охарактеризуйте механизм действия естественного отбора с позиций современной генетики. 4. Какую роль в эволюции играют движущий и стабилизирующий естественный отбор? 5. Как можно объяснить, что до настоящего времени сохранились древние (реликтовые) организмы?

§ 30. Приспособления — основной результат эволюции

Долгое время приспособленность организмов к среде обитания считалась изначальной и данной творцом. Эволюционная теория Ч. Дарвина доказала, что появление приспособлений — адаптаций — закономерный результат действия естественного отбора. Как и почему меняются свойства живых организмов? Что обеспечивает устойчивое воспроизведение этих свойств в ряду поколений? Эти вопросы являются предметом исследований эволюционной биологии.

Механизм возникновения адаптаций. Каждое приспособление и весь их комплекс у организмов не появляются в готовом виде. Они формируются постепенно в процессе борьбы за существование путем естественного отбора случайных наследственных изменений, повышающих жизнеспособность организмов в конкретной среде. Классическим примером, позволяющим проследить механизм возникновения адаптаций, является развитие темной покровительственной окраски у бабочек вида березовая пяденица. Чуть более 100 лет назад в Англии были широко распространены березовые пяденицы светлой окраски с небольшим числом темных пятен. Днем они сидели на стволах берез и были практически незаметны. В связи с развитием промышленности выбросы дыма и копоти постепенно оседали на стволах берез, и их кора приобрела темный цвет. На этом фоне светлые бабочки стали хорошо заметны и активно поедались птицами. В результате мутаций у некоторых бабочек появилась темная окраска. Она давала им преимущество в борьбе за существование, так как делала менее заметными для птиц (рис. 50). Темные бабочки сохранялись в результате естественного от-



Рис. 50. Мутационная изменчивость березовой пяденицы

бора и оставляли потомство. Постепенно они вытеснили светлых бабочек в промышленных районах, и те сохранились только в сельской местности. Так за относительно короткий срок у бабочек выработалась адаптация к новым условиям среды в виде покровительственной окраски.

Следовательно, для возникновения адаптации необходимо наличие элементарного эволюционного материала (мутации и их комбинации) и движущих сил эволюции (борьба за существование и естественный отбор). Появление в популяции удачного фенотипа — носителя ценных мутаций — еще нельзя рассматривать как адаптацию. Необходимо, чтобы случайные полезные отклонения отдельных особей под действием естественного отбора превратились в полезный признак для всей популяции или вида в целом.

Виды адаптаций. Существуют следующие виды адаптаций организмов: морфологические, физиологические, биохимические, поведенческие (этологические).

Морфологические адаптации — особенности окраски и строения тела, повышающие выживаемость организмов в данной среде. Из большого числа морфологических адаптаций наиболее значимыми являются средства пассивной защиты: покровительственная и предостерегающая окраска, мимикрия. Они повышают шанс особей выжить и оставить потомство.

Покровительственная окраска — окраска тела организмов, позволяющая им слиться с фоном среды и стать менее заметными для врагов. Покровительственная окраска бывает однотонной или расчленяющей (рис. 51). Например, зеленые гусеница и кузнечик почти не заметны на фоне листьев и травы. Заяц беляк, песец, горностай не видны на фоне белого снега. Хамелеон и камбала могут

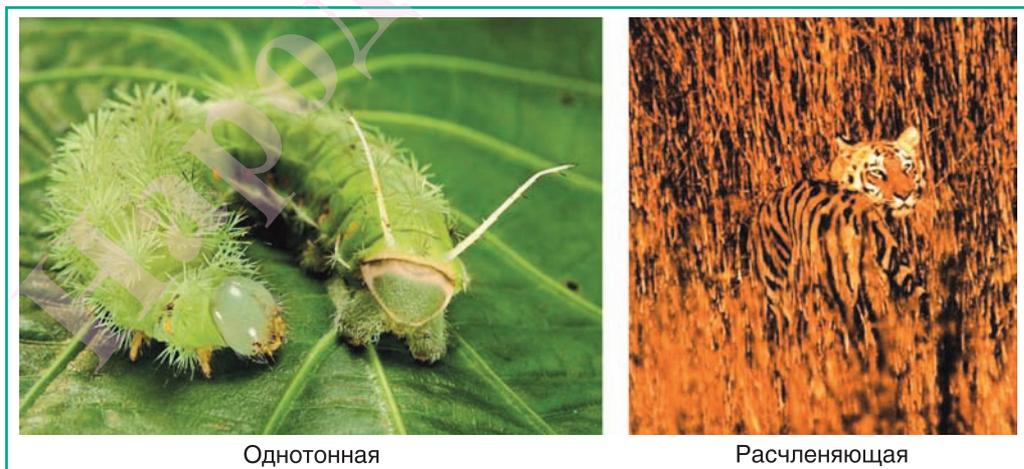


Рис. 51. Покровительственная окраска



Рис. 52. Предостерегающая окраска

менять окраску под цвет среды путем перераспределения пигментов в кожных покровах. Тигры едва заметны даже на небольшом расстоянии из-за совпадения полос на их теле с чередованием света и тени в среде.

Предостерегающая окраска — яркая, хорошо заметная окраска тела у несъедобных или имеющих средства защиты организмов. Хищник, пытающийся съесть такую жертву, получает отпор и в дальнейшем не трогает особей с такой окраской. Божья коровка имеет ярко-красную окраску с черными точками, которая является сигналом ее токсичности. Осы, пчелы и шмели чередованием ярких желтых и черных полос предупреждают о наличии у них жала. Ядовитые змеи обычно имеют хорошо заметный, контрастный рисунок на теле (рис. 52).

Мимикрия (от греч. *mimikós* — подражательный) — подражание незащищенных и съедобных видов представителям видов, имеющих средства защиты или несъедобных. При этом объектом подражания могут быть как животные, так и растения. Вид-подражатель вводит в заблуждение хищника и повышает свой шанс выжить. Некоторые мухи (большоголовка, сирфида, журчалка) и бабочки (стеклянница) подражают шершням и пчелам. В лесах Амазонии среди ядовитых бабочек геликонид встречаются очень на них похожие съедобные бабочки из семейства белянок (рис. 53).

К средствам пассивной защиты также относятся твердые покровы (раковины моллюсков, панцири черепах) и иглы (ежи, дикобразы). У растений эту роль играют колючки (барбарис, шиповник, боярышник, акация) и жгучие железистые волоски (крапива, шалфей, борщевик).

Физиологические адаптации — особенности процессов жизнедеятельности, благоприятные для жизни в данной среде. Это адаптации по поддер-



Рис. 53. Мимикрия у насекомых

жанию постоянной температуры тела: потоотделение, тепловая одышка, мышечная дрожь, расширение и сужение сосудов кожи и др. К недостатку кислорода у жителей высокогорий выработалась адаптация в виде повышенного количества эритроцитов и гемоглобина в крови. У ныряющих водных животных в мышцах содержится большое количество миоглобина, связывающего кислород. К физиологическим адаптациям можно отнести способность животных и растений поддерживать водный баланс в организме при разной обеспеченности среды водой.

Биохимические адаптации — особенности химического состава тела и биохимических реакций, позволяющие организму реагировать на изменения окружающей среды. При увеличении освещенности ускоряется процесс фотосинтеза у растений. При низкой температуре среды у животных усиливается энергетический обмен. Для привлечения насекомых-опылителей у растений синтезируются эфирные масла, придающие цветкам аромат.

Поведенческие (этологические) адаптации — особенности поведения отдельных организмов или их групп, направленные на выживание и размножение в данной среде. Ряд поведенческих реакций у организмов носит врожденный характер (инстинкты). Они проявляются в виде активного сооружения гнезд или нор, насиживания яиц, заботы о потомстве, брачных игр, сезонных миграций и др. В течение жизни у особей появляются приобретенные адаптации (условные рефлексы). Например, выбор мест для ночевки, защиты от холода или жары (зарывание в снег, образование тесных скоплений особей во время резкого похолодания), объединение в стаи для успешной охоты, выбор троп к водопою и др.

Относительный характер приспособленности. Любое приспособление относительно в пространстве и во времени, так как полезно только в данной среде и в данное время. Существует целый ряд фактов, доказывающих относительный характер приспособленности.

Во-первых, при изменении условий среды или переходе в другую среду полезные приспособления могут стать бесполезными или даже вредными. Например, заяц беляк в бесснежную зиму еще более заметен для хищников. Темноокрашенные бабочки вида березовая пяденица хорошо заметны для птиц на светлых стволах берез в сельской местности.

Во-вторых, ни одно защитное приспособление не обеспечивает абсолютную безопасность для их обладателей. Так, еж и мангуст могут без вреда для себя ловить ядовитых змей, имеющих предупреждающую окраску. Некоторые птицы поедают ос и пчел, несмотря на жало. Крупные хищные птицы кормятся черепахами, чье тело защищает твердый панцирь.

В-третьих, наличие нецелесообразных признаков или неоправданного поведения организмов доказывает, что не все признаки полезны. Например, у горных гусей имеются перепонки на лапах, хотя они не плавают. Зимой при наступлении теплой погоды некоторые растения могут зацвести. Холодной весной может наблюдаться прилет водоплавающих птиц еще до вскрытия водоемов.

В-четвертых, наличие у организмов **рудиментов** — органов, утративших свое значение и находящихся на стадии исчезновения. Это доказывает, что приспособления временны и могут исчезать. Например, у человека есть копчик, состоящий из рудиментарных хвостовых позвонков, хорошо развитых у далеких предков человека, живших на деревьях. При наземном образе жизни хвост утратил свое значение и удаляется естественным отбором.



Для возникновения адаптации необходимо наличие элементарного эволюционного материала (мутаций и их комбинаций) и движущих сил эволюции (борьбы за существование и естественного отбора). Адаптации могут быть морфологические, физиологические, биохимические, поведенческие. Любое приспособление относительно в пространстве и во времени, так как полезно в данной среде и в данное время.



1. Раскройте механизм возникновения адаптаций. **2.** Охарактеризуйте разнообразие морфологических адаптаций. **3.** Укажите, кто из перечисленных организмов имеет покровительственную, а кто — предупреждающую окраску: кузнечик, божья коровка, горностай, шмель, тигр, песец. **4.** Приведите примеры физиологических и биохимических адаптаций у растений и животных. **5.** Чем различаются врожденные и приобретенные поведенческие адаптации? **6.** Приведите доказательства относительного характера приспособленности.

§ 31. Видообразование. Факторы и способы видообразования

Понятие о видообразовании. Признавая реальность вида, Ч. Дарвин доказал, что в природе постоянно происходит процесс *видообразования* — возникновения новых видов на основе существующих под влиянием движущих сил эволюции. Согласно современным представлениям об эволюции образование нового вида происходит в пределах популяции — элементарной единицы эволюции. Популяции являются генетически открытыми системами. И пока между ними происходит поток генов в результате миграции особей, вид остается единой генетически закрытой системой. Однако возникновение изоляции (барьера) между двумя популяциями приводит к накоплению в них наследственных различий, препятствующих скрещиванию особей этих популяций при последующих встречах. Это доказывает, что популяции становятся генетически закрытыми системами — и, следовательно, новыми видами. Значит, произошел процесс видообразования.

Видообразование — эволюционный процесс превращения генетически открытых систем — популяций — в генетически закрытые системы — новые виды.

Видообразование — это сложный и длительный процесс, включающий промежуточные стадии и требующий наличия определенных факторов.

Факторы видообразования. В популяциях одного вида действие предпосылок эволюции приводит к возникновению разнообразия фенотипов и генотипов. Это является основой для борьбы за существование и естественного отбора. Действие естественного отбора на популяции, условия обитания которых различаются, делает их немного разными. Однако результаты отбора будут нивелироваться, если особи популяций начнут скрещиваться между собой. Для того чтобы на уровне этих популяций начался процесс видообразования, между ними необходимо наличие изоляции, препятствующей обмену генетической информацией. Выделяют две формы изоляции: географическую и биологическую.

Географическая (пространственная) изоляция — обособление определенной популяции от другой популяции того же вида какими-либо трудно преодолимыми барьерами. Первая причина — большие территориальные разрывы между популяциями у видов, имеющих мозаичные ареалы. Возникновение этих разрывов может быть связано с ледниками, деятельностью человека или расселением популяций за пределы исходного ареала. Вторая причина — географические барьеры различной природы, разделяющие популяции (реки, горы, ущелья, участки леса, луга, болота). Географическая изоляция препятствует свободному скрещиванию особей разделенных популяций вследствие невозможности их встречи из-за географического барьера.

Биологическая изоляция обусловлена биологическими различиями между особями популяций. В зависимости от характера различий выделяют четыре вида биологической изоляции: экологическую, этологическую, морфофизиологическую и генетическую.

Экологическая изоляция обусловлена смещением репродуктивных периодов (сроков цветения, гнездования, спаривания, нереста) или разными местами размножения, что препятствует свободному скрещиванию особей популяций.



Если популяции травянистых растений попадают в зону повышенного увлажнения, то у них по сравнению с другими популяциями сдвигаются сроки цветения. У птиц популяции одного вида могут различаться сроками гнездования и спаривания в зависимости от расположения гнезд в разных частях кроны деревьев или в кустарниковом ярусе. Так, в Московской области одна часть яблников гнездится в лесах таежного типа, а другая — в невысоких и редких насаждениях, что ограничивает возможность их спаривания.

Этологическая изоляция обусловлена особенностями поведения особей в брачный период. Ничтожные на первый взгляд отличия в ритуалах ухаживания при обмене зрительными, звуковыми, химическими сигналами могут приводить к прекращению этого ритуала и ограничению спаривания.

Морфофизиологическая изоляция обусловлена различиями в размерах особей или в строении мужских копулятивных органов (некоторые виды легочных моллюсков, грызунов). Она не мешает встрече полов, но препятствует скрещиванию особей из-за невозможности оплодотворения.

Генетическая изоляция обусловлена крупными хромосомными и геномными перестройками, вызывающими различия в числе, форме и составе хромосом. Она не препятствует встрече полов и оплодотворению. Но в то же время исключает обмен генетической информацией между популяциями вследствие гибели зигот после оплодотворения, различной степени стерильности гибридов и их пониженной жизнеспособности.

Действие любой формы изоляции на эволюционный материал ненаправленно, но является обязательным условием усиления генетических различий между популяциями. Важная характеристика изоляции — ее длительность, благодаря чему действие разнонаправленного естественного отбора приводит к расхождению признаков популяций — **дивергенции**. В результате популяции превращаются в *разновидности*, или *расы*. Сохранение изоляции приводит к усилению различий между разновидностями, и они превращаются в *подвиды*, а затем в *новые виды*, которые не будут скрещиваться даже при отсутствии прежней изоляции (репродуктивная изоляция).

Таким образом, факторами видообразования (см. схему) являются предпосылки (мутационная и комбинативная изменчивость, популяционные волны, поток и дрейф генов, изоляция) и движущие силы (борьба за существование и естественный отбор) эволюции. Процессы, протекающие внутри вида на уровне популяций под действием этих факторов и приводящие к образованию новых видов, можно рассматривать как начальный этап эволюции — *микроэволюцию*.



Далее эволюция продолжается на уровне видов, родов, семейств по тому же механизму и под действием тех же предпосылок и движущих сил эволюции. Этот этап эволюции называется *макроэволюцией*. Микроэволюция и макроэволюция являются этапами единого эволюционного процесса.

Способы видообразования. В зависимости от формы изоляции популяций выделяют два способа видообразования: аллопатрическое и симпатрическое.

Аллопатрическое (от греч. *állos* — разный, *pátris* — родина) **видообразование** протекает при наличии географической изоляции, когда популяции разобщены большими расстояниями или географическими препятствиями (рис. 54). Образующиеся при этом географические расы и подвиды имеют ареалы, которые не перекрываются с материнским ареалом. Примером аллопатрического видообразования может быть наличие двух подвидов американской белки и трех подвидов голубых соек, обитающих в разных географических районах Северной

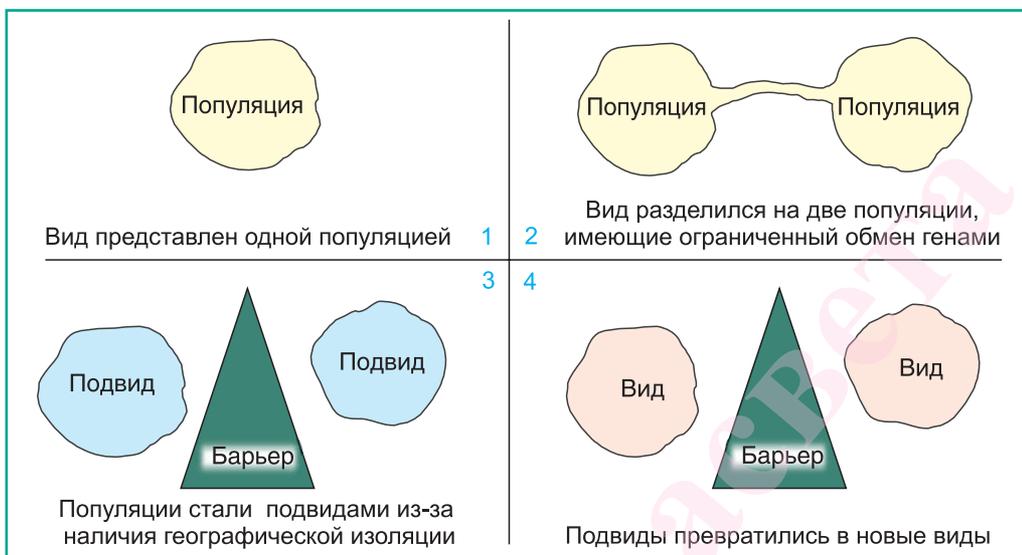


Рис. 54. Схема аллопатрического видообразования

Америки (рис. 55), а также трех подвидов большой синицы на евроазиатском континенте. Существуют также подвиды воробьев, крапивников, дятлов, которые имеют разные ареалы распространения.

Симпатрическое видообразование (от греч. *syn* — вместе, *pátris* — родина) протекает при наличии биологической изоляции, когда популяции находятся в пределах материнского ареала, но не могут скрещиваться в силу биологических различий между их особями. Симпатрическое видообразование может проявляться у растений при специализации насекомых-опылителей в опы-



Рис. 55. Примеры аллопатрического видообразования

лении цветков определенной формы. Например, пчелы являются изолирующим фактором между расами растений львиного зева. Они никогда не переходят с облета цветков одной расы на другую. У большого погремка, белой мари образуются сезонные расы, различающиеся по срокам цветения. У ряда видов рыб (сельдь, окунь, сазан и др.) сосуществуют сезонные расы с разными сроками нереста.



Видообразование — эволюционный процесс превращения генетически открытых систем — популяций — в генетически закрытые системы — новые виды. Факторами видообразования являются: предпосылки и движущие силы эволюции. Выделяют географическую и биологическую формы изоляции. В зависимости от формы изоляции в природе может протекать аллопатрическое или симпатрическое видообразование. Видообразование является результатом микроэволюции.



1. Чем современное представление о видообразовании отличается от дарвиновского? 2. Какие формы изоляции выделяют? В чем их различия? 3. Охарактеризуйте способы видообразования. Что между ними общего? В чем различия? 4. Раскройте механизм микроэволюции.

§ 32. Общая характеристика синтетической теории эволюции

Проанализировав историю развития эволюционной теории после выхода в свет в 1859 г. книги Ч. Дарвина «О происхождении видов путем естественного отбора», можно выделить четыре основных этапа.

I. Формирование классического дарвинизма (1859—1900 гг.). Во второй половине XIX в. наблюдается широкое распространение эволюционных идей Ч. Дарвина в естествознании. Происходит формирование новых научных направлений: эволюционной палеонтологии, эволюционной сравнительной эмбриологии, исторической биогеографии, экологии и др.

Основные положения теории Ч. Дарвина послужили научной основой для развития *исторической биогеографии*. За короткий период благодаря исследованиям в области биогеографии удалось выяснить распределение видов растений и животных не только в пространстве, но и во времени с учетом исторических связей между ними. Большой вклад в развитие этого направления внесли А. Н. Северцов, А. Н. Бекетов, А. Уоллес и др. После появления учения о борьбе за существование появилась экология, которая стала развиваться как самостоятельная наука о взаимодействии организмов со средой.

А. Н. Северцов (1866—1936) — русский биолог, основоположник эволюционной морфологии животных



II. Кризис классического дарвинизма (1900—1920 гг.).

В начале XX в. были переоткрыты законы Г. Менделя, начала развиваться генетика. Ее достижения использовались для критики дарвинизма из-за неправильной их трактовки. Ошибкой генетиков было представление об абсолютном постоянстве генов и мутациях, как результате утраты отдельных генов. Полагалось, что эволюция может осуществляться на основе гибридизации. Творческая роль естественного отбора отрицалась. Этот период можно условно назвать периодом *генетического антидарвинизма*.

III. Период синтеза генетики и классического дарвинизма. Развитие популяционного подхода (1920—1930 гг.). Важную роль в синтезе генетики и дарвинизма сыграла хромосомная теория наследственности Т. Г. Моргана и формирование представления о мутациях. Большой вклад в изучение изменчивости природных популяций растений и животных внесли ученые Н. И. Вавилов, С. С. Четвериков, Ф. Г. Добржанский и др. Они собрали обширный материал о локальных популяциях разных видов и провели анализ их генетической изменчивости. С. С. Четвериков впервые оценил и показал, насколько велика скрытая генетическая изменчивость (рецессивные мутации) природных популяций. Она представляет генетическую основу для естественного отбора. Р. А. Фишер, Н. П. Дубинин, С. Райт и другие установили, что изменение частоты встречаемости генов в результате колебания численности популяций имеет большое значение для эволюции. Генетика помогла выяснить роль отдельных факторов эволюции и сформировать представление об элементарной единице эволюции (популяции), а также об элементарном эволюционном материале. Все это привело к созданию учения о микроэволюции (Ф. Г. Добржанский, Н. В. Тимофеев-Ресовский).



IV. Формирование синтетической теории эволюции (неодарвинизма). Развитие экосистемного подхода (1930—1950 гг.). На данном историческом эта-

С. С. Четвериков (1880—1959) — русский генетик, один из основоположников эволюционной и популяционной генетики



В. Н. Сукачев (1880—1967) — русский ботаник, географ и лесовед, один из основоположников биогеоценологии

пе благодаря трудам В. И. Вернадского, А. Тенсли, В. Н. Сукачева и других развивается учение об эволюции биогеоценозов (экосистем) и биосферы в целом. На основе учения о микроэволюции и трудов вышеуказанных ученых разрабатывается учение о макроэволюции (А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен, Н. И. Вавилов, Дж. Г. Симпсон) — втором этапе эволюционного процесса. Объединение данных эволюционной генетики с результатами изучения популяций, биоценозов и биосферы на основе классического дарвинизма привело к появлению синтетической теории эволюции (неодарвинизма).

пе благодаря трудам В. И. Вернадского, А. Тенсли, В. Н. Сукачева и других развивается учение об эволюции биогеоценозов (экосистем) и биосферы в целом. На основе учения о микроэволюции и трудов вышеуказанных ученых разрабатывается учение о макроэволюции (А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен, Н. И. Вавилов, Дж. Г. Симпсон) — втором этапе эволюционного процесса. Объединение данных эволюционной генетики с результатами изучения популяций, биоценозов и биосферы на основе классического дарвинизма привело к появлению синтетической теории эволюции (неодарвинизма).

Основные положения синтетической теории эволюции

1. Элементарной единицей эволюции является популяция.
2. Предпосылки эволюции — мутационный процесс, комбинативная изменчивость, популяционные волны, поток и дрейф генов, изоляция.
3. Элементарный эволюционный материал — генотипическое разнообразие популяции как результат мутаций и их комбинаций, изменения соотношения генотипов в генофонде.
4. Основная движущая сила эволюции — естественный отбор, протекающий на основе борьбы за существование.
5. Эволюция носит дивергентный характер, т. е. на основе одной предковой формы может возникнуть несколько новых форм, но каждая из них имеет только одного предка (монофилетическое происхождение).



6. Эволюция протекает медленно и постепенно. Видообразование как этап эволюции включает промежуточные стадии — разновидности и подвиды.

7. Вид существует как целостная, генетически закрытая система. Его целостность поддерживается за счет обмена генами между популяциями (поток генов) в результате миграции особей.

8. Приспособления (адаптации) формируются под действием естественного отбора и являются закономерным результатом эволюции.

И. И. Шмальгаузен (1884—1963) — русский биолог, теоретик эволюционного учения



Во второй половине XIX в. эволюционные идеи Ч. Дарвина получили широкое распространение в естествознании. Однако в начале XX в. развитие генетики привело к критике дарвинизма из-за неправильной трактовки ее открытий. Дальнейшие исследования в области генетики и экологии позволили правильно объяснить основные положения классического дарвинизма. Объединение данных эволюционной генетики и экологии на основе классического дарвинизма привело к появлению синтетической теории эволюции.



1. Какие новые научные направления появились в естествознании во второй половине XIX в. под влиянием эволюционной теории Ч. Дарвина? 2. В чем причина кризиса классического дарвинизма в начале XX в.? 3. Что позволило преодолеть кризис классического дарвинизма в 1920—1930 гг.? 4. Перечислите основные положения синтетической теории эволюции.

§ 33. Макроэволюция. Основные доказательства эволюции

Согласно синтетической теории эволюции протекающий в природе эволюционный процесс разделяется на два этапа: микроэволюцию и макроэволюцию. Макроэволюция включает процессы, приводящие к появлению систематических единиц крупнее вида. Изучая макроэволюцию, современное естествознание накопило ряд научных фактов, доказывающих эволюцию органического мира. Доказательством эволюции может считаться любой научный факт, который доказывает хотя бы одно из следующих положений.

1. *Единство происхождения жизни* (наличие общих признаков у всех живых организмов).

2. *Родственные связи между современными и вымершими организмами или между организмами в крупной систематической группе* (наличие общих признаков у современных и вымерших организмов или у всех организмов в систематической группе).

3. *Действие движущих сил эволюции* (факты, подтверждающие действие естественного отбора).

Доказательства эволюции, накопленные в рамках определенной науки, составляют одну группу доказательств и называются по названию данной науки. Рассмотрим палеонтологические, эмбриологические, сравнительно-анатомические и молекулярно-генетические доказательства эволюции.



Рис. 56. Ископаемые переходные формы у животных

Палеонтологические доказательства эволюции. Палеонтология — наука об ископаемых остатках вымерших организмов. Основателем эволюционной палеонтологии считается русский ученый В. О. Ковалевский. К доказательствам эволюции можно отнести ископаемые переходные формы и филогенетические ряды современных видов.

Ископаемые переходные формы — это вымершие организмы, сочетающие в себе признаки более древних и эволюционно более молодых групп. Они позволяют выявить родственные связи, доказывающие историческое развитие жизни. Такие формы установлены как среди животных, так и среди растений. Переходной формой от кистеперых рыб к древним земноводным — стегоцефалам — является *ихтиостега* (рис. 56). Эволюционную связь между пресмыкающимися и птицами позволяет установить *первоптица* (*археоптерикс*). Связующим звеном между пресмыкающимися и млекопитающими является *звероящер* из группы терапсид. Среди растений переходной формой от водорослей к высшим споровым являются *псилофиты* (первые наземные растения). Происхождение голосеменных от папоротниковидных доказывают *семенные папоротники*, а покрытосеменных от голосеменных — *саговниковые* (рис. 57).



Псилофиты

Семенные папоротники

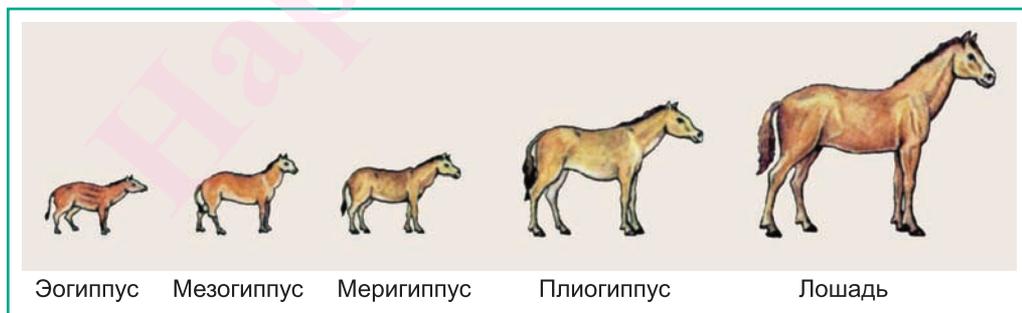
Саговник

Рис. 57. Переходные формы у растений

Филогенетические (от греч. *phylon* — род, племя, *genesis* — происхождение) **ряды** — последовательности ископаемых форм, отражающие историческое развитие современных видов (*филогенез*). В настоящее время такие ряды известны не только для позвоночных, но и для некоторых групп беспозвоночных животных. Русский палеонтолог В. О. Ковалевский восстановил филогенетический ряд современной лошади (рис. 58).

Эмбриологические доказательства эволюции. Эмбриология — наука, изучающая зародышевое развитие организмов. В рамках данной науки были сформулированы закон зародышевого сходства (К. Бэр) и биогенетический закон (Э. Геккель, Ф. Мюллер), доказывающие эволюцию.

Сравнивая зародышевые стадии представителей разных классов позвоночных животных, натуралист К. Бэр в начале XIX в. сформулировал **закон зародышевого сходства: чем более ранние стадии индивидуального развития**



Эогиппус

Мезогиппус

Меригиппус

Плиогиппус

Лошадь

Рис. 58. Филогенетический ряд современной лошади



Рис. 59. Сходство зародышевых стадий у разных таксономических групп млекопитающих

исследуются, тем больше сходства обнаруживается между разными организмами (рис. 59). Этот закон доказывает родственные связи между организмами в крупной систематической группе.

Во второй половине XIX в. ученые Э. Геккель и Ф. Мюллер установили наличие связи между индивидуальным развитием особей (онтогенезом) и историческим развитием видов (филогенезом). Они сформулировали **биогенетический закон: онтогенез есть краткое повторение филогенеза.**

Позже биогенетический закон был дополнен А. Н. Северцовым и И. И. Шмальгаузенем. Они показали, что в онтогенезе повторяются не взрослые формы предков, а их зародышевые стадии, причем некоторые из них могут выпадать. Например, у человека зародыш имеет жаберные щели, сходные с таковыми у зародыша рыбы, а не у взрослой особи.

Биогенетический закон доказывает наличие родственных связей между современными организмами и их предками.

Сравнительно-анатомические доказательства эволюции.

Сравнительная анатомия — наука, изучающая строение организмов разных систематических групп в сравнительном плане. К доказательствам эволюции, установленным данной наукой, относятся: гомологичные и аналогичные органы, рудименты, атавизмы.

Гомологичные (от греч. *homo* — подобный) **органы** — органы, имеющие единое происхождение, общий план строения, но выполняющие разные функции и утратившие внешнее сходство. Они формируются из одинаковых эмбриональных зачатков (на одной генетической основе) и занимают на теле организмов одинаковое положение. Например, передние конечности у разных позвоночных животных могут существенно отличаться в зависимости от выполняемой функции, но все они имеют сходное строение (рис. 60).

Пары гомологичных органов у животных составляют: плавательный пузырь рыб и легкие наземных позвоночных; ядовитые железы змей и слюнные железы других организмов; зубы млекопитающих и чешуя акул; жало пчелы и яйцеклад других насекомых.

Гомологичными органами у растений являются: колючки кактуса и барбариса, усики гороха, ловчие кувшины насекомоядных растений, почечные чешуи, пленчатые редуцированные листья хвоща. Все эти органы являются листьями по происхождению, но выполняют разные функции.

Гомологичные органы позволяют установить родственные связи между организмами и доказывают действие разнонаправленного естественного отбора.



Рис. 60. Гомологичные органы у позвоночных животных



Рис. 61. Аналогичные органы (колючки) у растений

Аналогичные (от греч. *analogia* — соответствие, сходство) **органы** — органы, имеющие разное происхождение и неодинаковый план строения, но выполняющие одинаковые функции и обладающие внешним сходством. Они формируются из разных эмбриональных зачатков (на разной генетической основе) и занимают на теле организмов неодинаковое положение. Например, разные по происхождению колючки у растений (рис. 61). У животных к аналогичным органам относятся: жабры головастика, рыб, морских кольчатых червей, личинок стрекоз; бивни моржа и слона; крылья птицы и бабочки; конечности крота и медведки (рис. 62).



Рис. 62. Аналогичные органы у животных

Аналогичные органы не позволяют установить родственные связи между организмами, но доказывают действие однонаправленного естественного отбора.

Рудименты (от лат. *rudimentum* — зачаток) — недоразвитые органы современных

организмов, которые были хорошо развиты у их предков. Они постепенно утрачивали свое значение и сейчас находятся на стадии исчезновения. Рудименты сохраняются в течение всей жизни у всех особей данного вида. Примерами рудиментов являются: недоразвитые глаза у пещерных видов животных и кротов, зачатки крыльев у птицы киви, редуцированные зубы у муравьедов, зачатки задних конечностей у китов и дельфинов, задняя пара крыльев у мух (жужжальца), зачатки тазовых костей у змей. У человека к рудиментам относятся: аппендикс, мышцы ушной раковины, третье веко, копчик.

Рудименты подтверждают наличие родственных связей между современными и вымершими организмами. Они также доказывают действие естественного отбора, удаляющего ненужный признак.

Атавизмы (от лат. *atavus* — предок) — признаки отдаленных предков, появляющиеся у некоторых современных организмов как отклонение от нормы. Они были утрачены в процессе эволюции. Возникновение атавизмов доказывает, что в генотипах современных организмов сохранились гены предков, отвечающие за эти признаки. Но действие этих генов заблокировано. В случаях, когда блокирование снимается, проявляется признак предков. В отличие от рудиментов атавизмы присутствуют только у отдельных особей. К атавизмам относятся: выраженный волосяной покров на всем теле, развитый хвост и дополнительные пары молочных желез у человека, трехпалые конечности у лошади. Атавизмы доказывают родственные связи между современными и вымершими организмами.

Молекулярно-генетические доказательства эволюции. Молекулярная биология — наука, изучающая процессы жизнедеятельности организмов на молекулярном уровне. Генетика изучает закономерности наследственности и изменчивости организмов. В рамках этих наук было доказано, что у всех организмов наследственная информация хранится в ДНК, состоящей из четырех типов нуклеотидов. Эта информация зашифрована с помощью универсального триплетного кода. Как вы уже знаете, ДНК входит в состав хромосом, количество которых является видовой характеристикой. Расшифровка наследственной информации у всех организмов происходит в процессе транскрипции и трансляции с участием иРНК и тРНК. Все эти факты доказывают единство происхождения жизни и, следовательно, являются доказательствами эволюции.



Доказательства эволюции накоплены в области разных наук. Палеонтология установила наличие ископаемых переходных форм и филогенетические ряды современных видов. В эмбриологии были открыты закон зародышевого сходства и биогенетический закон. К сравнительно-анатомическим доказательствам эволюции относятся: гомологичные и аналогичные органы, рудименты и атавизмы. В рамках молекулярной биологии и генетики получены доказательства единства происхождения жизни.



1. Объясните, почему ископаемые переходные формы и филогенетические ряды можно считать доказательствами эволюции.
2. Какими доказательствами эволюции располагает эмбриология?
3. Укажите, какие из перечисленных ниже органов растений являются гомологичными, а какие — аналогичными: колючки барбариса, шипы ежевики, усики гороха, колючки робинии (белой акации), почечные чешуи.
4. Выберите из предложенного перечня аналогичные органы животных: жабры головастика, плавательный пузырь рыб, жабры рыб, легкие птиц, жабры личинок стрекоз.
5. Приведите примеры рудиментов и атавизмов. В чем состоит различие между ними?
6. Назовите молекулярно-генетические доказательства единства происхождения жизни.

§ 34. Прогресс и регресс в эволюции. Пути достижения биологического прогресса

Прогресс и регресс в эволюции. Если проанализировать историю развития органического мира, то можно заметить, что многие таксономические группы с ходом времени становились более совершенными и многочисленными. Однако отдельные группы организмов постепенно сокращали свою численность и исчезали с арены жизни. Следовательно, эволюция протекала в двух направлениях. Учение об основных направлениях эволюции — биологическом прогрессе и биологическом регрессе, а также путях достижения биологического прогресса — было разработано А. Н. Северцовым и дополнено его учеником И. И. Шмальгаузенем.

Биологический прогресс (от лат. *progressus* — движение вперед) — направление эволюции, характеризующееся повышением приспособленности организмов определенной систематической группы к окружающей среде. Появление новых приспособлений обеспечивает организмам успех в борьбе за существование, сохранение и размножение в результате естественного отбора. Это приводит к вспышке численности и, как следствие, к освоению новых мест обитания и формированию многочисленных популяций. Популяции, оказавшиеся в разных условиях среды, подвергаются действию разнонаправленного естественного отбора и постепенно превращаются в новые виды, виды — в роды и т. д. В результате систематическая группа (вид, род, семейство и др.) находится в состоянии процветания, так как включает много подчиненных форм. Таким образом, биологический прогресс является результатом успеха систематической группы в борьбе за существование, благодаря повышению приспособленности ее особей. В настоящее время деятельность человека стала мощным фактором биологического прогресса культурных растений, домашних животных, сорняков (одуванчик, пырей, марь белая и др.) и вредителей (колорадский жук, фитофтора и др.). Однако их процветание достигается не за счет повышения приспособленности и кон-

курентоспособности, а за счет создания для них человеком более благоприятных условий среды.

Биологический регресс (от лат. *regressus* — возвращение, движение назад) — направление эволюции, характеризующееся снижением приспособленности организмов определенной систематической группы к условиям обитания. Если у организмов темпы эволюции (формирование приспособлений) отстают от изменений внешней среды и родственных форм, то они не могут конкурировать с другими группами организмов. Это значит, что они будут удаляться естественным отбором. Произойдет снижение численности особей, уменьшится площадь заселенной ими территории и, как следствие, сократится число таксонов. В результате может произойти вымирание данной группы. Таким образом, биологический регресс — постепенное вымирание систематической группы (вида, рода, семейства и др.) вследствие снижения приспособленности ее особей. Деятельность человека также может приводить к биологическому регрессу некоторых видов, как вследствие прямого истребления (зубр, соболь, стеллерова корова и др.), так и в результате сокращения ареалов при освоении новых территорий (дрофа, журавль белый, жаба камышовая и др.). Виды, находящиеся в состоянии биологического регресса, заносятся в Красную книгу и подлежат охране. В Красную книгу Республики Беларусь занесены 463 вида организмов: например, беркут, орлан-белохвост, черепаша болотная, аист черный, рысь, медведь бурый, кувшинка белая, прострел луговой, ветреница лесная, береза карликовая и др.

Признаки, характерные для биологического прогресса и биологического регресса, представлены в таблице 5.

Таблица 5. Признаки биологического прогресса и регресса

Биологический прогресс	Биологический регресс
Увеличение численности особей	Уменьшение численности особей
Расширение ареала	Сокращение ареала
Увеличение числа популяций, подвидов, видов и т. д. (прогрессивная дифференциация)	Уменьшение числа систематических групп более низкого ранга (снижение разнообразия особей)

Пути достижения биологического прогресса. Биологический прогресс может достигаться тремя основными путями — посредством арогенеза, аллогенеза и катагенеза. Каждый из путей характеризуется возникновением у организмов определенных приспособлений (адаптаций).

Арогенез (от греч. *áirō* — поднимаю, *genesis* — развитие) — путь развития адаптаций, повышающих уровень организации особей и позволяющих им

расширить среду обитания или перейти в новую среду. Эти адаптации называются *ароморфозами* (от греч. *áirō* — поднимаю, *mórphōsis* — образец, форма). Они представляют собой глубокие изменения в строении и функциях организмов, в результате которых значительно повышается уровень организации и интенсивность процессов жизнедеятельности. Поэтому А. Н. Северцов называл ароморфозы *морфофизиологическим прогрессом*. Примеры основных ароморфозов представлены в таблице 6.

Таблица 6. Основные ароморфозы у животных и растений

Животные	Растения
Двусторонняя (билатеральная) симметрия тела	Хлорофилл и хлоропласты (фотосинтез)
Два типа половых систем	Ткани (покровная, механическая, проводящая)
Подвижные конечности	Органы (корень, стебель, лист)
Трахеальное дыхание у беспозвоночных животных	Чередование поколений (спорофит и гаметофит)
Легочное дыхание у позвоночных животных	Цветок и плод
Центральная нервная система, развитие отделы головного мозга	Двойное оплодотворение (без воды)
Четырехкамерное сердце	
Два круга кровообращения (теплокровность)	
Альвеолярные легкие	

Арогенез приводит к появлению крупных систематических групп (классов, отделов, типов, царств). Примерами арогенеза является возникновение отделов голо- и покрытосеменных растений, классов наземных позвоночных животных и др.

Аллогенез (от греч. *állos* — другой, иной, *génesis* — происхождение, возникновение) — путь развития частных адаптаций, не изменяющих уровень организации особей и позволяющих им более полно заселить прежнюю среду обитания. Эти адаптации называются *алломорфозами*. Алломорфозы возникают на основе ароморфозов и представляют собой разнообразие форм органов без изменения их внутреннего строения. Примерами алломорфозов могут быть разные формы конечностей у позвоночных (рис. 63), клювов и ног у птиц, разные типы листьев, стеблей, цветков у растений и др. За счет алломорфозов аллогенез приводит к увеличению видового разнообразия в пределах крупных систематических

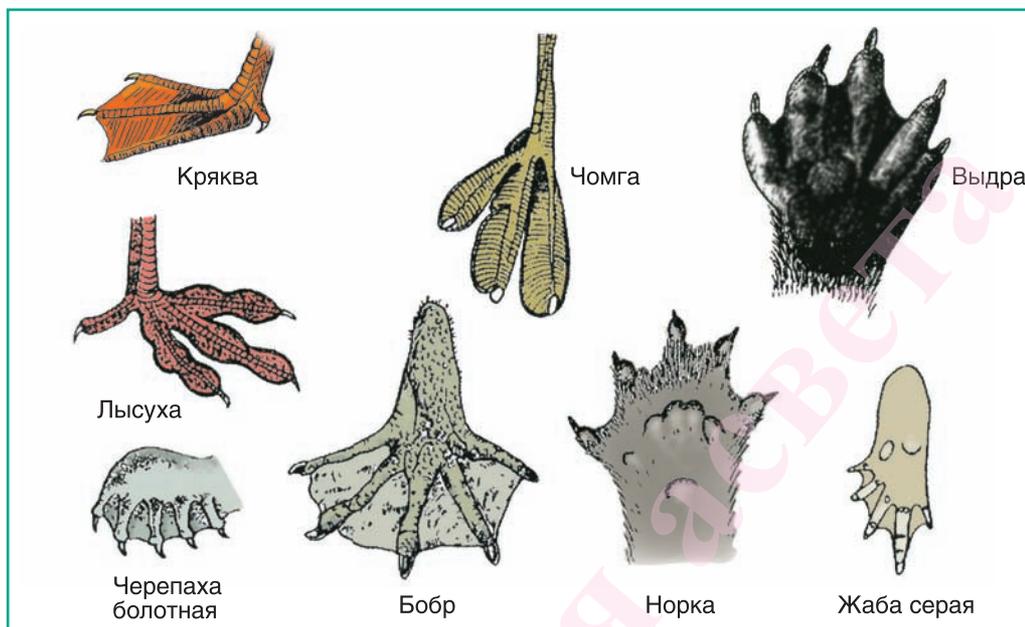


Рис. 63. Алломорфозы — разнообразие форм конечностей позвоночных животных

групп. Например, увеличение видового разнообразия класса двудольных растений произошло за счет появления разной формы цветков.

Катагенез (от греч. *kata* — приставка, означающая движение сверху вниз, *genesis* — происхождение, возникновение) — путь развития адаптаций, снижающих уровень организации особей и позволяющих им заселить более простую среду обитания. Эти адаптации называются **катаморфозами**. А. Н. Северцов называл их **морфофизиологическим регрессом** или **общей дегенерацией**. Примерами катаморфозов являются: редукция нервной системы, органов чувств, движения и пищеварения у паразитических червей; утрачивание листьев и корней растениями-паразитами и др. Упрощение организации у паразитических форм сопровождается совершенствованием репродуктивной системы, что приводит к их процветанию, т. е. к биологическому прогрессу.



А. Н. Северцов также отмечал, что в ходе эволюции наблюдается закономерная смена путей эволюции (закон Северцова) (рис. 64). Любая крупная систематическая группа начинает свое развитие по пути арогенеза благодаря появлению ароморфозов. Это позволяет ей перейти в новую среду обитания. Далее организмы расселяются в различные местообитания. На основе ароморфозов возникают алломорфозы, и эволюция протекает по пути аллогенеза. В результате происходит полное заселение новой среды и т. д. А. Н. Северцов рассматривал катагенез как частный случай при арогенезе и аллогенезе.

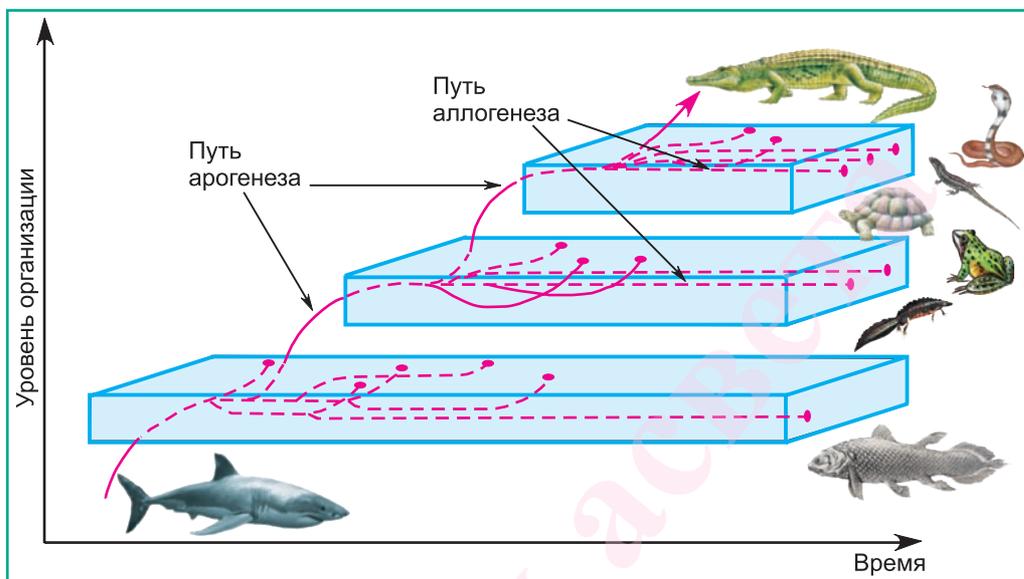


Рис. 64. Схема закономерной смены путей эволюции

Таким образом, в результате прохождения эволюции по пути арогенеза появились сложные формы жизни, а по пути катагенеза — простые. Благодаря этому в настоящее время возможно одновременное существование форм жизни, имеющих разные уровни организации.



Основными направлениями эволюции являются биологический прогресс (процветание таксономической группы) и биологический регресс (вымирание таксономической группы). Деятельность человека является мощным фактором биологического прогресса одних видов и биологического регресса других. Биологический прогресс может достигаться разными путями: посредством арогенеза, аллогенеза и катагенеза.



1. Назовите признаки биологического прогресса и биологического регресса. 2. Чем различаются понятия «биологический прогресс» и «морфофизиологический прогресс»? 3. Какими путями может достигаться биологический прогресс? Охарактеризуйте эти пути. 4. Какие ароморфозы позволили растениям выйти на сушу? 5. Благодаря каким алломорфозам млекопитающие достаточно полно заселили наземно-воздушную среду? 6. Назовите катаморфозы, позволяющие организмам перейти к паразитическому образу жизни. 7. Укажите, какие из перечисленных ниже приспособлений животных к наземным условиям являются ароморфозами, а какие — алломорфозами: альвеолярные легкие, крыло птицы, конечность крота, четырехкамерное сердце, нога лошади, внутреннее оплодотворение.

§ 35. Способы осуществления эволюционного процесса

Почему родственные группы организмов в природе могут иметь существенные морфологические различия, тогда как у неродственных групп порой наблюдается сходное строение? Объясняется это тем, что формирование признаков у первых и вторых произошло в результате разных способов осуществления эволюционного процесса — дивергенции и конвергенции.

Дивергенция как способ эволюции. Как уже отмечалось, если между популяциями одного вида возникает изоляция, то под действием разнонаправленного отбора у них будут закрепляться разные признаки. То есть будет происходить расхождение признаков — дивергенция.

Дивергенция (от лат. *divergo* — отклоняюсь, отхожу) — **расхождение признаков (фенотипов) у родственных организмов или их групп, обитающих в разных экологических условиях.**

Ч. Дарвин считал основной причиной дивергенции острую внутривидовую конкуренцию. По современным представлениям дивергенция возникает в результате действия разнонаправленного естественного отбора при наличии изоляции. Необходимым условием является различие условий среды обитания особей. Например, когда млекопитающие начали расселяться на суше, то в конкретных условиях выживали и размножались особи, имеющие форму конечностей, наиболее благоприятную для передвижения в этих условиях. Сохранение отбором любых полезных отклонений формы конечностей в ряду поколений привело к формированию различных типов конечностей у обитателей разных мест. Так, у крота, обитающего в почве, конечности копательного типа. У выдры для передвижения в воде конечности плавательного типа. Для шимпанзе характерны хватательные конечности. У северного оленя, преодолевающего большие расстояния в поисках пищи, конечности бегательного типа и т. д. Все перечисленные типы конечностей являются гомологичными органами, так как имеют сходный план строения, а наблюдающиеся различия являются фенотипическими.

Таким образом, дивергенция приводит к появлению фенотипических различий у родственных организмов и формированию у них гомологичных органов.

Конвергенция как способ эволюции. Если популяции, относящиеся к разным таксонам, обитают в одной и той же среде, то под действием однонаправленного отбора у них будут закрепляться сходные признаки. То есть будет происходить процесс формирования сходного фенотипического облика — конвергенция.

Конвергенция (от лат. *convergo* — приближаюсь, схожусь) — **независимое развитие сходных признаков (схождение признаков) у неродственных организмов или их групп, обитающих в одинаковой среде.**

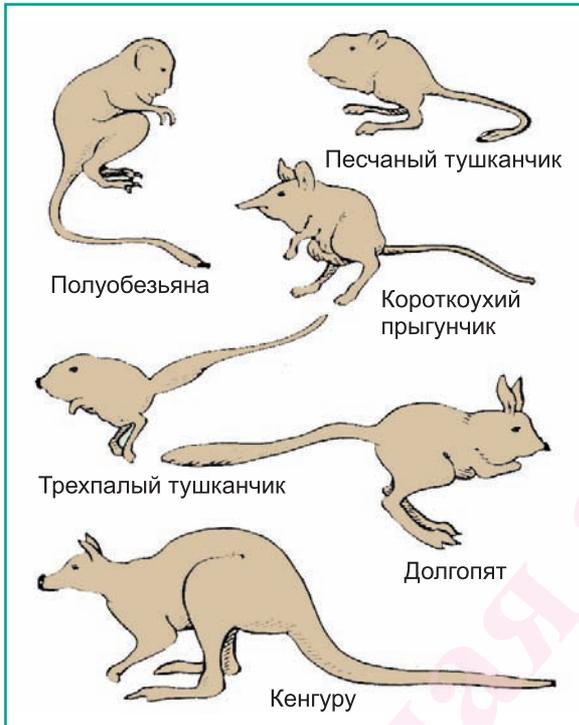


Рис. 65. Конвергенция по форме тела у прыгающих млекопитающих

Примером конвергенции внутри класса можно считать формирование сходной формы тела у прыгающих млекопитающих (рис. 65), а в пределах типа — формирование сходства формы тела у акул, ихтиозавров и дельфинов.

Следовательно, конвергенция приводит к появлению фенотипического сходства у неродственных организмов и формированию у них аналогичных органов.



Формирование морфологических особенностей в разных группах организмов может происходить за счет дивергенции и конвергенции. Дивергенция — расхождение признаков у родственных организмов или их групп, обитающих в разных экологических условиях. На уровне микроэволюции дивергенция приводит к видообразованию, на уровне макроэволюции — к образованию новых надвидовых систематических групп. Конвергенция — независимое развитие сходных признаков у неродственных организмов или их групп, обитающих в одинаковой среде.

Следует отметить, что конвергенция затрагивает только органы или их комплексы, но не организмы или виды в целом. Фенотипическое сходство наблюдается у тех органов, которые выполняют одинаковую функцию и находятся под влиянием одних и тех же условий среды. Оно является только внешним и не касается внутреннего строения органов, имеющих разное происхождение. Например, конвергентное сходство имеют плавники акул (первичноводные) и ласты дельфинов (вторичноводные). Но плавники и ласты отличаются по строению и закладке скелетных элементов.

Сходство органов может наблюдаться у групп животных, по-разному отстоящих друг от друга в систематическом отношении.



1. Охарактеризуйте механизм дивергенции.
2. Укажите, какие органы у млекопитающих сформировались в результате дивергенции.
3. Почему дивергенция на уровне микроэволюции носит обратимый характер, а на уровне макроэволюции она необратима?
4. Приведите примеры конвергенции у разных систематических групп.

§ 36. Классификация организмов. Принципы систематики. Современная биологическая система

Классификация организмов. Благодаря эволюции современный органический мир многообразен и уникален. Ученые предполагают, что сегодня на нашей планете обитает свыше 10 млн видов живых организмов. Поэтому очень важной является задача классифицировать известные виды организмов по группам в определенной последовательности и системе. Это в итоге позволит установить для каждого организма свое место в мире живой природы.

Необходимость классификации мира живых существ понимали еще ученые Древней Греции. Однако предложенные классификации того времени базировались лишь на немногочисленных признаках. Они касались преимущественно внешнего и внутреннего строения организмов и практически не учитывали родственные связи между ними. Эволюционная теория Ч. Дарвина заложила основу для создания современной классификации.

Классификация организмов — условное распределение всей совокупности живых существ по иерархическим соподчиненным группам в соответствии с какими-либо общими признаками.

Сегодня классификацией мира живой природы занимается *систематика* — наука о многообразии видов и родственных связях между организмами. В современной систематике при присвоении любому организму того или иного ранга выделяют ряд признаков. Это прежде всего особенности происхождения и исторического развития, морфологического и анатомического строения, размножения, эмбрионального развития. Кроме того, учитываются физиологические и биохимические особенности, тип запасных питательных веществ, характер среды обитания, строение и химический состав клеток, число и состав хромосом и др.

Принципы систематики. Вы уже знаете, что первую научную систему живой природы создал в середине XVIII в. шведский эволюционист Карл Линней. В основу данной системы автор положил два основных принципа: бинарной номенклатуры и иерархичности (соподчиненности), которые актуальны и в настоящее время. Согласно **бинарной номенклатуре** каждый вид в своем названии имеет два слова: существительное и прилагательное. Существительное означает на-

звание рода, к которому относится вид, а прилагательное — видовой эпитет. Например, кошка лесная (*Felis silvestris*), яблоня домашняя (*Malus domestica*).



По современным правилам после видового эпитета обычно ставят фамилию ученого, впервые описавшего данный вид. Например, улитка виноградная Линнея (*Helix pomatia* Linnaeus или *Helix pomatia* L.). В то же время присвоенное однажды виду название изменению не подлежит.

Подобно тому как в нашем учебном пособии сходные вопросы объединяются в параграфы, параграфы — в главы, происходит объединение живых организмов в систематические таксоны. В систематике это называют принципом **иерархичности (соподчиненности)**. Всего выделяют семь наиболее распространенных систематических таксонов (табл. 7). Так *виды* животных объединяют в *роды*, *роды* — в *семейства*, *семейства* — в *отряды*, *отряды* — в *классы*, *классы* — в *типы*, *типы* — в *царства*. Следует помнить, что при классификации бактерий, грибов и растений вместо таксона *отряд* используют *порядок*, а вместо таксона *тип* — *отдел*.

Таблица 7. Примеры классификации

Таксоны	Животное	Таксоны	Растение
Вид	Лягушка травяная <i>Rana temporaria</i> L.	Вид	Клевер ползучий <i>Trifolium repens</i> L.
Род	Лягушки <i>Rana</i>	Род	Клевер <i>Trifolium</i>
Семейство	Лягушачьи <i>Ranidae</i>	Семейство	Бобовые <i>Fabaceae</i>
Отряд	Бесхвостые <i>Anura</i>	Порядок	Бобовоцветные <i>Fabales</i>
Класс	Земноводные <i>Amphibia</i>	Класс	Двудольные <i>Magnoliopsida</i>
Тип	Хордовые <i>Chordata</i>	Отдел	Покрытосеменные <i>Magnoliophyta</i>
Царство	Животные <i>Animalia</i>	Царство	Растения <i>Plantae</i>



Иногда в систематике используют такие категории, как надцарство и империя. Выделяют два надцарства — эукариоты (ядерные) и прокариоты (доядерные), которые включаются в империю клеточных организмов. Вторая империя представлена неклеточными формами жизни — вирусами.

Биологическая система. В настоящее время получила распространение биологическая система, в которой все живые организмы разделяются на пять царств: Бактерии, Протисты, Грибы, Растения и Животные. В то же время нель-

зя провести резкую грань между отдельными царствами только по нескольким признакам. Например, для представителей царств Грибы и Растения характерны сходные признаки. Это неподвижный образ жизни, аэробное дыхание, наличие клеточной стенки, одинаково устроенные генетический аппарат и большинство клеточных органоидов и др. В то же время имеется ряд существенных отличий. Например, фотосинтез у растений.

Только глубокий анализ совокупности признаков, основанный на их происхождении, закономерностях строения и жизнедеятельности, а также на тщательном изучении филогенетических связей между разными группами организмов позволяет отнести вид или более крупный таксон к тому или иному царству.



Для упорядочивания многообразия существующих на Земле живых организмов создавались системы их классификации. Классификацией мира живой природы занимается систематика — наука о многообразии организмов и взаимосвязях между ними. основополагающие принципы систематики — бинарная номенклатура и иерархичность. В настоящее время наиболее распространена система, в которой все живые организмы разделяются на пять царств: Бактерии, Протисты, Грибы, Растения и Животные.



1. В чем заключается необходимость создания системы классификации живых организмов? 2. Охарактеризуйте основные принципы построения систематики живых организмов. 3. Какие основные систематические таксоны вам известны? В ответе используйте классификацию яблони домашней и айста белого. 4. Какие царства и надцарства выделяют в живой природе в настоящее время? На основании каких признаков?

§ 37. Вирусы

Строение вирусов. *Вирусы* (от лат. *virus* — яд) в отличие от всех других организмов не имеют клеточного строения. Они способны жить и размножаться исключительно в клетках других организмов и за их пределами жизнедеятельности не проявляют. Таким образом, вирусы можно рассматривать как неклеточную форму жизни. Вирусы были открыты русским ученым Д. И. Ивановским в 1892 г. при из-

Д. И. Ивановский (1864—1920) — русский физиолог растений и микробиолог, один из основоположников вирусологии

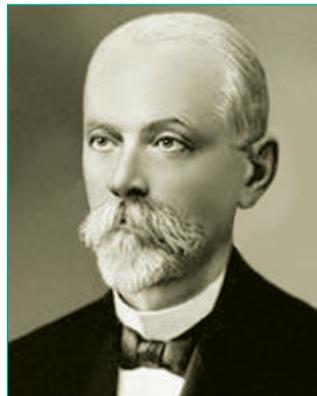




Рис. 66. Вирус табачной мозаики

учении причин мозаичной болезни листьев табака. Поэтому первый известный вирус был назван вирусом табачной мозаики (рис. 66).

Находясь в клетке-хозяине, вирус представляет собой молекулу нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК), поэтому вирусы делят на ДНК-содержащие и РНК-содержащие. В свободном состоянии полностью сформированная вирусная частица, способная к инфицированию клетки-хозяина, находится в форме *вириона*. Вирион, кроме нуклеиновой кислоты, имеет защитную белковую оболочку (*капсид*). У некоторых вирусов, таких, как вирусы герпеса или гриппа, присутствует еще и дополнительная липопротеидная оболочка (*суперкапсид*), которая формируется из цитоплазматической мембраны клетки-хозяина. Размеры вирусов колеблются от 20 до 500 нм. Большинство вирусов имеет кристаллическую форму (рис. 67).

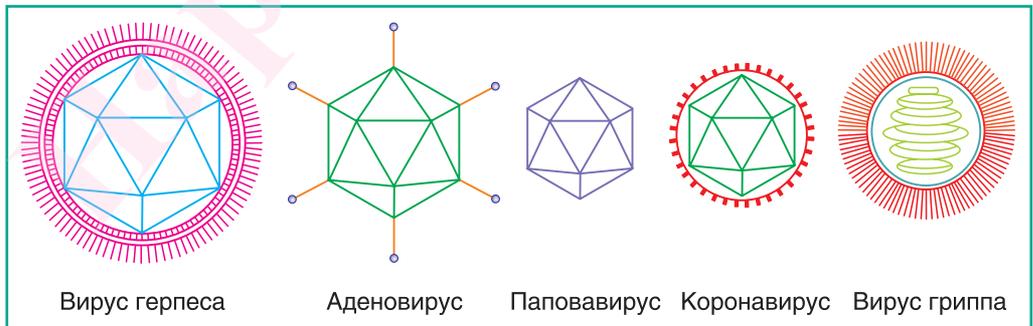


Рис. 67. Вирусы



Нуклеиновые кислоты, входящие в состав вирусов, могут иметь самую разнообразную форму и размеры. Например, ДНК вирусов могут быть как линейными, так и кольцевыми, могут состоять как из двух цепей, так и быть одноцепочечными. РНК в вирусах чаще линейной формы и могут быть как одноцепочечными, так и двуцепочечными. Большая часть известных вирусов является РНК-содержащими. К ДНК-содержащим вирусам относятся вирусы гепатита В, герпеса и др. РНК-содержащие вирусы представлены вирусами гриппа, иммунодефицита человека (ВИЧ), гепатита А и др.

Проникновение вирусов в клетку-хозяина. Как уже отмечалось, вирусы способны размножаться, только проникнув в клетки бактерий, растений и животных. При этом они используют биосинтетическую и энергетическую системы клетки-хозяина. Для проникновения вирусной частицы в клетку важным условием является наличие на поверхности клетки специфического белка-рецептора, обеспечивающего присоединение вируса к клеточной мембране. В свою очередь специфические белки, входящие в состав белковой оболочки вируса (капсида), также выполняют рецепторную роль и распознают специфические структуры на поверхности клетки-хозяина. В случае, если «распознавание» произошло успешно, вирусная частица связывается с рецепторами клетки-мишени посредством химических связей. Поэтому определенные вирусы опасны для одних организмов и абсолютно безвредны для других. Такой процесс рецепторного взаимодействия вируса с клеткой-хозяином называется *абсорбцией вируса*.

Далее происходит слияние вирусной оболочки с клеточной мембраной, и генетический материал вируса проникает внутрь клетки-хозяина. Попав в клетку, вирус теряет белковую оболочку. Генетический материал (геном) вируса, представленный ДНК либо РНК, содержит от нескольких генов у простых до трехсот генов у сложных вирусов. Гены вирусного генома способны кодировать белки с различными функциями, например структурные белки, белки-ферменты. Генетический материал вируса очень активен и после проникновения в клетку достаточно быстро встраивается в ее геном.

После этого вирус переходит в фазу *провируса* (латентную фазу) — такое состояние вируса, когда клетка-хозяин заражена, а размножение вируса и какие-либо видимые повреждения в клетке не происходят. Латентная фаза длится от нескольких часов (у вируса гриппа) до нескольких лет (у вируса иммунодефицита человека). Далее она переходит в фазу видимых проявлений заболевания, что связано с активацией вирусного генетического материала и началом размножения вируса.

Размножение вирусов. Вирус синтезирует собственные белки и нуклеиновые кислоты за счет ресурсов зараженной клетки. У ДНК-содержащих вирусов

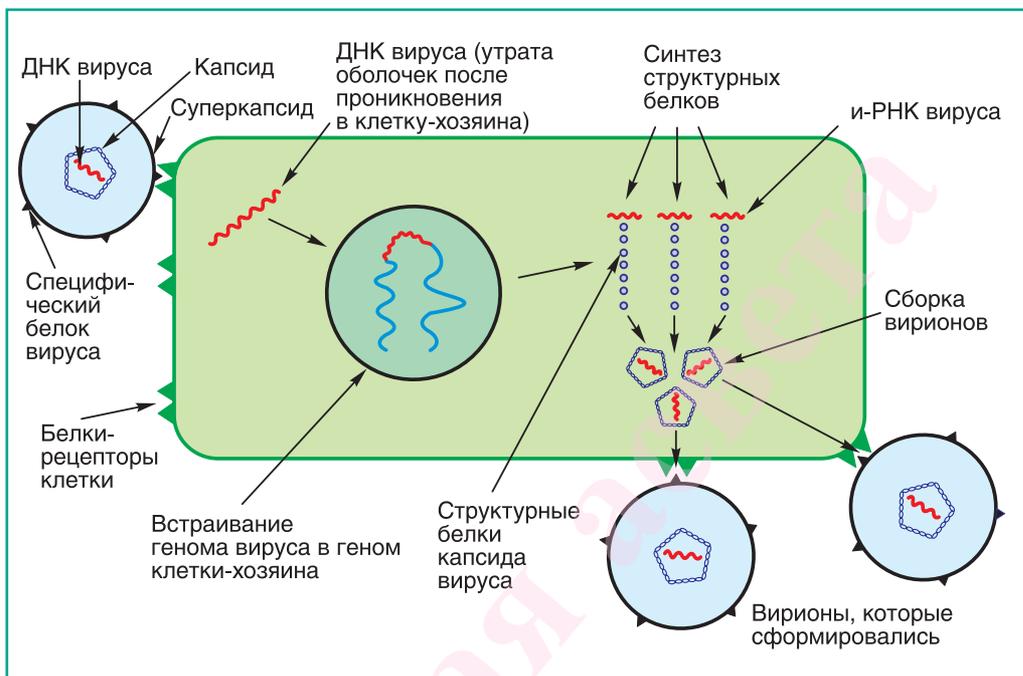


Рис. 68. Схема размножения вируса герпеса

одним из первых синтезируется фермент РНК-полимераза, которая строит на нити ДНК вируса и-РНК. Данная и-РНК попадает на *рибосомы* клетки-хозяина, где и протекает биосинтез других белков вирусной частицы.

На следующем этапе в цитоплазме клетки-хозяина происходит объединение вновь синтезированных белков и нуклеиновой кислоты вируса с образованием новых вирусных частиц — *вирионов*. Они разрывают цитоплазматическую мембрану, попадают в межклеточное пространство или кровь и заражают новые клетки (рис. 68).

Многие РНК-содержащие вирусы синтезируют фермент полимеразу, участвующую в синтезе новых частиц вирусной РНК. Эта РНК переходит на рибосомы и контролирует синтез белков вирусной оболочки — капсида. Как видно, таким вирусам для размножения и передачи генетической информации ДНК не требуется.

Проникая в клетки живых организмов, вирусы являются причиной ряда опасных заболеваний растений, животных и человека. Поражая сельскохозяйственные растения, вирусы существенно снижают их урожай и ухудшают его качество.

Примерами вирусных заболеваний растений могут служить мозаичная болезнь табака и томатов, желтуха свеклы и картофеля, проявляющаяся в скручивании листьев и карликовости растений, и др. Среди опасных вирусных заболеваний животных и человека можно отметить ветряную оспу, полиомиелит, бешенство, вирусный гепатит, грипп, СПИД и т. д.

Многие вирусы, к которым чувствителен человек, не поражают животных и наоборот. Кроме того, некоторые животные могут быть переносчиками вирусов человека и при этом сами не болеют (птицы переносят различные формы вируса гриппа, к которым чувствителен человек).

Вироиды. Бактериофаги. Вирулентные и умеренные фаги. *Вироиды* (от лат. *virus* — яд, от греч. *éidos* — форма, вид) — инфекционные агенты, представляющие собой низкомолекулярную кольцевую одноцепочечную молекулу РНК, не кодирующую собственные белки. Вироиды являются мельчайшими из известных возбудителей заболеваний. Одноцепочечные молекулы РНК вироидов намного меньше вирусных геномов. РНК вироидов состоит в среднем из 300 нуклеотидов, в то время как геном самого малого из известных вирусов насчитывает около 2000 нуклеотидов. Главным отличием вироидов от вирусов является отсутствие у них капсида. На сегодняшний день наиболее изученными являются вироиды растений (вызывают деформацию клубней, карликовость и др.).

Бактериофаги, или фаги, — группа вирусов, которые поражают бактериальные клетки. Многие бактериофаги покрыты белковой оболочкой и состоят из головки, от которой отходит полый стержневидный отросток. Внутреннюю часть головки фага составляет ДНК или РНК, которая представляет собой плотно скрученную нить (рис. 69).

У ряда бактериофагов белковая оболочка (чехол), покрывающая отросток, способна сокращаться, оголяя его нижнюю часть, где располагается базальная пластинка с выступами различной формы. От нее отходят тонкие длинные нити, которые предназначены для прикрепления фага к бактерии. Бактериофаги обладают специфическими антигенными свойствами, отличными от антигенов поражаемой бактериальной клетки и других фагов.



Используя нитевидные отростки, отходящие от базальной пластинки, бактериофаг прикрепляется к клеточной стенке бактерии. В месте прикрепления при помощи ферментов он растворяет клеточную стенку. Затем в результате сокращения белкового чехла нуклеиновая кислота фага впрыскивается через канал стержневидного отростка в бактериальную клетку. Далее, примерно через 10 мин, под влиянием нуклеиновой кислоты фага изменяется метаболизм клетки бактерии. Она начинает воспроизводить вместо собственного генетического материала генетический материал бактериофага, а также синтезировать фаговые белки. Этот процесс завершается образованием приблизительно 1000 фаговых частиц, и клетка бактерии погибает.

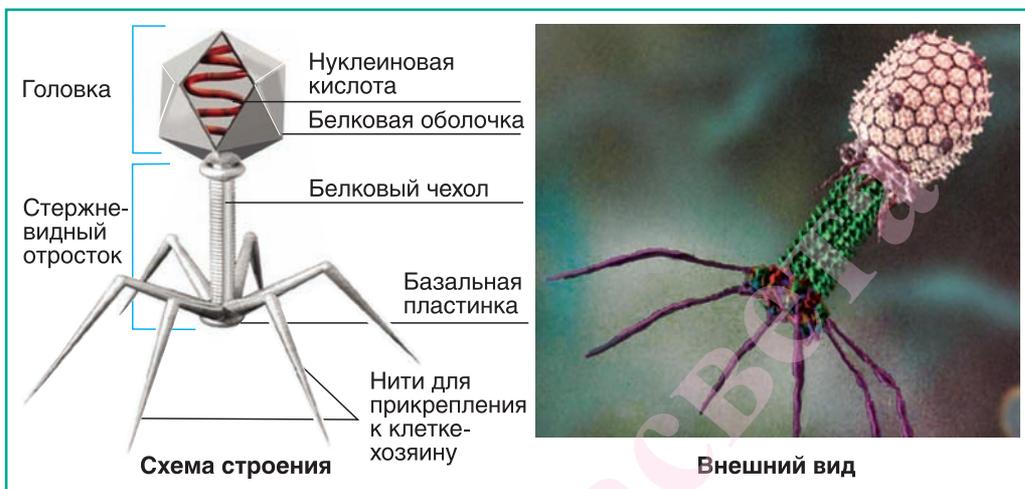


Рис. 69. Бактериофаг кишечной палочки

Вирулентные фаги — бактериофаги, которые в результате своего жизненного цикла образуют в зараженных клетках бактерий новые фаговые частицы и приводят бактерий к гибели. **Умеренные фаги** — бактериофаги, которые после проникновения в бактериальную клетку сами не размножаются, а их ДНК встраивается в генетический материал клетки-хозяина, образуя с ним единую молекулу (рис. 70).



В настоящее время одним из самых опасных вирусных заболеваний человека является СПИД (синдром приобретенного иммунодефицита). Вирус СПИДа поражает преимущественно иммунную систему, в результате чего человек становится беззащитным к микроорганизмам, которые в обычных условиях для него не патогенны. Это приводит к быстро прогрессирующему развитию инфекционных заболеваний, злокачественных новообразований и гибели. Основными путями заражения вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ) и распространения болезни являются беспорядочные половые связи, а также использование наркоманами нестерильных медицинских инструментов.



Наряду с многоклеточными и одноклеточными организмами в природе есть и неклеточные формы жизни — вирусы. Вирусы состоят из генетического материала (ДНК или РНК), который окружен защитной белковой оболочкой — капсидом. Вирусы способны размножаться только в клетках других организмов. Бактериофаги — группа вирусов, которые поражают бактериальные клетки. По типу жизненного цикла бактериофаги разделяют на вирулентные и умеренные. Вирусы являются причиной ряда опасных заболеваний растений, животных и человека.

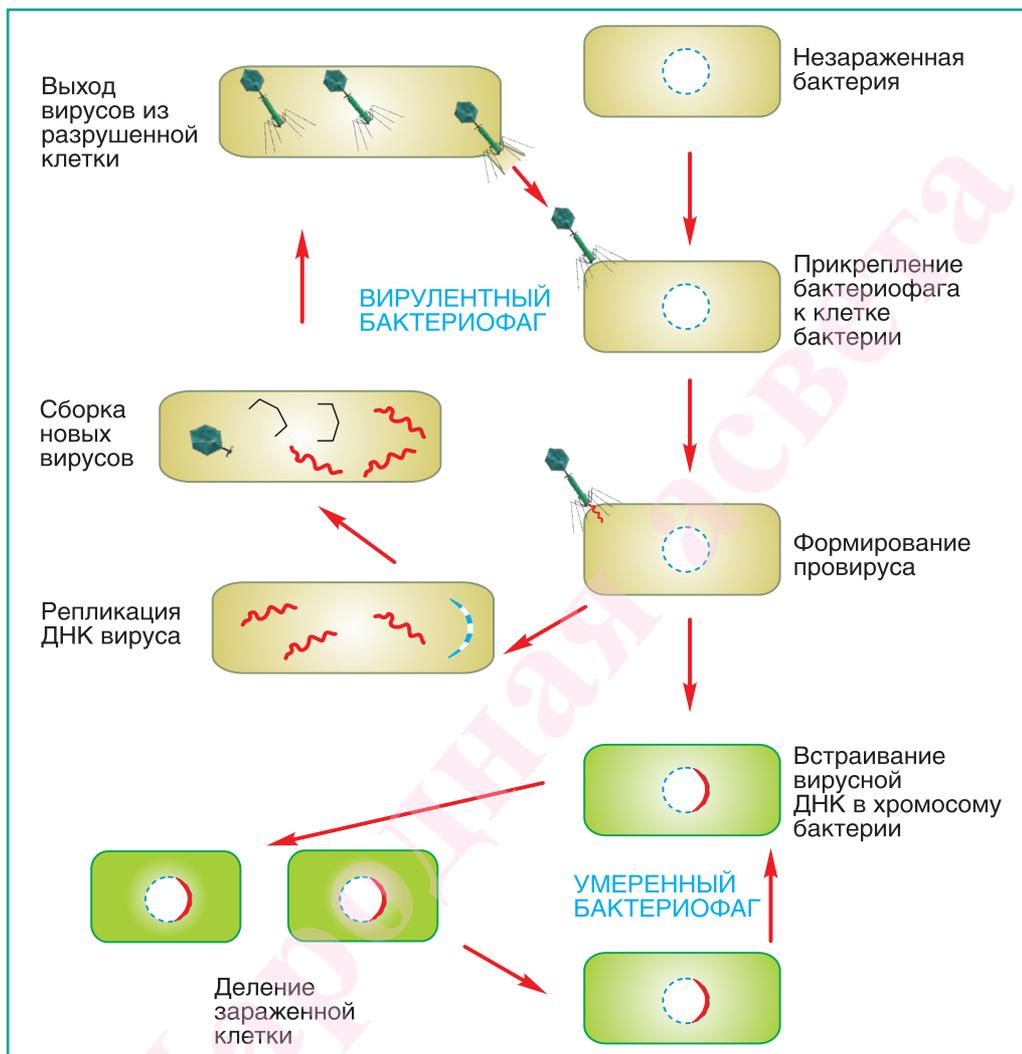
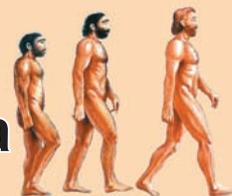


Рис. 70. Жизненные циклы вирулентного и умеренного бактериофагов



1. Объясните, почему вирусы относятся к неклеточным формам жизни. Какие, на ваш взгляд, признаки вирусов сближают их с живыми организмами? 2. Какова последовательность проникновения и размножения вирусов в клетке-хозяине? 3. Опишите особенности строения и жизненного цикла бактериофагов. 4. Какие вирусные заболевания растений, животных и человека вам известны? 5. Укажите, какие из перечисленных заболеваний человека вызываются вирусами: гепатит, холера, туберкулез, герпес, СПИД, дизентерия, бешенство, дифтерия.



§ 38. Формирование представлений об эволюции человека. Место человека в зоологической системе

Формирование представлений об эволюции человека. Человека издавна волновал вопрос о его происхождении. Из глубокой древности дошли сведения о том, что племена людей считали себя потомками разных животных: медведя, сокола, рыбы и др. Философы Древней Греции еще до нашей эры высказывали мысли о том, что человек имеет природное происхождение.



Например, философ Анаксимандр писал о происхождении людей из ила, в котором вначале зародились рыбоподобные существа, позже покинувшие водную среду и давшие начало человеку. Примерно в это же время появились первые упоминания о сходстве человека с обезьяной.

На протяжении почти полутора тысяч лет от начала нашей эры господствовали божественные взгляды на происхождение человека. С развитием науки в XVII—XVIII вв. и на основании накопленных знаний о разнообразии живых организмов естествоиспытатели стали все больше убеждаться в сходстве строения человека и животных. К. Линней, признававший божественное происхождение человека, отмечал поразительное сходство человека и обезьян. Именно по этой причине в своей классификации живой природы он расположил человека в группе приматов вместе с обезьянами.

Несколько позже Ж. Б. Ламарк выдвинул гипотезу о происхождении человека от обезьяноподобных предков. Он считал, что шагом на пути к эволюции человека был переход обезьян от лазанья по деревьям к прямохождению.

Ч. Дарвин в 1871 г. опубликовал работу «Происхождение человека и половой отбор», где он доказывал родство человека с человекообразными обезьянами. Дарвин основывался на данных сравнительной анатомии, эмбриологии, палеонтологии. В то же время он считал, что ни одна из ныне живущих обезьян не может являться прямым предком человека.

Сходство человека с животными заключается в единой схеме строения. Для человека и животных характерны одни и те же органы и системы органов (кровеносная, дыхательная, выделительная, пищеварительная, нервная, половая и др.). Кроме того, сходство человека с животными подтверждается наличием рудиментов и атавизмов. У человека насчитывают более 90 *рудиментарных органов* (рис. 71): копчик, аппендикс, зубы мудрости, третье веко и др. Наиболее характерными из

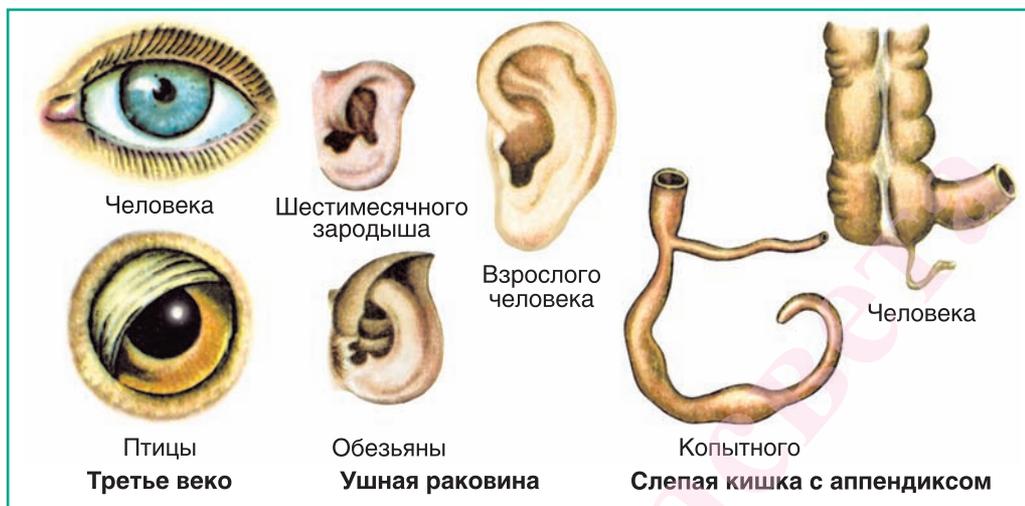


Рис. 71. Рудименты

атавизмов (рис. 72) можно считать сильно развитый у некоторых людей волосяной покров на теле, дополнительные соски, хвост. Все эти признаки хорошо выражены у животных, но иногда встречаются и у современных людей.

Наличие в строении трехнедельного зародыша человека хорды, которая в процессе эмбрионального развития сменяется позвоночником, позволяет причислить его к типу *Хордовые* и подтипу *Позвоночные*. Сходство человека и позвоночных животных наблюдается и в дальнейшем развитии зародышей. На стадии 4—5 недель эмбрионального развития у зародыша человека имеется хвостовой отдел позвоночника, формируются жаберные дуги, зачатки верхних и нижних конечностей. Мозг месячного плода человека похож на мозг рыбы, а семимесячного зародыша напоминает мозг обезьяны. На пятом месяце эмбриогенеза у зародыша человека есть волосяной покров, который затем исчезает.

Человек относится к классу *Млекопитающие*, так как у него имеется диафрагма, молочные железы, дифференцированные зубы (резцы, клыки и коренные), ушные раковины и др. Человек, как и другие млекопитающие, вскармливает своих детенышей молоком. Пита-



Рис. 72. Атавизм — чрезмерное развитие волосяного покрова

ние зародыша человека внутри материнского организма через плаценту сближает человека с подклассом *Плацентарные*.

Сходство человека с отрядом *Приматы* обусловлено наличием хорошо развитой пятипалой передней конечности. Для человека, как и для всех приматов, характерно также наличие ключицы и полное разделение лучевой и локтевой костей. Это дает возможность вращения и разнообразие движений передних конечностей. Большой палец подвижен и противопоставлен остальным. Имеются ногти.

Сходные особенности поведения человека и высших человекообразных обезьян позволяют отнести его к семейству *Гоминиды*. Для них характерны одни и те же безусловные рефлексы и сходство в формировании условных рефлексов. Как у человека, так и у человекообразных обезьян, можно встретить сходные эмоции, проявляющиеся в виде гнева, радости, разнообразной мимики, а также высокую степень заботы о потомстве. У человека, как и у шимпанзе, четыре аналогичные группы крови, срок беременности составляет приблизительно 9 месяцев. Для людей и человекообразных обезьян характерны болезни, которым не подвержены другие млекопитающие: грипп, туберкулез, холера и др. Наконец, генетический материал человека и шимпанзе более чем на 90 % сходен.

Место человека в зоологической системе. Место человека в зоологической системе можно проиллюстрировать следующей таблицей.

Таблица 8. Систематические признаки, определяющие место человека в зоологической системе

Таксон	Признак
Надцарство Эукариоты (Ядерные) <i>Eucaryota</i>	Клетки содержат ядро
Царство Животные <i>Animalia</i>	Гетеротрофный тип питания, подвижный образ жизни
Тип Хордовые <i>Chordata</i>	Наличие у зародыша хорды, полый нервной трубки на спинной стороне тела, пищеварительной трубки на брюшной стороне тела, жаберных щелей, двусторонней симметрии тела
Подтип Позвоночные <i>Vertebrata</i>	Наличие позвоночного столба, черепа, головного и спинного мозга, двух пар конечностей, расположение сердца на брюшной стороне тела
Класс Млекопитающие <i>Mammalia</i>	Внутриутробное развитие, вскармливание детенышей молоком, наличие диафрагмы, молочных, сальных и потовых желез, дифференциация зубов на клыки, резцы и коренные, три слуховые косточки в среднем ухе, ушная раковина, волосистой покров, четырехкамерное сердце, одна (левая) дуга аорты

Продолжение

Таксон	Признак
Подкласс Плацентарные <i>Placentalia</i>	Питание зародыша через плаценту
Отряд Приматы <i>Primates</i>	Верхние конечности хватательного типа, противопоставление большого пальца остальным, папиллярные узоры на кончиках пальцев, ладонях и стопах, наличие ногтей, одна пара молочных желез, смена молочных зубов
Надсемейство Человекообразные <i>Hominoidea</i>	Плоские ногти, по два резца в каждой половине челюсти, наличие характерного узора на жевательной поверхности зубов, редукция хвоста, четыре группы крови, поредение волосяного покрова тела, схожие болезни и паразиты, хорошо развитый головной мозг, проявление эмоций
Семейство Гоминиды — <i>Hominidae</i> Род Человек — <i>Homo</i> Вид Человек разумный — <i>Homo sapiens</i> L.	



Взгляды на происхождение человека в различные эпохи касались как его естественного, так и божественного происхождения. Ведущая роль в доказательстве происхождения человека от животных принадлежит Ч. Дарвину. К числу факторов, доказывающих родство человека и животных, относят сходство в строении тела, сходное развитие зародышей на ранних этапах эмбрионального развития, а также наличие у человека рудиментов и атавизмов.



1. Охарактеризуйте взгляды ученых разных эпох на происхождение человека. 2. В чем проявляется сходство человека с животными? 3. Укажите место человека в современной зоологической системе. 4. Какие из перечисленных ниже признаков позволяют отнести человека к типу Хордовые: череп, головной и спинной мозг, жаберные дуги, двусторонняя симметрия тела, две пары конечностей, полая нервная трубка? 5. Установите соответствие между систематическими таксонами: класс Млекопитающие и отряд Приматы — и признаками человека, позволяющими отнести его к этим таксонам: наличие диафрагмы, одна пара молочных желез, три слуховые косточки в среднем ухе, ушная раковина, наличие ногтей, волосяной покрова тела, смена молочных зубов, четырехкамерное сердце.

§ 39. Предшественники человека. Древние и ископаемые люди современного типа

Этапы эволюции человекообразных приматов. Австралопитеки. Первые высшие приматы появились на Земле около 40 млн лет назад. Несколько позднее от них обособились две основные ветви дальнейшей эволюции человека. Одна из них шла в направлении эволюции современных человекообразных обезьян (современные широконосые обезьяны), вторая — к другим приматам и человеку (группа узконосых обезьян). Считается, что общим предком современных человекообразных обезьян и человека были древесные человекообразные обезьяны — *дриопитеки* (рис. 73). По-видимому, именно дриопитеки положили начало эволюции человека, и в частности его предшественникам — *австралопитекам* (рис. 74).



Дриопитеки получили такое название, поскольку большую часть жизни проводили на деревьях. Однако изменение климата, приведшее к сокращению лесов, сказалось на жизни этих животных. Дриопитеки приспособились к новому образу жизни на открытых участках территории. Ближе других к людям стоит так называемый дарвиновский дриопитек, останки которого были обнаружены в Европе.

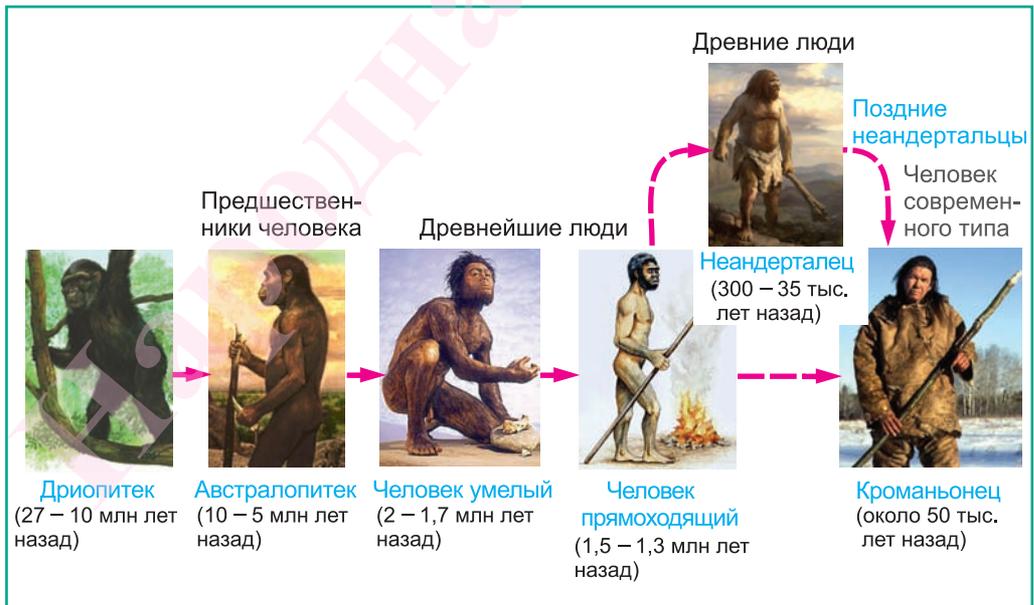


Рис. 73. Этапы эволюции человека

Первые ископаемые останки австралопитеков были найдены в 1924 г. на юге Африки. Они получили систематическое название по месту находки — австралопитек африканский. Результаты раскопок на территории Африки за последние 50 лет свидетельствуют, что австралопитеки жили более 5 млн лет назад.

Исследование найденных частей скелета австралопитеков показало, что они сочетали в себе признаки человека и обезьян. Изучение строения коренных зубов австралопитеков указывало на питание растительной пищей. В то же время строение клыков и резцов подтверждало использование пищи животного происхождения. Головной мозг австралопитеков имел объем около 650 см^3 , что практически не отличало его от мозга современных человекообразных обезьян. Рост был в пределах 100—150 см, а масса тела составляла примерно 30—60 кг.

Австралопитеки сделали два важных шага от животных к человеку. Первым из них стало прямохождение, о чем говорит строение их тазовых костей. Стоит заметить, что хождение на двух ногах изначально принесло человеку массу неудобств. Уменьшилась скорость перемещения, более тяжело, в отличие от четвероногих животных, стали проходить роды. С другой стороны, оказались несомненны преимущества такого передвижения. Например, освободились передние конечности — руки. Австралопитеки смогли держать в руках камни или палки, но самостоятельно орудия труда они еще не изготавливали. Второй особенностью австралопитеков стало поредение волосяного покрова. В условиях жаркого и сухого климата он был помехой, затруднявшей охлаждение организма.

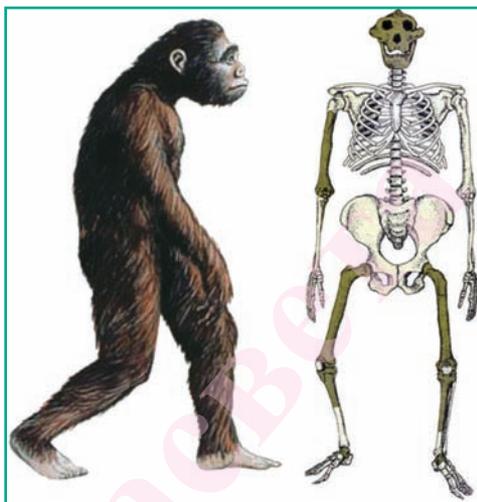


Рис. 74. Австралопитек и его скелет



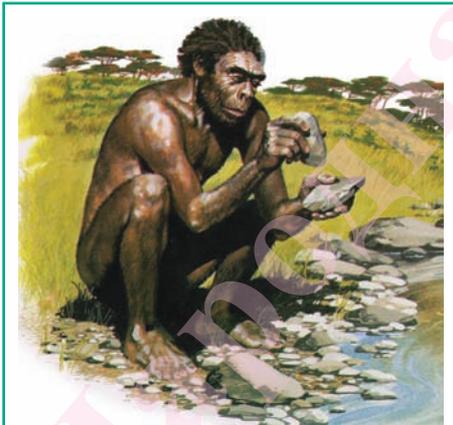
Австралопитеки, по мнению ученых, считаются тупиковой ветвью эволюции человека. Они полностью вымерли около 1 млн лет назад. Наиболее вероятной причиной вымирания было преобладание в их рационе растительной пищи. Растительность не стимулировала изготовление орудий труда и дальнейшее развитие и увеличение объема головного мозга. По-видимому, непосредственными предками людей явились наиболее поздние из существовавших представителей австралопитеков, преуспевшие в изготовлении и применении первых орудий труда.

Древнейшие люди. Человек умелый. Человек прямоходящий. В эволюции собственно человека (*Homo*) различают три основных этапа (табл. 9).

Таблица 9. Этапы эволюции рода *Homo* — Человек

Название группы людей	Время возникновения	Представители рода <i>Homo</i>
Древнейшие люди (архантропы)	Около 2 млн лет назад Около 1,5—1,3 млн лет назад	Человек умелый <i>Homo habilis</i> Человек прямоходящий <i>Homo erectus</i>
Древние люди (палеоантропы) — неандертальцы	300—35 тыс. лет назад	Первые представители вида Человек разумный — <i>Homo sapiens</i>
Люди современного типа (неоантропы) — крома-ньонцы	Около 50 тыс. лет назад	Вид Человек разумный — <i>Homo sapiens</i>

Первыми представителями рода Человек ученые считают представителя архантропов Человека умелого (см. рис. 73). Находка останков скелета первого *Homo habilis* на склоне африканского кратера Нгоронгоро принадлежит Луису Лики и датируется 1959 г. Рядом с останками *Homo habilis* были обнаружены самые древние орудия труда, сделанные руками человека (рис. 75).



Орудия труда



Из речной гальки

Из кремния

Рис. 75. Человек умелый и его орудия труда

Первые орудия труда были очень примитивными и представляли собой лишь слегка заостренную и расколотую под определенным углом гальку. Орудия из гальки постепенно заменялись ручными рубилами (камни, обтесанные с двух сторон), позже — наконечниками и скребками.

Появление орудий труда позволило активно вводить в рацион животную пищу. Изготовление более совершенных орудий труда способствовало увеличению объема головного мозга. У *Homo habilis* он был больше, чем у австралопитеков, и достигал 680 см³. Искривление нижней челюсти говорит о возможном наличии зачатков речи. Череп Человека умелого был легче, чем у австралопитеков. Использование огня при

приготовлении пищи не требовало развития мощных лицевых мышц для ее пережевывания. Более слабым мышцам для прикрепления к черепу уже не нужны были столь мощные кости. Человек умелый полностью приспособился к прямохождению. У него, как и у современных людей, большой палец стопы не отведен в сторону.

Следующим этапом эволюции древнейших людей считают Человека прямоходящего. Его останки впервые были обнаружены Э. Дюбуа в 1891 г. на острове Ява. Объем мозга у Человека прямоходящего увеличился до 1000 см³. *Homo erectus* активно изготавливал достаточно совершенные орудия труда, занимался охотой и владел зачатками речи. Речь представляла собой членораздельные звуки гласных букв. В связи с прямохождением прогрессивно изменился скелет: стопа приобрела небольшой свод, бедренная кость сместилась к центру таза, в позвоночнике образовался небольшой изгиб. Жили *Homo erectus* преимущественно стадами. Для приготовления пищи широко использовали огонь. Однако низкий лоб, развитые надбровные дуги, полусогнутое тело с обильным волосным покровом очень сближали их с обезьяноподобными предками. Поэтому Человека прямоходящего часто называют обезьяночеловеком.

Древнейшие люди широко расселились по территории Африки, Азии и юга Европы и эволюционировали одновременно в нескольких направлениях.

Древние и ископаемые люди современного типа. На этом этапе ведущую роль в эволюции человека начинают играть социальные факторы: трудовая деятельность в группах, совместная борьба за выживание, развитие интеллекта. К первым древним людям, которые были промежуточным звеном между древнейшими людьми и ископаемыми предками современного человека относят *неандертальцев*. Своё название они получили по месту их первой ископаемой находки в 1856 г. в долине р. Неандер в Западной Германии. Неандертальцы добывали пищу путем собирательства и охоты. Жили группами численностью до 100 человек (рис. 76). В качестве жилища использовали пещеры, в которых постоянно поддерживали огонь. Одеждой им служили шкуры убитых на охоте животных. Неандертальцы хорошо владели членораздельной речью и широко использовали орудия труда: разнообразные шила из костей, каменные остроконечники и скребки. У неандертальцев начали зарождаться элементы культуры. Например, черепа убитых животных, которые, по их



Рис. 76. Стоянка неандертальцев

мнению, были наделены магическими свойствами, служили талисманами на охоте. Кроме того, у неандертальцев появились элементы погребальной культуры, о чем свидетельствует погребение усопших в позе спящего человека.



Неандертальцы представляли собой неоднородную группу людей. По времени существования и морфологическим признакам их делят на *ранних* (возникли около 300 тыс. лет назад) и *поздних* неандертальцев. Ученые считают, что ранние неандертальцы были тупиковой ветвью на пути эволюции современного человека. Поздние неандертальцы появились около 70 тыс. лет назад и жили уже среди людей современного типа, однако впоследствии были полностью вытеснены ими. Поздние неандертальцы приспособились к жизни небольшими семейными группами. В отличие от ранних они имели хорошо развитый скелет и мускулатуру при относительно небольшом росте (около 160 см). Объем головного мозга у неандертальцев составлял приблизительно 1300 см³. Стоит отметить, что наибольшее развитие получили отделы мозга, связанные с логическим мышлением. Все это давало им преимущество в борьбе за существование.

Предполагается, что начало людям современного типа (неоантропам) дали поздние неандертальцы, которые приспособились к жизни небольшими семейными

группами. *Кроманьонцы* (были названы так согласно находке нескольких скелетов этих людей во французском гроте Кроманьон) обладали всем комплексом физических особенностей, который характерен для современного человека. Прогрессивные черты в строении головного мозга были связаны с хорошим развитием лобных долей, что указывает на развитую членораздельную речь. Другим признаком, свидетельствующим о качественном владении речью, является выраженный подбородочный выступ.

Кроманьонцы активно строили жилища, изготавливали специализированные орудия труда, шили одежду. Для мест их стоянок характерны зачатки искусства в виде различных статуэток и наскальных рисунков (рис. 77). Кроманьонцы первыми приручили животных, что является шагом к общественной жизни людей и развитию родовой общины.

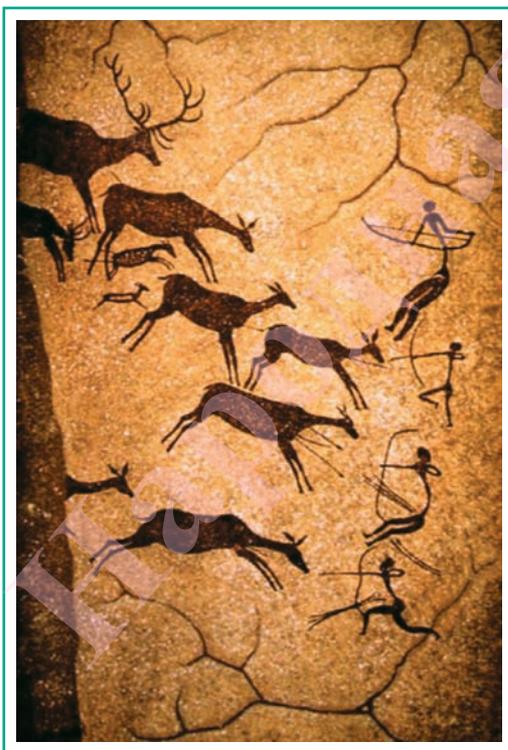


Рис. 77. Наскальные рисунки кроманьонцев

В эволюции кроманьонцев наибольшее значение приобрели социальные факторы, значительно возросла роль воспитания и передачи опыта от старших поколений к младшим.



Общим предком современных человекообразных обезьян и человека были наземные человекообразные обезьяны — дриопитеки. От них произошли предшественники человека — австралопитеки. Первым представителем рода Человек является Человек умелый. Следующим шагом на пути эволюции был Человек прямоходящий. Промежуточным звеном между древнейшими людьми и ископаемыми предками Человека разумного являются неандертальцы, которых ученые считают тупиковой ветвью эволюции человека. Возникновение людей современного типа (неоантропов) произошло около 50 тыс. лет назад. Их представители — кроманьонцы — обладали всем комплексом физических особенностей, характерных для современного человека.



1. Кого ученые считают первым ископаемым предком современных приматов?
2. Сравните особенности строения и жизни Человека умелого и Человека прямоходящего. На каком основании их относят к первым представителям рода Человек?
3. Охарактеризуйте особенности образа жизни неандертальцев.
4. Какие, на ваш взгляд, черты кроманьонцев позволяют относить их к людям современного типа?

§ 40. Роль биологических и социальных факторов в эволюции человека

Предпосылки антропогенеза. Биологические и социальные факторы. Применимы ли принципы, объясняющие происхождение и эволюцию видов животных, для объяснения происхождения и эволюции человека? С позиции синтетической теории биологические факторы эволюции органического мира — мутационный процесс, дрейф генов, борьба за существование и естественный отбор — применимы и к эволюции человека. Переход предков человекообразных обезьян к наземному образу жизни, вызванный похолоданием климата и вытеснением лесов степями, стал первым шагом на пути к прямохождению.

Недостатки в скорости передвижения при прямохождении восполнялись тем, что освободились передние конечности, а вертикальное положение тела позволяло получать больший объем информации. Таким образом, предки человека могли использовать руки для изготовления и применения различных орудий, а также своевременно реагировать на приближение хищников. Поскольку перечисленные приспособления были направлены на повышение выживаемости, именно по

этому пути осуществлялось дальнейшее действие естественного отбора. Следовательно, биологические факторы антропогенеза способствовали формированию морфофизиологических особенностей человека (прямохождение, увеличение объема головного мозга, развитая кисть руки).

Роль *социальных факторов* в антропогенезе раскрыл Ф. Энгельс в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека» (1896). Социальные факторы эволюции логично выстроить в следующую последовательность: *совместный образ жизни* → *мышление* → *речь* → *труд* → *общественный образ жизни*. Предки человека стали объединяться в группы для совместного проживания, освоили изготовление орудий труда. Именно изготовление орудий труда является четким рубежом между обезьяноподобными предками и человеком. В борьбе за существование в данном случае преимуществом обладали группы особей, которые сообща могли противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды. Таким образом, социальные факторы антропогенеза были направлены на совершенствование отношений между людьми в пределах группы.

Роль труда в формировании человека. Эволюция руки после освобождения от функции опоры шла в направлении ее совершенствования для трудовой деятельности и изготовления различных орудий труда. Это отмечено при изучении ископаемых останков Человека умелого (*Homo habilis*).

Строение костей кисти *Homo habilis* указывает на хорошо развитую хватательную способность верхней конечности. Ногтевые фаланги стали короткими и плоскими, что еще раз подчеркивает активное использование кисти. Расширенные фаланги пальцев являются свидетельством выполнения тяжелой физической работы. Кроме того, рука стала ведущим органом человека в осуществлении контактов на расстоянии при помощи различных предметов.

Использование изготовленных орудий охоты позволило человеку наряду с растительной пищей широко включать в рацион и более калорийную пищу животного происхождения. Приготовление пищи на огне уменьшило нагрузку на жевательный аппарат и пищеварительную систему. В результате стал легче скелет черепа, укоротился кишечник.

С развитием трудовой деятельности происходило дальнейшее объединение людей для совместной жизни. Это расширяло представления человека об окружающем мире. Новые представления обобщались в виде понятий, что способствовало развитию мышления и формированию членораздельной речи. С совершенствованием речи шло развитие головного мозга. Действие движущей формы естественного отбора в данном направлении за очень короткий срок привело к значительному увеличению объема головного мозга у древних людей.

Общественный образ жизни как фактор эволюции человека. При переходе к наземному образу жизни предки человека столкнулись с рядом трудностей в борьбе за существование. Это и освоение новых мест обитания, и постоянная опасность, связанная с хищниками в условиях открытых пространств. Для успешного выживания предки человека объединялись в группы, а труд способствовал сплочению их членов. Древние люди коллективно защищались от хищников, охотились и занимались воспитанием детей. Старшие члены обучали младших отыскивать природные материалы и изготавливать орудия труда, учили охотиться и поддерживать огонь. Использование огня помимо приготовления пищи помогало защищаться от непогоды и хищников.

Общественная жизнь давала неограниченные возможности общения с помощью звуков и жестов. Постепенно в результате наследственной изменчивости и естественного отбора неразвитая гортань и ротовой аппарат обезьяноподобных предков превратились в органы членораздельной речи человека.

Ведущая роль социальных факторов в истории развития человека. На этапе эволюции древнейших людей ведущая роль принадлежала биологическим факторам — борьбе за существование и естественному отбору. Отбор был направлен на выживание особей, наиболее приспособленных к неблагоприятным условиям и более умелых в изготовлении орудий труда. По мере объединения людей в группы ведущую роль в антропогенезе стали приобретать социальные факторы. Преимущество в борьбе за существование не обязательно получали самые сильные. Постепенно объектом отбора стали стадность и связанные с ней формы общения. Выживали те, кто максимально сохранял детей — будущее популяции и стариков — носителей жизненного опыта.

Посредством труда и слова человек стал постепенно овладевать культурой производства орудий труда, устройства жилищ. Обучение и воспитание, а также передача опыта явились важной предпосылкой зарождения элементов культуры человека. Вначале они проявлялись в виде наскальных рисунков, статуэток, погребальных обрядов. Совершенствование коллективного образа жизни, распределение обязанностей между членами группы снижали роль биологических факторов в эволюции человека.

Качественные отличия человека. Говоря о качественных отличиях, попытаемся подытожить рассмотренные ранее предпосылки антропогенеза. Человека умелого, как первого настоящего представителя рода *Номо*, отличает от представителей животного мира именно способность изготавливать орудия труда.

Речь идет прежде всего об изготовлении, а не о простом использовании палки или камня для удовлетворения потребностей в защите или пище обезьяно-

подобными предками. Животные также могут использовать подручные средства для добывания корма. Обезьяны, например, палками и камнями сбивают бананы с пальм. Морские выдры пользуются камнями для раскалывания раковин моллюсков, некоторые виды галапагосских вьюрков применяют колючки кактусов, чтобы достать насекомых из-под коры деревьев.

Все способы использования предметов в жизнедеятельности животных носят случайный характер или обусловлены инстинктами. Поэтому главным качественным отличием человека является, безусловно, осознанный труд, который представляет собой границу, разделившую человека и его далеких предков.

Человек имеет такой же план строения организма, как и все млекопитающие. В то же время в строении тела человека есть ряд отличий, связанных с прямохождением, трудовой деятельностью и развитием речи.

В связи с *прямохождением* изменилось положение тела и осуществился перенос центра тяжести на нижние конечности. Это обусловило изменение формы позвоночника с дугообразной на S-образную, что придало ему дополнительную гибкость при передвижении. Укорочение позвоночного столба у человека обеспечивает устойчивое положение тела на нижних конечностях. Они у человека, в отличие от обезьяноподобных предков, длиннее верхних.

Другими прогрессивными элементами, связанными с хождением на двух ногах стали: сводчатая, пружинящая стопа, расширенный таз, более короткая и широкая грудная клетка. Затылочное отверстие у человека перемещается к центру основания черепа, что позволяет сбалансировать череп на шейных позвонках.

В связи с *трудовой деятельностью* рука человека имеет небольшие размеры, отличается тонкостью и подвижностью, что дает возможность совершать разнообразные движения. Отведение в сторону большого пальца и его противопоставление остальным (рис. 78) позволяет человеку не просто брать предмет, но и удобно обхватывать его.

Увеличение объема головного мозга привело к увеличению размеров мозгового отдела черепа в среднем до 1500 см³. По объему он



Рис. 78. Руки человека и человекообразной обезьяны

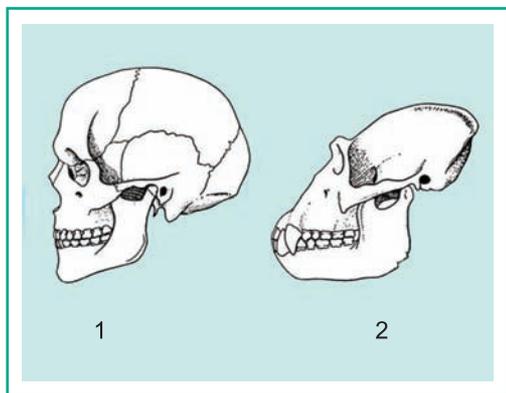


Рис. 79. Череп человека (1) и шимпанзе (2)

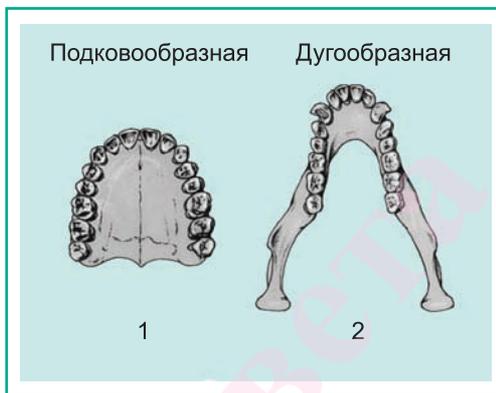


Рис. 80. Формы нижней челюсти человека (1) и человекообразной обезьяны (2)

превосходит лицевой отдел в 4 раза, хотя у обезьян это соотношение составляет 1 : 1 (рис. 79).

С *развитием речи* нижняя челюсть человека приобрела вид подковы с выступающим подбородком (рис. 80). Еще одной отличительной чертой стало наличие второй сигнальной системы. Слово и связанное с ним мышление позволяют человеку рассуждать логически и обобщать накопленные факты. На этом основана передача опыта, культуры, традиций, знаний на протяжении многих поколений. Знания и опыт, накопленные человеком в течение жизни, становятся достоянием всего общества. Это стало возможным благодаря развитию речи, а впоследствии — письменности.

Такие качества человека, как трудолюбие, пластичность мышления и культура речи, развиваются на основе образования и воспитания в обществе. Вне человеческого общества формирование гармонично развитой личности невозможно.



В основе эволюции человека лежат биологические (наследственная изменчивость, борьба за существование, естественный отбор) и социальные (труд, мышление, речь, общественная жизнь) факторы эволюции. Труд способствовал объединению предков человека в группы. Развитие речи, совершенствование коллективного образа жизни, распределение обязанностей между членами группы — все это усиливало роль социальных факторов антропогенеза. Слово и связанное с ним мышление позволили человеку рассуждать логически и обобщать накопленные факты. Отличительной чертой человека является наличие второй сигнальной системы.



1. Раскройте роль биологических факторов в эволюции человека. 2. Охарактеризуйте социальные факторы эволюции. На каком этапе антропогенеза им стала принадлежать ведущая роль? 3. Какова роль труда в эволюции человека? 4. Укажите качественные отличия человека, выделяющие его из мира животных.

§ 41. Человеческие расы. Эволюция человека на современном этапе

Человеческие расы, их происхождение и единство. Все люди, живущие на планете, в настоящее время принадлежат к одному виду — *Человек разумный*. Внутри данного вида ученые выделяют человеческие расы.

Человеческая раса — исторически сложившаяся группа людей с общими наследственными морфологическими особенностями.

К таким особенностям относятся: тип и цвет волос, цвет кожи и глаз, форма носа, губ, век, черты лица, тип телосложения и др. Все перечисленные признаки являются наследственными.

Исследование ископаемых останков кроманьонцев показало, что они имели черты, характерные для современных человеческих рас. На протяжении десятков тысячелетий потомки кроманьонцев проживали в самых разнообразных географических областях планеты. Это значит, что каждая человеческая раса имеет собственный ареал возникновения и формирования. Отличия между человеческими расами — это результат естественного отбора в разных условиях обитания при наличии географической изоляции. Длительное действие факторов окружающей среды в местах постоянного проживания приводило к постепенному закреплению комплекса признаков, характерных для этих групп людей. В настоящее время выделяют три большие человеческие расы (рис. 81), которые в свою очередь подразделяются на малые расы (их около тридцати).

Для представителей **европеоидной (евразийской) расы** характерна преимущественно светлая или слегка смуглая кожа. Эта раса характеризуется прямыми или волнистыми волосами, узким выступающим носом и тонкими губами, а также выраженным волосным покровом лица (в виде усов и бороды) у мужчин. Выступающий узкий нос у европеоидов способствует согреванию вдыхаемого воздуха в холодных климатических условиях. Таким образом, представители данной расы приспособились к жизни в условиях холодного и влажного климата. Изначально ареалом распространения европеоидной расы являлись Европа, Северная Африка, небольшая часть Азии и Индии. Сегодня добавились Северная Америка и Австралия.



Рис. 81. Человеческие расы

Негроидная (австрало-негроидная) раса характеризуется темным цветом кожи, вьющимися или волнистыми темными волосами. Для ее представителей характерен плоский, мало выступающий нос, толстые губы и темный цвет глаз. Люди австрало-негроидной расы в наибольшей степени населяют Африку, Австралию и острова Тихого океана. Перечисленные признаки являются адаптациями к жаркому климату. Например, вьющиеся волосы на голове представителей негроидной расы формируют своеобразную воздушную подушку, которая защищает голову от перегрева.

Монголоидная (азиатско-американская) раса характеризуется смуглой кожей, прямыми жесткими темными волосами. Лицо уплощенное, с хорошо выраженными скулами, нос и губы средней ширины, волосяной покров на лице развит слабо. Имеется кожная складка во внутреннем уголке глаза — *эпикантус* (рис. 82). Узкий разрез глаз и эпикантус у монголоидов являются приспособлениями к частым пыльным бурям. Формирование толстой жировой подкож-

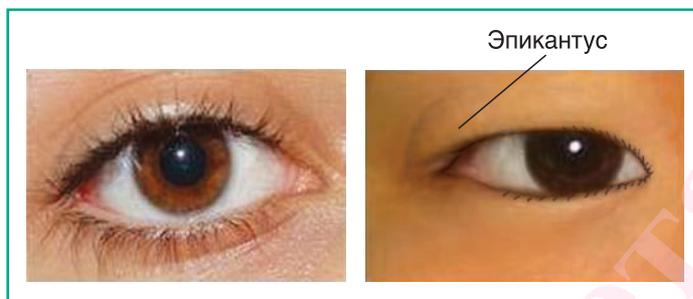


Рис. 82. Глаз европеоида и монголоида

ной клетчатки позволяет им адаптироваться к низким температурам холодных континентальных зим. Исторически данная раса населяла практически всю Азию, а также Северную и Южную Америку. Указанные признаки расы являются приспособлениями к суровому континентальному климату.

Единство человеческих рас подтверждается отсутствием генетической изоляции между ними. Это выражается в возможности появления плодovитого потомства в межрасовых браках (рис. 83). Еще одним доказательством единства человеческих рас служит наличие у всех людей на пальцах дугообразных узоров и одинаковый характер расположения волос на теле.

Расизм — совокупность учений о физической и психической неравноценности человеческих рас и решающем влиянии расовых различий на историю и культуру общества. Идеи расизма зародились, когда открытые Ч. Дарвином законы эволюции живой природы стали переноситься на человеческое общество.

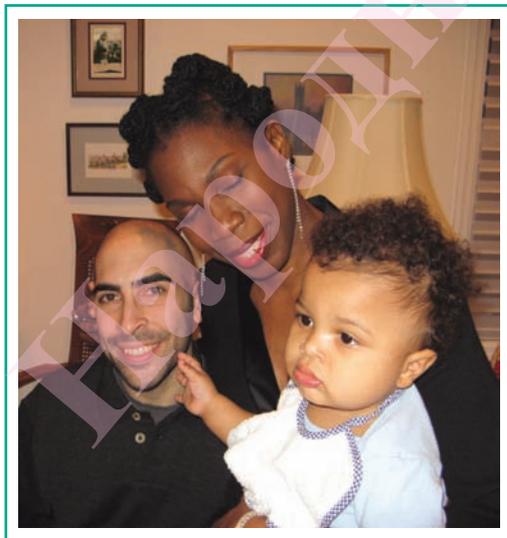


Рис. 83. Межрасовый брак

Основными идеями расизма являются идеи об изначальном делении людей на «высшие» и «низшие» расы из-за их биологической неравноценности. Причем «высшие» являются единственными создателями цивилизации и призваны господствовать над «низшими». Так расизм стремится оправдать социальную несправедливость в обществе и колониальную политику.



Расистская теория на практике существовала в фашистской Германии. Фашисты считали «высшей» свою арийскую расу и этим оправдывали физическое уничтожение огромного количества представителей других рас. В нашей стране, как одной из наиболее пострадавших от агрессии фашистских оккупантов, любое следование идеям фашизма осуждается и карается по закону.

Расизм не имеет под собой никакого научного обоснования, так как доказана биологическая равноценность представителей всех рас и их принадлежность к одному виду. Различия же, имеющиеся в уровне развития, являются следствием социальных факторов.



Некоторые ученые предполагали, что главной движущей силой эволюции человеческого общества является борьба за существование. Эти взгляды легли в основу социал-дарвинизма — псевдонаучного течения, согласно которому все общественные процессы и явления (возникновение государств, войны и т. д.) подчинены законам природы. Сторонники этого учения рассматривают социальное неравенство людей как следствие их биологической неравноценности, возникшей в результате естественного отбора.

Особенности эволюции человека на современном этапе. В современном обществе на первый взгляд не наблюдается явных признаков дальнейшей эволюции вида *Homo sapiens*. Но этот процесс продолжается. Определяющую роль на данном этапе играют социальные факторы, однако сохранилась роль и некоторых биологических факторов эволюции.

Постоянно возникающие под действием факторов среды *мутации* и их комбинации изменяют генотипический состав популяции человека. Они обогащают фенотипы людей новыми признаками и поддерживают их уникальность. В свою очередь, вредные и несовместимые с жизнью мутации удаляются из человеческой популяции естественным отбором.

Чрезмерные темпы загрязнения планеты, прежде всего химическими соединениями, являются причиной увеличения темпов мутагенеза и накопления генетического груза (вредных рецессивных мутаций). Это так или иначе может оказать влияние на эволюцию человека.

Сформировавшийся около 50 тыс. лет назад вид Человек разумный к настоящему времени практически не претерпел внешних изменений. Это результат действия *стабилизирующего естественного отбора* в относительно однородной среде обитания человека. Одним из примеров его проявления явилась повышенная выживаемость новорожденных детей с массой тела в пределах средних значений (3—4 кг). Однако на современном этапе благодаря развитию медицины роль данной формы отбора значительно снизилась. Современные медицинские технологии позволяют выживать новорожденным с низкой массой тела, а также дают возможность полноценно развиваться недоношенным детям.



Сегодня в нашей стране благодаря реализации государственных программ «Демографическая безопасность Беларуси», «Дети Беларуси», «Здравоохранение Беларуси» удалось снизить смертность новорожденных более чем в 2 раза по сравнению с прошлым десятилетием. Сегодня она является самой низкой среди стран СНГ. Учеными Республики Беларусь разработаны и внедрены новейшие технологии выхаживания недоношенных детей. В родильных домах широко используются современные высокотехнологичные инкубаторы, позволяющие имитировать условия материнского организма, оборудование для дозированной подачи лекарственных препаратов, аппараты искусственной вентиляции легких у новорожденных.

Ведущая роль *изоляция* в эволюции человека прослеживалась на этапе формирования человеческих рас. В современном обществе благодаря разнообразным средствам передвижения и постоянной миграции людей роль изоляции практически ничтожна. Отсутствие генетической изоляции между людьми является важным фактором в обогащении генофонда населения планеты.



На некоторых относительно ограниченных территориях не утратил своей эволюционной роли такой фактор, как *дрейф генов*. В настоящее время он проявляется локально в связи с природными катаклизмами. Стихийные бедствия иногда уносят жизни десятков и даже сотен тысяч людей, как это было в начале 2010 г. в результате землетрясения на Гаити. Это, несомненно, влияет на генофонд человеческих популяций.

Следовательно, на эволюцию вида *Homo sapiens* в настоящее время влияет только мутационный процесс. Действие естественного отбора и изоляции минимально.



Все люди, живущие на планете в настоящее время, принадлежат к одному виду — Человек разумный. В пределах данного вида выделяют человеческие расы. Признаки рас сформировались под влиянием факторов среды обитания. В настоящее время выделяют три большие человеческие расы: европеоидную, австрало-негроидную и монголоидную. На современном этапе из биологических факторов на эволюцию человека в неизменном виде действует только мутационный процесс. Роль естественного отбора и дрейфа генов значительно снизилась, а изоляция практически утратила свое влияние.



1. Охарактеризуйте основные приспособительные особенности представителей разных рас. Какой фактор эволюции способствовал их появлению? 2. Приведите доказательства единства и равноценности человеческих рас. 3. Почему, на ваш взгляд, расизм недопустим в современном обществе? 4. Охарактеризуйте особенности эволюции человека на современном этапе. Какая роль в этом процессе принадлежит сегодня биологическим факторам эволюции? 5. Приведите примеры дрейфа генов в человеческих популяциях на современном этапе.



Поведение как результат эволюции

Глава 6

§ 42. Поведение как форма адаптации организмов

Особенности поведения живых организмов. Выживание организмов во многом определяется их способностью взаимодействовать с окружающей средой. Это в наибольшей степени достигается через реализацию целого ряда *поведенческих реакций*.

Поведение — совокупность всех действий организма.

Поведенческие реакции тем более очевидны, чем заметнее изменение силы действия экологических факторов. При этом в поведенческой реакции может быть задействована либо только какая-то функция или орган, либо весь организм. Например, при встрече хищника и жертвы жертва подвержена испугу и часто вынуждена спасаться бегством. При этом в ответной реакции жертвы принимает участие большинство систем органов: нервная, дыхательная, опорно-двигательная, кровеносная, пищеварительная. Это, по сути, и есть тот суммарный ответ на внешнее воздействие, который и принято называть поведением.

Известно, что определенные поведенческие реакции вызываются не только внешним, но и внутренним воздействием. Так, при длительном отсутствии пищи в крови хищника снижается количество питательных веществ (глюкозы, аминокислот). Этот недостаток воспринимается хеморецепторами и далее посредством нервных импульсов поступает в центр голода головного мозга. Таким образом у хищника формируется чувство голода, которое толкает его на поиски добычи (этот процесс носит характер алгоритма).

В зависимости от эволюционного положения организма поведенческие реакции и средства достижения определенных потребностей различны. В то же время единым для всех организмов является то, что возникшая потребность побуждает к действию, направленному на ее удовлетворение. Такое побуждение к действию называется *мотивацией*. Например, при снижении количества корма в среде обитания и одноклеточные протисты, и хищные млекопитающие способны проявлять сходное поведение. Они изменяют территорию поиска, переходя на новые участки, то есть совершают сходные поведенческие акты, хотя их механизмы различны.

Для выживания организму необходимы адекватные поведенческие реакции как на внешние воздействия, так и на внутренние. В случае, если организм не сможет адаптироваться к изменившимся условиям среды, он погибнет.

Поведение играет очень важную роль в выживании живых организмов, так как поведенческие реакции самые быстрые и характеризуют общее физиологическое состояние организма. Например, в тень от прямых солнечных лучей человеку спрятаться гораздо проще и быстрее, чем ждать, пока кожа загорит и станет менее чувствительной.

Уровни поведения и эволюция. Выделяют пять уровней (форм) поведения, характерных для животных. Их можно объединить в две группы: врожденные и приобретенные. К врожденным относятся постоянные (стереотипные) формы поведения — *таксисы, рефлексy и инстинкты*. Они практически не меняются в течение жизни и чаще всего носят наследственный характер. Приобретенными формами поведения являются те, которые развиваются в течение жизни индивида, — *научение и рассудочная деятельность*. По мере усложнения организации врожденные формы поведения постепенно уступают место приобретенным. Например, таксисы чаще проявляются у протистов, в меньшей степени — у червей и исчезают у примитивных млекопитающих. У пчел преобладает инстинктивное поведение, а у собак оно сменяется способностями к обучению. Высший уровень — *рассудочная деятельность* — начинает формироваться у низших млекопитающих, усиливается у высших приматов и максимальна у человека.

Врожденные формы поведения (таксисы, рефлексy, инстинкты) являются полезными реакциями организма, сформировавшимися и закрепленными в геноипе в результате действия естественного отбора. Данные формы поведения



Рис. 84. Хемотаксис у насекомых: бабочки слетелись на сладковатую жидкость, выделяемую растениями

очень разнообразны и постоянны для видов, а также для более крупных таксономических единиц (родов, семейств, отрядов). Поэтому врожденные формы поведения можно использовать в качестве систематического признака при классификации животных. Например, представители семейства волчьих на охоте используют длительную погоню, основанную на выносливости и изнурении жертвы. Представители же кошачьих предпочитают выжидательный способ охоты. Они набрасываются на жертву, подстерегая ее в укрытии.

Простейшей врожденной формой поведения являются таксисы (рис. 84). **Таксис** — форма пространственной

ориентации организмов по отношению к источнику раздражения. Если движение осуществляется к источнику раздражения — это положительные таксисы, если в противоположную сторону — отрицательные. В зависимости от природы раздражителя выделяют фото-, термо-, хемо- и другие таксисы. Примером положительного термотаксиса служит скопление водных беспозвоночных в верхних, наиболее прогреваемых участках водоема. Примером хемотаксиса является распознавание насекомыми половых партнеров, пахучих веществ, а также мест своего обитания даже на значительном удалении.

Рефлексы представляют собой стереотипные реакции организма на определенные воздействия, происходящие при участии нервной системы. Они могут быть направлены на удовлетворение потребностей организма в пище, воде, безопасности и др. *Безусловные* рефлексы одинаковы у всех животных одного вида, и именно на них основаны все формы врожденного поведения. *Условные* рефлексы, открытые И. П. Павловым, были положены в основу научения — приобретенной формы поведения. Их можно рассматривать как звено между врожденными и приобретенными формами поведения. Примером рефлекторной формы поведения может быть пассивно-оборонительный рефлекс у животных, когда они замирают при появлении хищника или незнакомого звука.

Интересной формой стереотипного поведения являются инстинкты. **Инстинкты** — цепи сложных безусловных рефлексов. Инстинкты возникли в процессе эволюции в качестве приспособлений к типичным условиям существования вида. Благодаря наследственной закрепленности инстинкты проявляются в любой момент жизнедеятельности организма и не требуют специального обучения. Инстинктивное поведение направлено на повышение выживаемости организмов. Примером инстинктов является деятельность насекомых, птиц и других животных по добыванию пищи, постройке гнезд и выведению потомства. При строительстве гнезда певчий дрозд, например, смазывает лоточек глиной, а дрозд белобровик этого не делает. Синица ремез строит из растительного пуха сложное гнездо в виде мешочка, подвешенного к ветвям дерева. У млекопитающих только что родившиеся детеныши сразу начинают сосать материнское молоко, а птенцы лебедей и уток, только вылупившись, уже умеют плавать.

Индивидуально приобретенные формы поведения (научение, рассудочная деятельность). Рассмотренные выше врожденные формы поведения обеспечивают только некоторые приспособления для удовлетворения основных жизненных потребностей организма при неизменных условиях внешней среды. Для выживания в динамически изменяющихся условиях организмам необходимо менять свои поведенческие реакции. Этой способностью в форме приобретенных условных рефлексов в наибольшей степени обладают птицы и млекопитающие. В данном



Рис. 85. Импринтинг (запечатление)

примеру, неопытный молодой птенец, слетевший с гнезда, будет пытаться поймать осу до тех пор, пока не убедится, что это яркоокрашенное насекомое несъедобно. Точно так же лягушки отказываются от поедания насекомых с предостерегающей окраской, если ранее с ними уже встречались.

Для теплокровных животных характерна интересная форма научения — *импринтинг (запечатление)* (рис. 85). Запечатлением является следование детенышей за объектом их постоянного внимания, например за матерью. Однако, если только что вылупившемуся утенку представить другой передвигающийся объект, утенок пойдет за ним. Если в дальнейшем птенцу будет представлена собственная мать, он все равно пойдет за первоначальным объектом. Запечатление формируется исключительно в раннем возрасте. Если оно не возникает сразу, данный вид научения может вообще не развиваться.

Простой формой научения является *привыкание*. Оно развивается при продолжительном повторении неподкрепленных стимулов. Например, птицы, собирающие на поле корм, со временем перестают реагировать на работающую сельскохозяйственную технику. Этот вид научения позволяет животным с раннего возраста различать нейтральные факторы окружающей среды и не реагировать на них.

У птиц и млекопитающих развито *подражание*, которое также является приспособительной поведенческой реакцией. К примеру, молодые тигры, охотясь, подражают взрослым при выслеживании и подкрадывании к жертве. Подражание играет важную роль в поведении человека. Так, маленькие дети неосознанно подражают старшим братьям и сестрам, школьники — учителям или кумирам.

Высшей приспособительной формой поведения, наиболее развитой у человека, является рассудочная деятельность.

Рассудочная деятельность — способность к выполнению адаптивного поведенческого акта в сложившейся ситуации.

случае животное обучается реагировать на новый, безразличный в старых условиях стимул.

Научение — приспособительное изменение поведения в результате предшествующего опыта, за счет которого достигается индивидуальное приспособление живых организмов к среде обитания.

Простейшим способом индивидуального научения в природе является *метод проб и ошибок*. К

В основе рассудочной деятельности лежит мышление. *Мышление* — вид умственной деятельности, заключающийся в познании сущности предметов и явлений и установлении закономерных связей и отношений между ними. Мышление позволяет человеку адаптироваться к меняющимся условиям среды без метода проб и ошибок. Оно позволяет устанавливать логические связи между изучаемыми предметами и явлениями. Помимо человека только высшие приматы оказались способны решать мыслительные задачи с минимальным числом повторений. Благодаря мышлению человек с раннего возраста может воспринимать информацию в виде символов (букв и слов). Способность мыслить — одна из самых важных поведенческих адаптаций человека. Недаром древние мудрецы говорили: «Мыслю — значит существую».



Поведение — совокупность всех действий организма. Формы поведения бывают врожденные и приобретенные. К врожденным относятся постоянные (стереотипные) формы поведения — таксисы, рефлексы и инстинкты. Они не меняются в течение жизни и носят наследственный характер. Приобретенными формами поведения являются те, которые развиваются в течение жизни индивида, — научение и рассудочная деятельность.



1. Что такое поведение? Охарактеризуйте особенности поведения животных, вызванные внешними и внутренними воздействиями. **2.** Какие уровни (формы) поведения вам известны? Как они изменяются в процессе эволюции животного мира? **3.** Охарактеризуйте врожденные формы поведения. Приведите примеры таксисов и инстинктов. **4.** Опишите индивидуально приобретенные формы поведения. Какой эксперимент можно поставить для доказательства того, что обезьяны обладают рассудочной деятельностью?

§ 43. Инстинктивное и общественное поведение животных

Инстинктивное поведение беспозвоночных и позвоночных животных.

Среди беспозвоночных животных инстинктивная деятельность наиболее развита у высших представителей членистоногих: насекомых и пауков. В их инстинктах можно отметить ряд очень точно отрегулированных и строго повторяющихся действий.



Примером сложного инстинкта насекомых может быть инстинкт заботы о потомстве одного из видов ос — *сфекса*. Это можно представить в виде следующего алгоритма: рытье норки → поиск добычи → захват и обездвиживание добычи ядом → перенос добычи в норку → откладывание в добычу яйца с будущей личинкой → заделывание норки → рытье норки для новой добычи. Данный инстинкт позволяет личинке получать свежую пищу, которая не портится в течение всей ее жизни.

Все этапы инстинктивной деятельности беспозвоночных наследственны и постоянны. Поэтому инстинкты порой не позволяют им быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям среды.

На ход инстинктивных действий у позвоночных животных, особенно млекопитающих, влияет способность к различным действиям в результате развития условных рефлексов. Для этого должно возникнуть соответствующее биологическое влечение (мотивация).

В целом, как для беспозвоночных, так и для позвоночных животных инстинктивные реакции полезны лишь при постоянстве условий окружающей среды. При их изменении эти реакции становятся нецелесообразными. Например, инстинкт оборонительной реакции ежа (свертывание в колючий клубок) теряет свой смысл, когда он оказывается на автомобильной дороге.

Общественное поведение животных: групповой образ жизни, социальная иерархия особей. Для повышения выживаемости животные способны образовывать группы, отличающиеся степенью постоянства и организации. Выделяют ряд причин объединения животных в группы. *Во-первых*, в группе проще защищаться от хищников. *Во-вторых*, в группе проще отыскать полового партнера. *В-третьих*, в пределах группы есть возможность передачи опыта молодым особям путем подражания и научения. В то же время в больших группах животных резко возрастает степень конкуренции за корм, территорию, половых партнеров. Поэтому преимущества жизни в группе должны дополняться формами согласованного поведения отдельных особей. Такие формы группового поведения могут возникать только у животных с высокоорганизованной нервной системой и развитыми органами чувств.



Рис. 86. Случайная группа: стая саранчи

Ученые выделяют разные типы групп животных. Иногда группы носят *случайный характер*. Это связано, как правило, с благоприятными условиями среды обитания, которые и притягивают животных. Например, часто можно наблюдать большие скопления мух на хорошо прогреваемых поверхностях. Другим примером такой группы может быть скопление саранчи (до 2,5 млрд особей и более) в условиях благоприятной кормовой базы (рис. 86).

Случайные группы представляют собой простую совокупность животных. Животные в них слабо взаимодействуют друг с другом, и такие группы могут быстро распасться.

Большинство групп животных формируется для совместного удовлетворения потребностей в пище, территории, размножении и др. В этом случае между отдельными особями группы устанавливаются особые связи, обеспечивающие долговременность их существования. Образуются группы с социальной иерархией.

Социальная иерархия — система связей между членами группы в виде соподчинения особей друг другу.

Социальная иерархия очень четко прослеживается в стадах оленей, семьях обезьян, муравьев. Например, в оленьем стаде выделяются вожаки (рис. 87). Это, как правило, наиболее опытные и старые особи, которые обеспечивают руководство в группе. Они всегда занимают лидирующие позиции, располагаются впереди стада, наиболее бдительны. Олени, располагающиеся по бокам стада, отличаются повышенным беспокойством и настороженностью, что дает возможность быстро информировать сородичей об опасности.



Рис. 87. Группа с социальной иерархией особей: стадо оленей

Социальная иерархия в пределах группы может изменяться. Это, как правило, связано со старением лидирующих особей и вытеснением их молодыми.



Инстинкты животных — поведенческие адаптации к условиям существования, которые наиболее целесообразны при постоянстве условий окружающей среды. Для повышения выживаемости и удовлетворения потребностей жизнедеятельности животные способны образовывать группы. Различают случайные группы и группы с социальной иерархией особей.



1. Охарактеризуйте особенности инстинктивного поведения животных. В чем, на ваш взгляд, проявляется относительность инстинктов? 2. Чем обусловлено объединение животных в группы? Какие виды группового образа жизни вам известны?
3. Охарактеризуйте принципы построения социальной иерархии в семейных группах обезьян, муравьев.

§ 44. Поведение человека

Поведение человека как социобиологического вида. Человек разумный является одним из видов царства Животные. Для него, как для биологического вида, характерны все потребности животных: в кислороде, пище, воде, размножении и др. Вместе с тем, как вы уже знаете, человек имеет ряд черт, отличающих его от животных. Данные отличия породили и новые потребности человека, не характерные для животных.

Иерархическую систему потребностей человека хорошо иллюстрирует пирамида потребностей, предложенная американским психологом Абрахамом Маслоу (рис. 88). По мере удовлетворения потребностей человека, лежащих в основании пирамиды, все более актуальными становятся потребности более высокого уровня. Чаще всего последовательность удовлетворения потребностей соответствует их иерархии в пирамиде.

Однако именно для человека характерны случаи, когда потребности более высокого ранга удовлетворяются на фоне неудовлетворения насущных физиологических потребностей. Это можно проиллюстрировать на примере жителей блокадного Ленинграда в годы Великой Отечественной войны. Ленинградцы голодали, однако сохранили уникальную коллекцию семян различных сортов культурных растений. Или в концентрационных фашистских лагерях люди находили в себе силы вести подпольную антифашистскую борьбу. Данные примеры являются свидетельством того, что даже в критические минуты жизни у человека есть возможность к самореализации в обществе.



Рис. 88. Пирамида потребностей

Человек в социальной среде. Нормы поведения. Социальная среда — конкретные общественные отношения, традиции, нравственные и правовые установки, при которых живет человек. Таким образом, социальная среда — это люди, объединенные в различные группы, с которыми каждый человек находится в специфических отношениях и общении. Социальная среда воздействует на человека, оказывает давление, подчиняет общественному мнению, увлекает, а нередко и принуждает к определенной направленности социального поведения.

Научные знания, жизненный опыт, мотивы различных поступков, которые человек черпает из социальной среды, являются ведущими в формировании личности человека. На основании личностных качеств (уровень образования, целеустремленность, организаторские способности и др.) каждому человеку принадлежит в обществе определенное место. Кроме социальной среды в широком смысле слова, которая подразумевает все общество, выделяют и малые социальные среды. К ним относят семью, класс, трудовой коллектив, членом которого является данный человек.

За время развития человеческой цивилизации были выработаны определенные нормы поведения людей в различных общественных группах. Они основываются на национальных традициях, обычаях, социальном и сословном делении людей, нормах морали, вероисповедании и др. Неукоснительное соблюдение всех норм поведения и законов обеспечивает гармоничное развитие общества.



Рис. 89. Суррогатное общение

Суррогатное общение. В последние годы в жизнь человека все больше входят компьютерные технологии. Специалисты озабочены тем, что компьютеры заменяют реальное словесное и духовное общение между людьми. **Суррогатное общение** — новый вид общения и получения информации посредством компьютерной техники (рис. 89). Основная доля суррогатного общения осуществляется через сеть Интернет и виртуальный мир компьютерных игр. Ученые считают, что общение через Интернет не способствует расширению межличностных контактов и кругозора. Кроме того, снижается возможность к самореализации личности человека в обществе.



Ученые предупреждают от излишнего увлечения развлекательными интернет-сайтами и компьютерными играми. Считается, что это может негативно влиять как на здоровье, так и на психику человека. У подростков это может приводить к чрезмерной агрессии к окружающим людям, а в дальнейшем нарушить работу сердечно-сосудистой системы и даже привести к слабоумию. Многочисленными исследованиями было установлено, что время, которое средний британец проводит, общаясь с родными, друзьями и сослуживцами, с 6 ч в день в 1989 г. сократилось почти до 2 ч в 2009 г. За тот же период использование электронных средств информации и Интернета выросло с 4 до почти 8 ч в сутки.

Антиобщественное поведение. К сожалению, в обществе нередки случаи **антиобщественного поведения** — поступков личностей или групп людей,

нарушающих официально установленные правовые нормы. В случае нарушения правил общественного поведения и законодательных актов вступают в силу меры воздействия: от порицания до уголовной ответственности.

Поведение человека и природная среда. Поведение человека в природной среде сегодня в наибольшей степени определяется законами и моралью общественных отношений. В современном мире зависимость человека от природы практически минимальна. Так, почти все современные жилища имеют необходимые системы жизнеобеспечения. Человек использует одежду, соответствующую сезону, имеет своевременное медицинское и информационное обслуживание. Научные достижения позволили человеку заселить практически всю пригодную для жизни территорию планеты, успешно противостоять болезням и освоить космическое пространство. Человек значительно расширил спектр употребляемых продуктов питания. В его рацион теперь входит не только пища природного происхождения, но и целый ряд продуктов сельскохозяйственного и промышленного производства.

В то же время обратной стороной научно-технического прогресса является подчинение природной среды исключительно интересам человека. В результате поведение человека в природной среде часто наносит ей огромный ущерб. Поэтому человеческому обществу в ближайшее время необходим срочный переход от дальнейшего овладения природой к гармонии с ней. Ведущая роль в этом процессе должна принадлежать человеческому разуму — самой могучей силе на планете Земля.



Поведение человека в обществе определяется исторически сложившимися нормами поведения. Неукоснительное соблюдение всех правовых норм и законов обеспечивает гармоничное развитие общества и взаимоотношений человека с природой. Ведущая роль в этом процессе должна принадлежать человеческому разуму — самой могучей силе на планете Земля.



1. Опишите, через удовлетворение каких потребностей должно строиться поведение человека в обществе. В чем вам видится различие в иерархии потребностей Человека разумного и неандертальца?
2. Чем регулируется поведение человека в обществе?
3. В чем, на ваш взгляд, заключается опасность суррогатного общения?
4. Предложите мероприятия, которые необходимо проводить в молодежной среде для снижения доли суррогатного общения.



§ 45. Понятие биосферы. Границы биосферы

Понятие биосферы. Впервые термин биосфера был предложен в 1875 г. австрийским геологом Э. Зюссом. Однако лишь спустя пятьдесят лет русский геохимик В. И. Вернадский создал учение о биосфере.

Биосфера — оболочка Земли, созданная и заселенная живыми организмами.

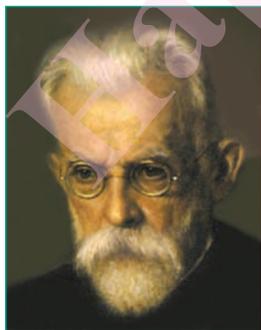
В. И. Вернадский в своем учении показал, что все состояние нашей планеты находится под влиянием живых организмов и полностью определяется ими. Живые организмы планеты осуществляют огромную деятельность по миграции химических элементов в биосфере в поистине планетарных масштабах.

Границы биосферы определяются условиями существования жизни. К ним относят: необходимое для жизнедеятельности количество воды, минеральных веществ, кислорода, углекислого газа. А также благоприятный температурный режим, степень солености воды в водоемах, уровень радиации и др. В состав биосферы входит несколько оболочек, в пределах которых возможно распространение жизни, — атмосфера, гидросфера и литосфера (рис. 90).

Атмосфера — воздушная оболочка Земли. Газовый состав атмосферы представлен в таблице 10.

Таблица 10. Газовый состав атмосферы

Газ	Содержание, %
Азот	78
Кислород	21
Аргон и другие газы	менее 1
Углекислый газ	0,032



В качестве примеси в атмосфере в большом количестве содержатся водяные пары. Они вместе с углекислым газом, метаном, оксидами азота (парниковые газы) участвуют в нагревании нижнего слоя атмосферы, формируя парниковый эффект. Суть парникового эффекта состоит в способности атмосферы пропускать к поверхности Земли солнечные лучи и с помощью парниковых газов поглощать отраженное от нее тепловое

В. И. Вернадский (1863—1945) — русский естествоиспытатель, основоположник комплекса наук о Земле — геохимии, биогеохимии, радиологии, гидрогеологии и др.

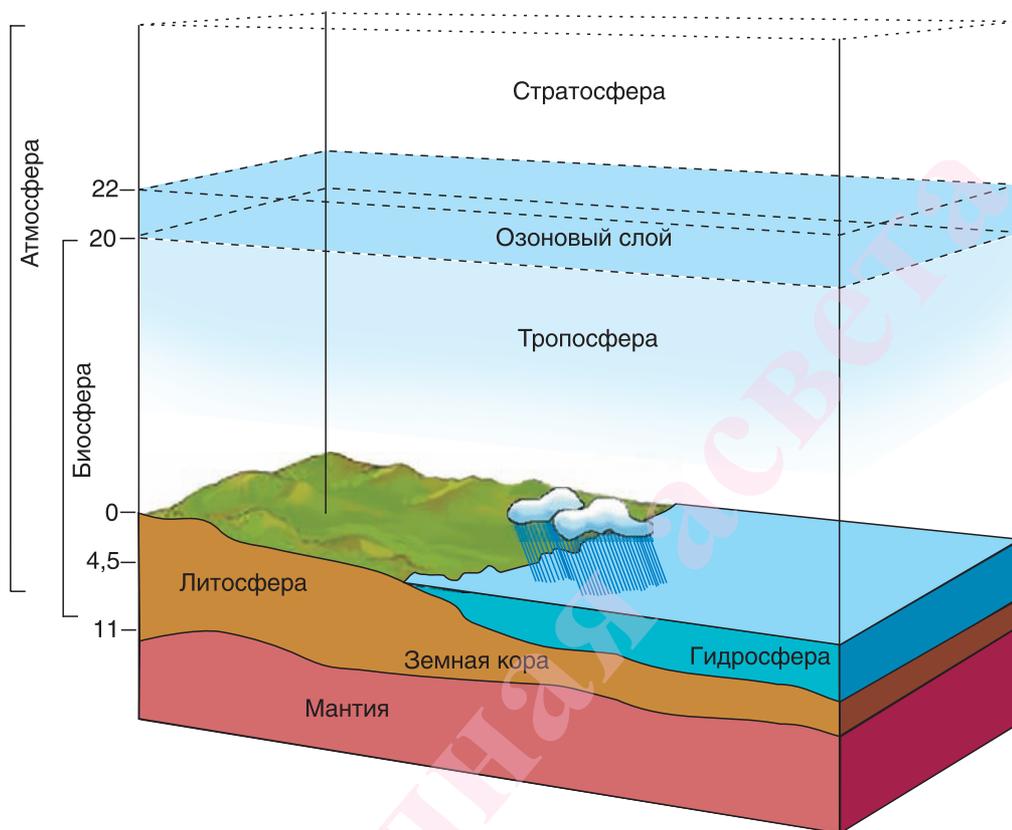


Рис. 90. Границы биосферы

излучение. В результате с увеличением высоты температура атмосферы снижается, а ее нижние слои остаются теплыми.

Распространение жизни в атмосфере ограничивается в основном ее нижним слоем — *тропосферой*. Высота тропосферы колеблется от 8—10 км на полюсах до 18—20 км на экваторе. Например, верхняя граница полета птиц находится на высоте около 7 км; насекомые в воздушной среде поднимаются не выше 6 км. Фотосинтезирующие растения не растут в горах выше 6 км из-за низкого содержания углекислого газа и отсутствия воды.



Концентрация озона (O_3), который образуется из кислорода под действием солнечной радиации, на высоте 20—22 км максимальна. В то же время содержание озона крайне мало и составляет около $1 \cdot 10^{-4} \%$ от газового состава атмосферы. Тем не менее молекулы озона формируют вокруг планеты защитный экран, предохраняющий все живое на Земле от губительного действия ультрафиолетового излучения Солнца (рис. 91).

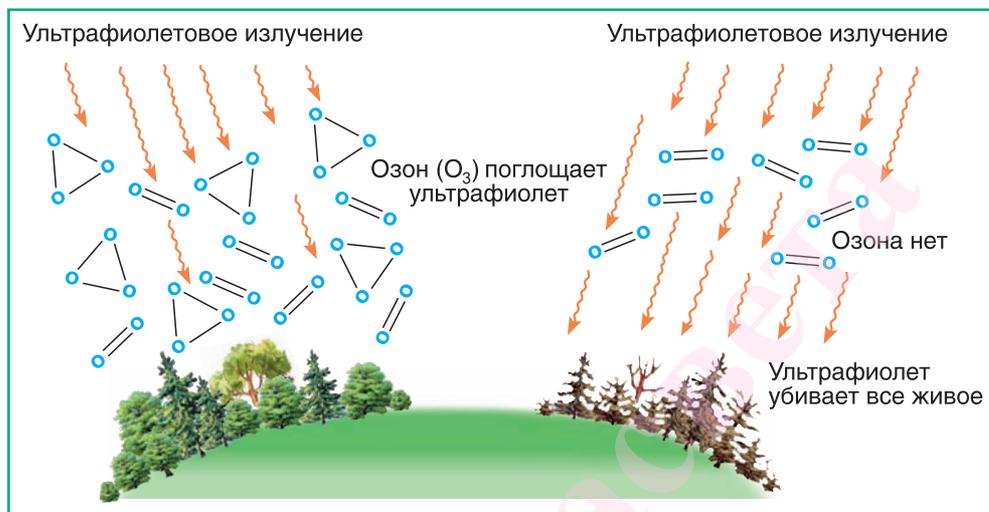


Рис. 91. Защитная роль озона в атмосфере

Вертикальное распространение живых организмов в атмосфере за пределы озонового слоя лимитируется ультрафиолетовой радиацией, убивающей все живое.

Гидросфера — водная оболочка Земли, включающая все водные запасы планеты. Состав гидросферы представлен в таблице 11.

Таблица 11. Состав гидросферы

Виды вод	Объем, млн км ³	Количество по отношению к общему объему гидросферы, %
Морские	1370	95,2
Подземные (за исключением почвенной)	34,2	2,5
Лед и снег (Арктика, Антарктика, Гренландия, горные ледники)	25,8	1,8
Поверхностные воды суши: озера, водохранилища, реки, болота, почвенные воды	0,5	около 0,3
Атмосферные воды	0,015	0,01
Воды, содержащиеся в живых организмах	0,00005	0,0003

Жизнь в гидросфере распространяется фактически на всю глубину, включая донные отложения. Гидросфера имеет максимальную глубину (до 11 км) в Мировом океане — Марианская впадина Тихого океана. Растения и связанные с ними растительные животные концентрируются в верхних слоях океана на глубинах до 300 м. Это связано с тем, что лимитирующим фактором распространения жизни в гидросфере для автотрофных организмов является достаточное для фотосинтеза количество света, способное проникать в водную среду.

В то же время существует комплекс глубоководных животных, обитающих на больших глубинах. Это гетеротрофные организмы, потребляющие готовое органическое вещество, выпадающее в виде осадка из верхних слоев гидросферы (продукты жизнедеятельности живых организмов, мертвая органика и т. д.). В условиях отсутствия освещенности могут жить некоторые черви, полипы, а также протисты и микроорганизмы. На дне океанов встречаются хемотрофные бактерии, получающие энергию за счет окисления химических соединений — водорода, серы, жиров, парафинов и др. Например, сообщества микроорганизмов, живущих в океанических термальных источниках, являются хемотрофами и основными продуцентами океанического дна.

Литосфера — внешняя твердая оболочка Земли. Поверхностный слой литосферы представлен почвой.

Распространение жизни в литосфере наблюдается до глубины около 4,5 км, где обнаруживаются анаэробные микроорганизмы. Подавляющая часть живых организмов литосферы (до 99 %) обитает непосредственно в почве. Лимитирующим фактором распространения жизни в литосфере является высокая температура.



В пределах биосферы выделяют биосферу — оболочку нашей планеты, в которой сосредоточено большинство живых организмов. Она включает в себя почву, нижний (до 100 м) слой атмосферы и верхнюю часть вод (до 200 м в глубину).



Биосфера как область существования жизни охватывает всю гидросферу до 11 км в глубину, нижнюю часть атмосферы (тропосферу до 20 км в высоту) и верхнюю часть литосферы глубиной до 4,5 км. Лимитирующим фактором распространения жизни в атмосфере является ультрафиолетовое излучение, в литосфере — высокая температура, гидросфера заселена практически полностью.



1. Каковы границы распространения живых организмов в атмосфере, гидросфере и литосфере? 2. Охарактеризуйте особенности распространения жизни в границах биосферы. 3. Объясните, чем обусловлена неравномерность распределения живых организмов в биосфере. 4. Составьте схему распределения живых организмов в биосфере с указанием границ и лимитирующих факторов.

§ 46. Компоненты биосферы. Функции живого вещества

Классификация веществ, входящих в состав биосферы. Основными компонентами биосферы являются: живое, косное, биогенное и биокосное вещества.

Живое вещество является важнейшим компонентом биосферы.

Живое вещество — совокупность всех живых организмов на Земле с их способностью к размножению и распространению на планете, к борьбе за пищу, воду, территорию, воздух.

На живое вещество (по массе) приходится ничтожная доля по сравнению с массой Земли. Для живого вещества характерны рост, активное перемещение, стремление заполнить все окружающее пространство. Кроме того, живому веществу присущи удивительное разнообразие форм, размеров и химического состава и, конечно же, эволюция.

Косное вещество представлено минералами (алмаз, изумруд, кварц) и горными породами (гранит, мрамор), образование которых происходило и происходит без участия живого вещества. Эти процессы связаны, например, с выветриванием горных пород, их механическим разрушением, извержениями вулканов. Между косным и живым веществами существует неразрывная взаимосвязь. Например, она осуществляется в процессе дыхания живого вещества, когда происходит перемещение атомов из косных компонентов биосферы в живые и обратно. По массе косное вещество биосферы многократно превосходит массу живого вещества.

Биокосное вещество является особым веществом биосферы. Оно представлено почвой, всеми природными водами, корой выветривания, которые являются результатом непрерывного взаимодействия живого вещества с косным.

Проявлением деятельности живого вещества по преобразованию земной коры является его участие в создании осадочных пород органического происхождения (каменный уголь, различные руды, известняки, нефть). Результат этой работы был назван В. И. Вернадским **биогенным веществом** биосферы. Биогенное вещество происходит от живого вещества в результате его жизнедеятельности или отмирания. Так на планете создавались залежи многих полезных ископаемых: торфа, угля и др.

Биомасса поверхности суши, Мирового океана, почвы. Биомасса представляет собой общую массу животных, растений и микроорганизмов, присутствующих в биосфере. Полная биологическая масса Земли оценивается приблизительно в 2420 млрд т. Биомассы живого вещества (зеленых растений, животных и микроорганизмов) на суше материков и в Мировом океане существенно различаются (табл. 12).

Таблица 12. Биомасса живого вещества планеты
(в пересчете на сухое вещество)

Организмы	Биомасса живого вещества			
	Материковая часть		Мировой океан	
	млрд т	%	млрд т	%
Зеленые растения	2400	99,2	0,2	6,3
Животные и микро- организмы	20	0,8	3,0	93,7
Всего	2420	100	3,2	100

Как видно из таблицы, наибольшая масса живых организмов биосферы сосредоточена на материках (более 98,7 %). Вклад океанической части в общую биомассу невелик (около 0,13 %). На суше значительно преобладает живое вещество растений (более 99 %), в океане — животных (более 93 %). В то же время при сравнении их абсолютных значений: 2400 млрд т растений и 3 млрд т животных — видно, что живое вещество на планете в подавляющем большинстве представлено наземными зелеными растениями. Биомасса гетеротрофных организмов составляет всего около 1 %.

Биомасса суши увеличивается от полюсов к экватору. Наибольшая биомасса живого вещества суши сконцентрирована в тропических лесах, которые являются наиболее продуктивными сообществами материковой части биосферы.

Мировой океан занимает более 2/3 поверхности планеты. Биомасса в нем распространена неравномерно и представлена преимущественно в верхней части планктоном. Биомасса наземных растений в 1000 раз превосходит общую массу океанических живых организмов, но именно Мировой океан считается самой продуктивной средой по созданию биомассы. Это вызвано интенсивными темпами размножения микроскопических представителей фито- и зоопланктона, их быстрым ростом и короткой продолжительностью жизни. Поэтому общий объем первичной годовой продукции, образуемой продуцентами Мирового океана, сопоставим с объемом продукции растений суши.

Почва как среда обитания характеризуется собственной биомассой, поскольку тесно связана с жизнедеятельностью многих организмов. **Биомасса почвы** — совокупность живых организмов, обитающих в почве и играющих ведущую роль в процессе ее формирования. В почве много микроорганизмов, протистов, червей, разлагающих органическое вещество. В поверхностных слоях живут зеленые водоросли и цианобактерии, снабжающие почву кислородом

в процессе фотосинтеза. Кроме того, в почве обитают муравьи, клещи, кроты, сурки, суслики и др. Все они ведут большую почвообразовательную работу, создавая плодородие почвы, а после гибели становятся источником органического вещества для бактерий. Биомасса почвы, подобно растительной биомассе, имеет тенденцию к увеличению от полюсов к экватору.

Биогеохимические функции живого вещества. Выделяют следующие важнейшие функции живого вещества на планете: энергетическую, газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную.

Энергетическая функция. Энергия является необходимым условием существования и развития биосферы. Энергетическая функция реализуется, прежде всего, зелеными растениями. Главным поставщиком энергии в биосферу является Солнце. Как вы уже знаете, растения в процессе фотосинтеза аккумулируют солнечную энергию в химических связях разнообразных органических соединений и в дальнейшем перераспределяют ее между всеми компонентами биосферы. Следует отметить, что из всего количества поступающей в биосферу солнечной энергии только около 1 % используется продуцентами в процессе фотосинтеза и далее передается потребителям в составе органического вещества. Остальное поглощается атмосферой, гидросферой и литосферой, а также участвует в протекающих в биосфере физических и химических процессах (движение воздушных масс, выветривание горных пород и др.).

Газовая функция заключается в постоянно протекающем газообмене кислорода и углекислого газа между живыми организмами и окружающей средой в процессе фотосинтеза и дыхания. Такие газы, как азот, сероводород, метан, также могут являться продуктами жизнедеятельности живых организмов и иметь биогенное происхождение. Благодаря живым организмам в атмосфере нашей планеты поддерживается постоянство газового состава.

Окислительно-восстановительная функция заключается в многообразии химических реакций, протекающих в организме в процессе его жизнедеятельности. Наличие в составе живых организмов химических элементов с переменной степенью окисления (марганец, железо, хром) позволяет им обеспечивать все эти окислительно-восстановительные реакции. В процессе синтеза органических веществ преобладают восстановительные реакции и происходят затраты энергии. А в процессе окисления и расщепления в присутствии кислорода преобладают окислительные реакции с выделением энергии. Таким образом, жизнь в биосфере представляет собой непрерывный синтез и распад органических веществ, которые объединяют все живые организмы на Земле.

Концентрационная функция — избирательное накопление живым веществом химических элементов, рассеянных в окружающей среде. Например,

панцири диатомовых водорослей, скелеты животных, раковины моллюсков — все это проявления концентрационной функции живого вещества. Образование биогенного вещества биосферы в виде залежей полезных ископаемых также является результатом концентрационной функции живого вещества.



Основными компонентами биосферы являются: живое, косное, биогенное и биокосное вещества. Наибольшая масса живых организмов сосредоточена на материках, причем биомасса продуцентов суши значительно преобладает. В океанической части биосферы консументы по биомассе превышают продуцентов. Живые организмы планеты в процессе жизнедеятельности выполняют энергетическую, газовую, окислительно-восстановительную, концентрационную функции. Это является необходимым условием существования и развития биосферы.



1. Охарактеризуйте типы вещества, входящего в состав биосферы.
2. Проанализируйте различия в соотношениях между биомассой продуцентов и консументов в Мировом океане и на суше.
3. Сопоставьте продуктивность живого вещества Мирового океана и суши. Дайте объяснение их количественного соотношения.
4. Охарактеризуйте основные биосферные функции живого вещества.

§ 47. Круговорот веществ в биосфере

Понятие о круговороте веществ. *Круговорот веществ в биосфере — циклический, многократно повторяющийся процесс совместного, взаимосвязанного превращения и перемещения веществ.* Его наличие является необходимым условием существования биосферы: после использования одними организмами вещества должны переходить в доступную для других организмов форму. Такой переход веществ от одного звена к другому требует энергетических затрат, поэтому возможен только при участии энергии Солнца. С использованием солнечной энергии на планете протекают два взаимосвязанных круговорота веществ: большой — геологический и малый — биологический (биотический).

Геологический круговорот веществ — процесс миграции веществ, осуществляемый под влиянием абиотических факторов: выветривания, эрозии, движения вод и т. д. Живые организмы участия в нем не принимают.

С возникновением на планете живого вещества появился *биологический (биотический) круговорот*. В нем принимают участие все живые организмы, поглощающие из окружающей среды одни вещества и выделяющие другие. Например, растения в процессе жизнедеятельности потребляют из окружающей среды углекислый газ, воду, минеральные вещества и выделяют кислород. Животные используют выделенный растениями кислород для дыхания. Они поедают

растения и в результате пищеварения усваивают образовавшиеся в процессе фотосинтеза органические вещества, выделяют углекислый газ и непереваренные остатки пищи. После отмирания растения и животные образуют массу мертвого органического вещества (детрит), доступную для разложения (минерализации) микроскопическими грибами и бактериями. В результате их жизнедеятельности в биосферу поступает дополнительное количество углекислого газа, а органические вещества превращаются в исходные неорганические компоненты — *биогены*. Образовавшиеся минеральные соединения, попадая в водоемы и почву, снова становятся доступными растениям для фиксации посредством фотосинтеза. Такой процесс повторяется бесконечно и носит замкнутый характер (круговорот). Например, весь атмосферный кислород проходит по этому пути примерно за 2 тыс. лет, а углекислому газу для этого требуется около 300 лет.

Энергия, заключенная в органических веществах, по мере перемещения в пищевых цепях уменьшается. Большая часть ее рассеивается в окружающей среде в виде тепла или расходуется на поддержание процессов жизнедеятельности организмов. Например, на дыхание у животных, транспорт веществ и транспирацию у растений. К тому же, образовавшиеся в результате деятельности редуцентов биогены не содержат доступной для организмов энергии. В данном случае можно говорить лишь о потоке энергии в биосфере, но не о круговороте. Поэтому условием устойчивого существования биосферы является постоянно протекающий в биогеоценозах круговорот веществ и поток энергии.

Геологический и биологический круговороты в совокупности формируют общий биогеохимический круговорот веществ, основу которого составляют циклы азота, воды, углерода и кислорода.

Круговорот азота. Азот — один из самых распространенных элементов в биосфере. Основная часть биосферного азота находится в атмосфере в газообразной форме. Из-за прочности связей между атомами в молекулярном азоте (N_2) большинство живых организмов не способны использовать его непосредственно. Поэтому важным звеном в круговороте азота является его фиксация и перевод в доступную для организмов форму. Различают три пути фиксации азота (рис. 92).

Атмосферная фиксация. Под воздействием атмосферных электрических разрядов (молний) азот может взаимодействовать с кислородом с образованием оксида (NO) и диоксида (NO_2) азота, которые растворяются в парах воды и в виде азотистой (HNO_2) и азотной (HNO_3) кислот с осадками попадают в почву. В почве в результате диссоциации этих кислот образуются нитриты (NO_2^-) и нитраты (NO_3^-), которые поглощаются растениями и включаются в биологический круговорот. На долю атмосферной фиксации азота приходится около 10 млн т азота в год, что составляет около 3 % ежегодной азотфиксации в биосфере.

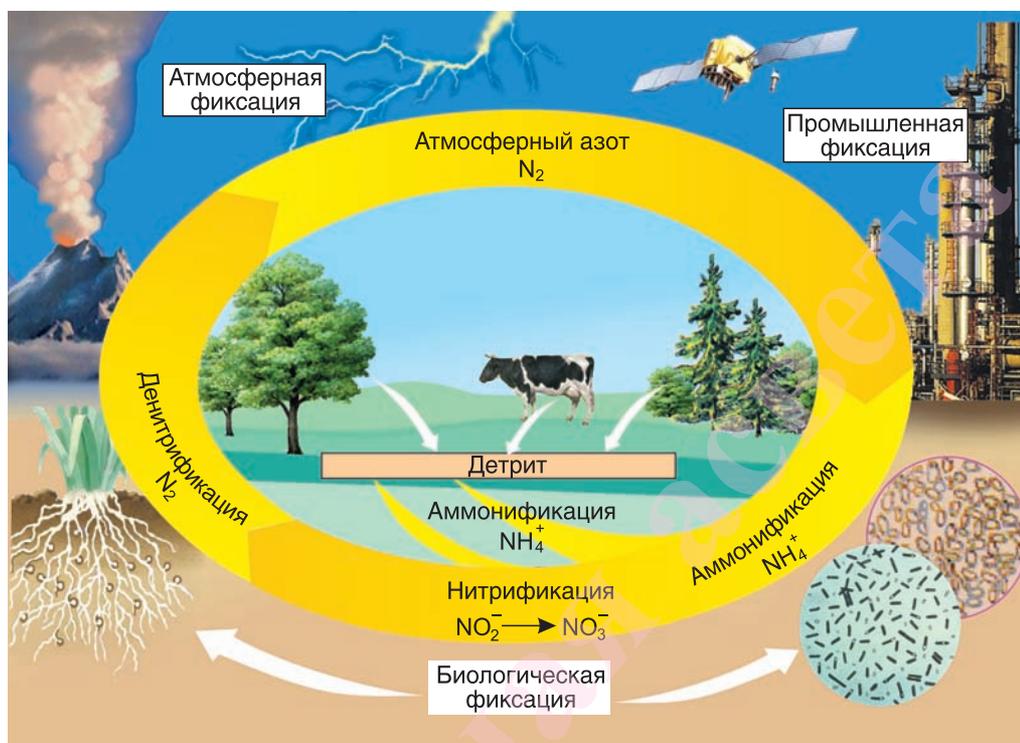


Рис. 92. Круговорот азота

Биологическая фиксация. Она осуществляется азотфиксирующими бактериями, которые переводят азот в доступные для растений формы. Благодаря микроорганизмам связывается около половины всего азота. Наиболее известны бактерии, фиксирующие азот в клубеньках бобовых растений. Они поставляют растениям азот в виде аммиака. Аммиак хорошо растворим в воде с образованием иона аммония (NH_4^+), который и усваивается растениями. Поэтому бобовые — лучшие предшественники в севообороте. После отмирания животных и растений и разложения их остатков почва обогащается органическими и минеральными соединениями азота. В дальнейшем гнилостные (аммонифицирующие) бактерии расщепляют азотсодержащие вещества растений и животных до аммиака. Большая часть аммиака подвергается окислению нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов, которые вновь могут использоваться растениями.

Промышленная фиксация. Наибольшее количество азота ежегодно связывается промышленным путем при производстве минеральных азотных удобрений. Азот из таких удобрений усваивается в аммонийной и нитратной формах.

Возвращение азота в атмосферу происходит путем денитрификации, которую осуществляет группа денитрифицирующих бактерий. В результате происходит восстановление азотистых соединений до молекулярного азота. Часть азота с поверхностным стоком попадает в моря, где он включается в морские организмы или донные отложения.



Процессы нитрификации и денитрификации были сбалансированными в биосфере до начала массового использования в сельском хозяйстве азотсодержащих минеральных удобрений. Примерно 1/10 искусственно внесенного азота используется растениями, а остальная часть с поверхностным стоком и грунтовыми водами переходит в донные отложения. Это приводит к накоплению больших объемов соединений азота в воде и почве. Такое накопление является причиной бурного размножения водорослей (эвтрофикации) и заморов в водных экосистемах.

Круговорот воды (рис. 93). Вода — основной компонент биосферы. Она является средой для растворения практически всех элементов при осуществлении круговорота. Большая часть биосферной воды представлена жидкой водой и водой вечных льдов (более 99 % всех запасов воды в биосфере). Незначительная часть воды находится в газообразном состоянии — это атмосферные водяные пары. Биосферный круговорот воды основывается на том, что ее испарение с поверх-

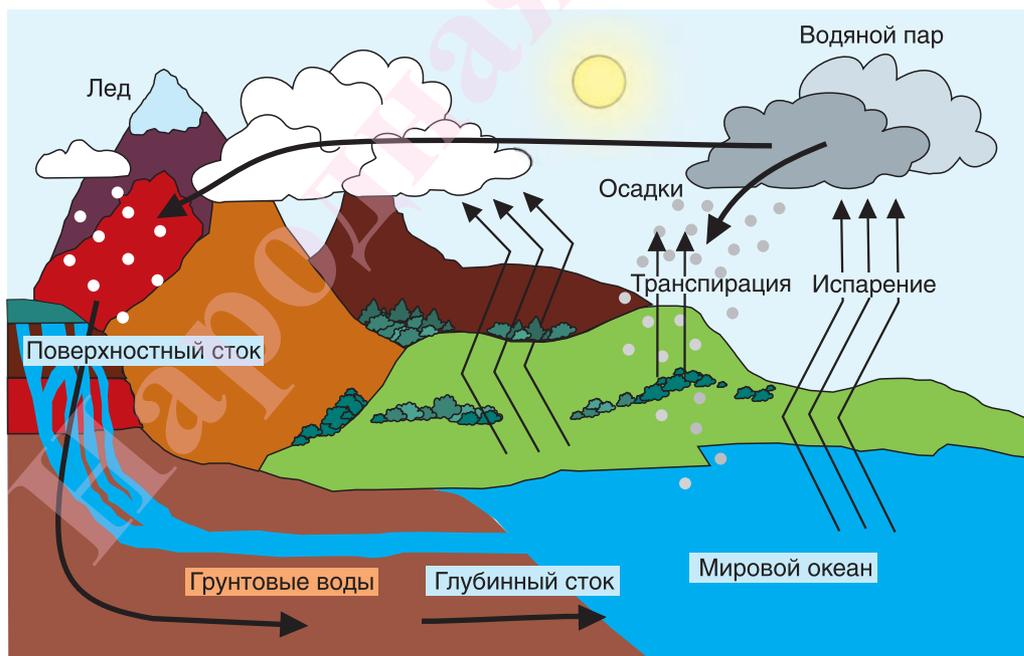


Рис. 93. Круговорот воды

ности Земли компенсируется выпадением осадков. Именно испарение воды с поверхности планеты обуславливает ее геологический круговорот, на который расходуется около половины падающей солнечной энергии. Испарение воды с морей и океанов происходит с большей скоростью, чем возвращение ее с осадками. Эта разница компенсируется за счет поверхностного и глубинного стоков благодаря тому, что на континентах осадки преобладают над испарением.



Значение живых организмов в круговороте воды на первый взгляд невелико. В то же время материковая вода, испаряемая почвой и растениями, играет важную роль в водном круговороте. Количество воды, поставляемой в круговорот растениями, поистине огромно. Например, 1 га леса испаряет до 50 т воды в сутки. Значение растений очень велико в удержании воды в почве путем замедления ее поверхностного стока. Растения также участвуют и в поддержании постоянного уровня подземных вод.

Круговорот углерода (рис. 94). Углерод в атмосфере представлен углекислым газом. Основной путь, по которому углерод из неорганических соединений

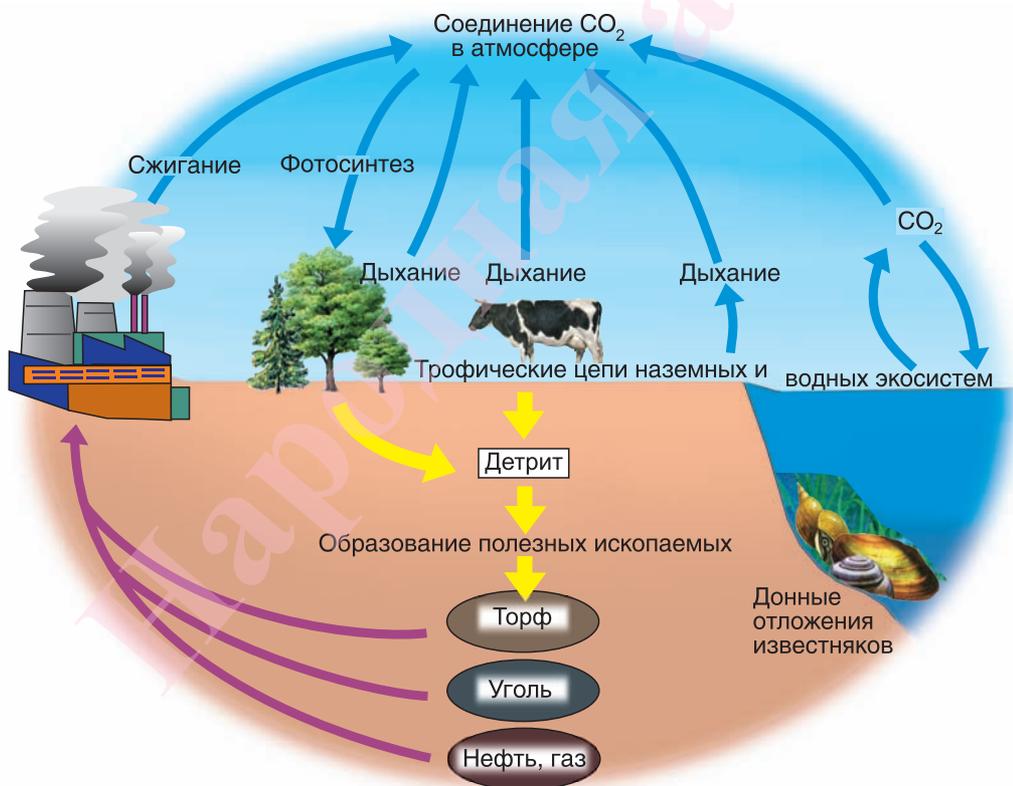


Рис. 94. Круговорот углерода

переходит в состав органических веществ, где он является обязательным химическим элементом, — это процесс фотосинтеза. Часть углерода выделяется в атмосферу в составе углекислого газа при дыхании живых организмов и при разложении бактериями мертвого органического вещества. Усвоенный растениями углерод потребляется животными. Кроме того, коралловые полипы, моллюски используют соединения углерода для построения скелетных образований и раковин. После их отмирания и оседания на дне формируются отложения известняков. Таким образом, углерод может исключаться из круговорота. Выведение углерода из круговорота на длительный срок достигается путем формирования при его участии полезных ископаемых: каменного угля, нефти, торфа.

На протяжении существования планеты выведенный из круговорота углерод компенсировался углекислым газом, поступающим в атмосферу при вулканических извержениях и в ходе других естественных процессов. В настоящее время к природным процессам пополнения углерода в атмосфере добавилось значительное антропогенное воздействие, например в виде сжигания углеводородного топлива. Это нарушает отрегулированный веками круговорот углерода на Земле.



Увеличение концентрации углекислого газа за столетие всего на 0,002 % привело к заметному проявлению парникового эффекта. Среднегодовая температура на планете повысилась на 0,5 °С, а уровень Мирового океана поднялся почти на 15 см. По прогнозам ученых, если среднегодовая температура увеличится еще на 3—4 °С, начнется таяние вечных льдов, и уровень Мирового океана поднимется на 50—60 см, что приведет к затоплению значительной части суши. Это расценивается как глобальная экологическая катастрофа, ведь на этих территориях проживает около 40 % населения Земли.

Круговорот кислорода. В функционировании биосферы кислород играет исключительно важную роль в процессах обмена веществ и дыхании живых организмов. Уменьшение количества кислорода в атмосфере в результате процессов дыхания, сжигания топлива и гниения компенсируется кислородом, который выделяется растениями планеты в ходе процессов фотосинтеза.

Значительная часть кислорода, вырабатываемого в ходе эволюции Земли, не осталась в атмосфере, а была зафиксирована в литосфере в виде различных неорганических соединений: карбонатов, сульфатов, оксидов железа и др. Небольшая часть кислорода атмосферы участвует в процессах образования и разрушения озонового экрана при действии ультрафиолетового излучения Солнца.

К сожалению, в последние десятилетия деятельность человека, приводящая к вырубке лесов, эрозии почв, снижает интенсивность фотосинтеза и нарушает естественный ход круговорота кислорода на значительных территориях (рис. 95).

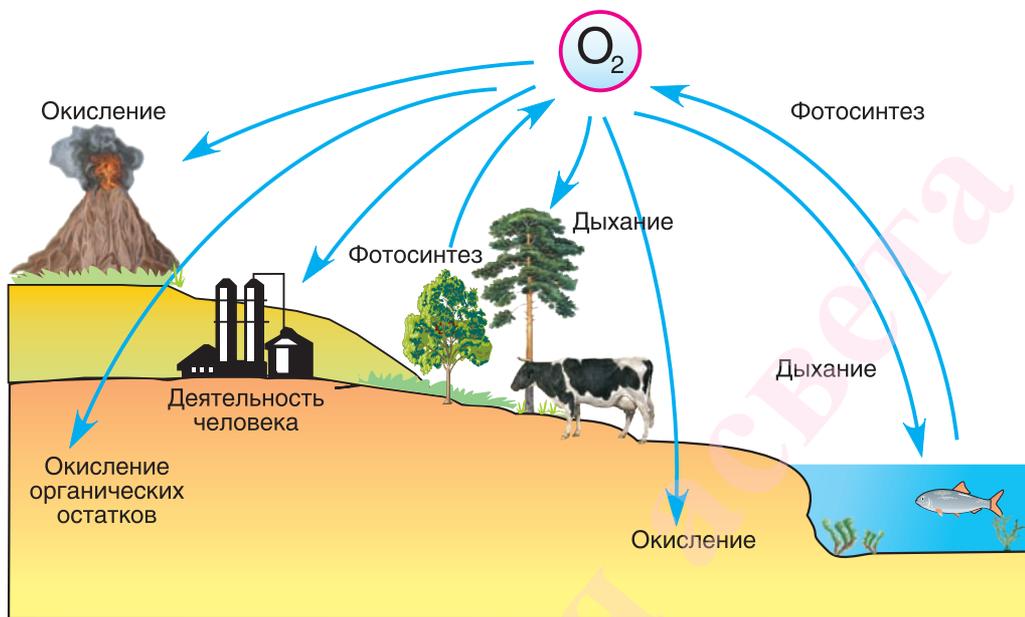


Рис. 95. Круговорот кислорода



Основой биогенного круговорота веществ является солнечная энергия. Энергия Солнца поглощается фототрофными организмами и преобразуется в энергию связей первичного органического вещества, которое потребляют животные. Энергия, заключенная в органических веществах, по мере перемещения в пищевых цепях уменьшается. Главным условием устойчивого существования биосферы являются постоянно протекающий в биогеоценозах круговорот веществ и поток энергии. В круговоротах азота, углерода и кислорода основная роль принадлежит живым организмам. Основу же глобального круговорота воды в биосфере обеспечивают физические процессы.



1. Что представляет собой круговорот веществ в биосфере? 2. Проанализируйте, какие условия являются необходимыми для поддержания непрерывности круговорота веществ. 3. Опишите роль живых организмов в круговороте веществ в биосфере. 4. Укажите возможные последствия чрезмерного поступления углекислого газа в атмосферу и азота в почву и водные экосистемы. 5. С чем, на ваш взгляд, связано повышенное содержание нитратов в воде колодцев?

§ 48. Основные этапы развития биосферы

Этапы развития биосферы. Современная структура биосферы и границы, в которых существуют живые организмы, формировались длительное время, начиная с момента возникновения первых организмов и до наших дней. Обнаруженные ископаемые кишечнорастворимые, некоторые виды червей и других животных свидетельствуют, что жизнь на Земле была очень многообразной. Каждый период эволюции биосферы характеризуется определенным комплексом экологических факторов среды и совокупностью организмов.

Наша планета появилась около 5 млрд лет назад. В то время температура земной поверхности была выше 100 °С, и жизнь на Земле существовать не могла. Снижение температуры способствовало формированию водной оболочки планеты — гидросферы. Масса гидросферы постепенно росла, увеличивалась ее площадь, что создало условия, благоприятные для зарождения жизни. Появление живого вещества в гидросфере способствовало формированию биологического круговорота вещества.

На этом этапе формирования биосферы важная роль принадлежала бактериям с различными способами питания (фото- и хемоавтотрофам, фото- и хемогетеротрофам). Она состояла, прежде всего, в разложении мертвого органического вещества до биогенов, которые возвращались обратно в биологический круговорот. *Деструктивная* функция бактерий позволила поддерживать биомассу органического вещества планеты на постоянном уровне. В то же время древние фотосинтезирующие бактерии (цианобактерии) насыщали гидросферу кислородом. В дальнейшем, в результате роста и размножения автотрофов, количество кислорода возрастало, он начал выделяться в атмосферу и распространяться в ней. За счет кислорода в верхних слоях атмосферы появился озон.

Примерно около 500 млн лет назад концентрация кислорода в атмосфере достигла современных значений. Этот факт совместно с образованием озонового экрана позволил организмам выйти на сушу — началось формирование наземной флоры и фауны. Первые наземные растения (псилофиты) путем фотосинтеза образовали первичное органическое вещество суши, которое стало служить пищей гетеротрофным организмам. Так сформировалась наземно-воздушная среда обитания. Таким образом, живые организмы постепенно преобразовывали физико-химические параметры окружающей среды, делая ее благоприятной для существования. В этом заключается еще одна важная функция живого вещества — *средообразующая*.

В то же время жизнь в гидросфере продолжала развиваться и была представлена цианобактериями и красными водорослями, а также почти всеми типа-

ми животных. Глубоководные организмы, постепенно продвигаясь все глубже ко дну, заселили всю гидросферу.

Следующие этапы эволюции биосферы проходили в направлении бурного развития и распространения жизни на суше. Появились мхи, древовидные плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения, на смену которым пришли покрытосеменные, быстро распространившиеся по всей планете.

Первыми животными суши были пауки и скорпионы. В период около 300 млн лет назад появились первые земноводные. В дальнейшем, приблизительно 150 млн лет назад, массового распространения и процветания достигли пресмыкающиеся: динозавры, древние черепахи и крокодилы. Около 50 млн лет назад появились птицы и млекопитающие. Биосферная роль животных связана с их гетеротрофным типом питания и способностью к передвижению. Они потребляют органическое вещество, создаваемое растениями, перемещают его на значительные расстояния, способствуя распространению плодов, семян, спор.

Завоевание суши живыми организмами привело к значительному росту биомассы живого вещества, которая в настоящий момент многократно превышает океаническую биомассу.

Венцом же современной эволюции биосферы стало появление Человека разумного, которое произошло всего лишь около 50 тыс. лет назад.

В процессе эволюции биосферы некоторые вещества на долгое время исключались из биологического круговорота. Благодаря этому на Земле в разные геологические эпохи сформировались залежи полезных ископаемых в виде каменного угля, нефти, известняков, железных руд и др. Таким образом, именно эволюция биосферы позволила Земле приобрести свой уникальный облик и стать планетой жизни среди других планет Солнечной системы. А главными факторами эволюции биосферы на рассмотренных этапах стали процессы, связанные с функционированием живого вещества: *синтез, разрушение, круговорот*.

Современный этап эволюции биосферы. Около 50 тыс. лет назад в эволюцию биосферы стал вносить вклад новый фактор — антропогенный, связанный с деятельностью человека. На ранних стадиях цивилизации взаимодействие человека с биосферой было связано с удовлетворением его потребностей в пище, жилье и носило скорее локальный характер. В Средние века по мере развития общества и промышленности человек для удовлетворения своих потребностей стал все больше использовать живое и минеральное косное вещества.

Еще более глубокие изменения в биосферных процессах начались в XX в. в результате научно-технической революции. Бурное развитие энергетики, транспорта, химической промышленности привело к тому, что деятельность человека постепенно стала фактором, изменяющим облик Земли. Результатом стало раз-



Рис. 96. Свалка бытового мусора

водящих к катастрофическим последствиям, совершаются человеком от непонимания природных процессов и явлений, а также их взаимосвязей. Примером может служить загрязнение окружающей среды и интенсивное, неумеренное использование природных ресурсов.



Очень серьезной стала проблема бытового мусора, который складывается на свалках (рис. 96) или сбрасывается в воды Мирового океана. Такие места утилизации отходов представляют опасность, поскольку вредные вещества, растворяясь в воде, загрязняют грунтовые воды и почву. В Тихом океане на сегодняшний день количество бытового мусора по площади в 2 раза превышает континентальную площадь США, а по массе — в 6 раз больше массы планктона.

Основоположник учения о биосфере В. И. Вернадский выделял еще один этап в развитии биосферы. Этот этап он связывал с переходом биосферы под влиянием разумной деятельности человека в новое состояние — ноосферу.

Ноосфера (сфера разума) — высшая стадия развития биосферы, при которой разумная деятельность человечества становится главной движущей силой ее развития.



Этапы эволюции биосферы характеризовались увеличением разнообразия живых форм и усложнением их организации. Живое вещество, зародившись в океане, распространилось по всей суше. Именно живые организмы позволили Земле приобрести ее уникальный облик и стать планетой жизни среди других планет Солнечной системы. Главными факторами эволюции биосферы на рассмотренных этапах являются процессы, связанные с функционированием живых организмов: синтез, разрушение, круговорот.

рушение природных экосистем (озер, болот, лугов), вымирание многих видов животных и растений, истощение полезных ископаемых. Кроме того, загрязнение окружающей среды радионуклидами, ядохимикатами, а также промышленными и бытовыми отходами приобрело в наши дни глобальный характер и поставило человечество на грань экологической катастрофы.

Сегодня масштабы влияния человеческой деятельности на эволюцию биосферы стали поистине гигантскими. Большинство действий, порой при-



1. Проанализируйте основные этапы эволюции биосферы. Какую роль на каждом из них играли зеленые растения? 2. Раскройте значение живого вещества биосферы на всех этапах ее эволюции. 3. Охарактеризуйте вклад человека в эволюцию биосферы. 4. Что подразумевал В. И. Вернадский под понятием «ноосфера»?

§ 49. Влияние хозяйственной деятельности человека на биосферу

С появлением и совершенствованием человека эволюция биосферы существенно изменилась. На заре своего возникновения человек оказывал преимущественно локальное воздействие на окружающую среду, что выражалось в удовлетворении минимальных потребностей в еде и жилище. Древние охотники при уменьшении численности промысловых животных переходили на другое место; древние земледельцы и скотоводы, если почва истощалась или кормов становилось меньше, осваивали новые земли. Небольшая численность населения планеты и практическое отсутствие производства позволяли природе утилизировать появляющиеся отходы и загрязнения за счет естественных процессов, связанных с деструктивной функцией живого вещества.

Рост населения планеты, успешное развитие животноводства, земледелия и научно-технический прогресс определили дальнейшее развитие человечества.



Сейчас на Земле проживает более 6 млрд человек, к 2030 г. это число вырастет до 10 млрд, а к 2050 г. — до 12,5 млрд человек. Обеспечение населения Земли продовольствием и энергетическими ресурсами уже сейчас является острой проблемой. Сегодня в странах, где существует постоянная нехватка продовольствия, проживает около 70 % населения планеты. Ввиду этого интенсивно эксплуатируются плодородные земли густонаселенных районов, что ежегодно приводит к уменьшению их площади почти на 2 %. Катастрофически быстро сокращаются невозобновляемые природные ресурсы. Например, по прогнозам ученых, человечество в течение ближайших 200 лет израсходует все запасы металлов.

Хозяйственная деятельность человека на современном этапе все чаще демонстрирует отрицательные примеры воздействия на биосферу. К ним относятся: загрязнение окружающей среды, истощение природных ресурсов, опустынивание земель, почвенная эрозия, нарушение природных сообществ, вырубка лесов, исчезновение редких видов растений и животных.

Загрязнение окружающей среды — поступление в среду новых, нехарактерных для нее твердых, жидких и газообразных веществ либо превышение их естественного уровня в окружающей среде, которое оказывает негативное влияние на биосферу.



Рис. 97. Сжигание топлива — главный источник загрязнения атмосферы



По статистическим данным, в результате хозяйственной деятельности человека в атмосферу ежегодно поступает около 30 млрд т оксидов углерода, 200 млн т оксидов серы, 70 млн т оксидов азота, 1,5 млн т фреонов (хладонов), а также соединения свинца, углеводороды (в том числе канцерогенные), большое количество твердых частиц (пыль, сажа и др.).

Оксиды углерода (CO и CO_2), поступающие в атмосферу в результате сгорания топлива, являются причиной возникновения парникового эффекта. Оксиды серы (SO_2 и SO_3), образующиеся в результате сгорания топлива, содержащего серу, взаимодействуют в атмосфере с водяными парами и являются причиной кислотных осадков. Конечными продуктами такой реакции являются растворы сернистой (H_2SO_3) и серной (H_2SO_4) кислот. Они выпадают на поверхность земли с осадками, вызывают подкисление почвы, приводят к заболеваниям человека. В наибольшей степени от кислотных осадков страдают лесные экосистемы, особенно хвойные: происходит разрушение хлорофилла, недоразвитие пыльцевых зерен, засыхание и опадение хвои.

Оксиды азота (NO и NO_2), подвергаясь действию ультрафиолетовых лучей, участвуют в формировании в атмосфере свободных радикалов. Оксиды азота приводят к развитию у человека и животных ряда патологических состояний, например раздражают дыхательные пути, вызывают отек легких и др.

В разрушение озонового слоя планеты значительный вклад вносят соединения хлора. Например, один свободный радикал хлора может разрушить до 100 тыс. молекул озона, что является причиной возникновения озоновых дыр в атмосфере.

Аварии на атомных электростанциях (например, на Чернобыльской атомной электростанции), испытания ядерного оружия, неправильная утилизация отходов

Загрязнение атмосферы.

Чистый воздух необходим для жизни всех живых существ. Во многих странах проблема сохранения его чистоты относится к государственным приоритетам. Главная причина загрязнения атмосферы состоит в сжигании топлива (рис. 97), поскольку ему по-прежнему принадлежит ведущая роль в обеспечении энергией всех отраслей экономики. На сегодняшний день растительность планеты уже не в состоянии ассимилировать продукты сгорания жидкого и твердого топлива.

атомной энергетики являются основными причинами *радиоактивного загрязнения* атмосферы. Попавшие в атмосферу радиоактивные частицы рассеиваются на большие расстояния, загрязняя почву, воздух, водоемы.

В качестве источника загрязнения атмосферы следует упомянуть и транспорт. Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания содержат оксиды углерода и азота, сажу, а также тяжелые металлы и соединения, обладающие канцерогенным действием.

Загрязнение гидросферы. Дефицит пресной воды — глобальная экологическая проблема. Наряду с расходом и нехваткой воды вызывает беспокойство растущее загрязнение гидросферы.

Основной причиной загрязнения водной среды является прямой сброс в водные экосистемы отходов промышленности и коммунальных сточных вод (рис. 98). В данном случае вместе с химическими веществами в водную среду поступают и биологические загрязнения (например, болезнетворные бактерии). Когда сбрасываются подогретые сточные воды, происходит физическое (тепловое) загрязнение гидросферы. Такие сбросы снижают количество кислорода в воде, увеличивают токсичность примесей и часто приводят к заморам (гибели водных организмов).

Загрязнение почвы. В связи с хозяйственной деятельностью человека в почву попадают химические вещества, которые нарушают почвообразовательные процессы и снижают плодородие. Загрязнение почв происходит при чрезмерном применении в сельском хозяйстве минеральных удобрений и пестицидов. Вместе с органическими удобрениями (навозом) в почву могут проникать биологические загрязнители: бактерии, яйца паразитических червей. Почва загрязняется также нефтепродуктами, радионуклидами, тяжелыми металлами и др.

Истощение природных ресурсов. *Природные ресурсы* — средства существования людей, которые не создаются их трудом, а находятся в природе. Основная проблема их современного состояния — сокращение количества исчерпаемых и ухудшение качества неисчерпаемых природных ресурсов. Особенно это касается *животных* и *растительных ресурсов*. Разрушение местообитаний, загрязнение окружающей среды, чрезмерное использование природных ресурсов, браконьерство ведут к сокращению видового разнообразия растительного и жи-

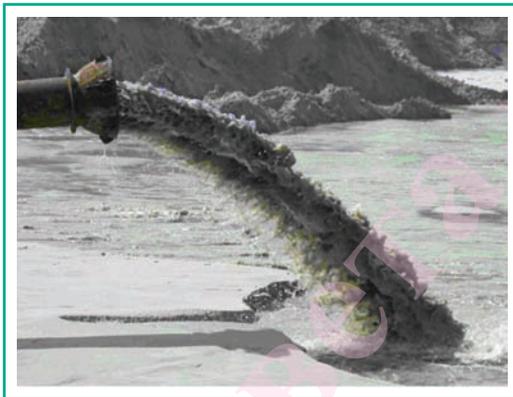


Рис. 98. Прямой сброс сточных вод — серьезная угроза для гидросферы

вотного мира. За время существования человечества вырублено и уничтожено около 70 % лесных угодий. Это стало причиной вымирания видов растений, обитавших в травянистых и кустарничковых ярусах. Они не смогли существовать в условиях прямого солнечного излучения. Вследствие вырубки лесов изменился и животный мир. Виды животных, имевшие тесные связи с древесными ярусами, либо исчезли, либо мигрировали в другие места.



Считается, что с 1600 г. в результате деятельности человека с лица Земли полностью исчезли около 250 видов животных и 1000 видов растений. Под угрозой уничтожения в настоящее время находятся около 1000 видов животных и 25 000 видов растений.

Животные и растительные ресурсы способны к постоянному восстановлению. Если скорость их использования не превышает темпы естественного возобновления, то эти ресурсы могут существовать очень долго. Однако скорость их возобновления различна. Популяции животных могут восстановить свою численность за несколько лет. Леса вырастают за несколько десятков лет. А почвы, утратившие плодородие, восстанавливают его очень медленно — в течение нескольких тысячелетий.

Очень важной ресурсной проблемой планеты является сохранение качества *пресной воды*. Как известно, общие запасы воды на планете неисчерпаемы. Однако на долю пресных вод приходится лишь около 3 % всей гидросферы. Причем только 1 % пресной воды пригоден для непосредственного употребления человеком без предварительной очистки. Примерно 1 млрд людей на Земле не имеют постоянного доступа к пресной питьевой воде. Поэтому человечество должно рассматривать пресную воду как исчерпаемый природный ресурс. Проблема пресной воды с каждым годом обостряется в связи с обмелением рек и озер в результате мелиоративных мероприятий, возрастанием расхода воды на нужды сельского хозяйства и промышленности, загрязнением вод производственными и бытовыми отходами.

Нехватка пресной воды и ее плохое качество сказываются и на здоровье людей. Известно, что наиболее опасные инфекционные заболевания (холера, дизентерия и др.) возникают в местах, где затруднен доступ к чистой воде.



Сегодняшнее потребление воды промышленностью и сельским хозяйством поистине огромно. Например, для производства одного современного легкового автомобиля требуется около 300 тыс. л пресной воды, а для однократного орошения 1 га посевов хлопка — около 5 тыс. л.

Опустынивание — совокупность процессов, которые приводят к утрате природным сообществом сплошного растительного покрова с невозможностью его восстановления без участия человека. Причинами опустынивания являются

преимущественно антропогенные факторы: вырубка лесов, нерациональное использование водных ресурсов при орошении земель и др. Например, чрезмерная вырубка древесной горной растительности становится причиной стихийных бедствий — селей, оползней, снежных лавин. Приводить к опустыниванию может и чрезмерная нагрузка на пастбища при увеличении масштабов животноводства. Растительный покров, выедаемый животными, не успевает восстановиться, и почва подвергается различным видам эрозии.

Эрозия почвы — разрушение плодородного слоя почвы под действием ветра и воды.

Эрозия почв происходит из-за массового включения человеком в активное землепользование все новых и новых земель.



В 50-е гг. XX в. в Казахстане началось сельскохозяйственное освоение целинных земель. Однако при этом не были в полной мере учтены природные условия степной зоны: возможность песчаных и пыльных бурь, сухие ветра и др. В итоге уже к началу 60-х гг. ветровой эрозией был уничтожен практически весь плодородный слой целинной почвы, что привело к опустыниванию земель.

В наибольшей степени опустынивание характерно для районов с засушливым климатом (пустыни, полупустыни) — стран Африки и Азии (особенно Китая).

Сегодня данная проблема носит межнациональный характер, поэтому ООН была принята Международная конвенция по борьбе с опустыниванием, которую подписали около 200 государств.



Основными последствиями хозяйственной деятельности человека стали загрязнение окружающей среды, истощение природных ресурсов и опустынивание земель. Масштабы деятельности человека в наши дни носят глобальный характер, и потенциальные возможности биосферы уже не в состоянии им противостоять. Предотвращение губительного влияния антропогенного фактора на биосферу является сегодня важной общечеловеческой задачей, в реализации которой должен участвовать каждый житель Земли.



1. Охарактеризуйте основные направления антропогенного воздействия, вызывающего загрязнение окружающей среды. **2.** Проанализируйте современное состояние природных ресурсов. Чем, на ваш взгляд, оно вызвано? **3.** Что является главными причинами, приводящими к деградации почвенного покрова и опустыниванию земель? **4.** Какие мероприятия по повышению плодородия почв проводятся в вашей местности? **5.** Какие виды антропогенного загрязнения окружающей среды наиболее характерны для вашей местности?

§ 50. Угроза экологических катастроф и их предупреждение

Масштабы нарушений (локальные, региональные, глобальные) биосферы. Воздействие человека на биосферу давно перестало быть локальным и является фактором, носящим региональный и даже глобальный характер. Принято считать, что с середины XX в. биосфера вошла в состояние глобального экологического кризиса, преодоление которого без участия разумной деятельности человека невозможно.

Экологический кризис — несоответствие растущих масштабов деятельности человека для удовлетворения своих жизненных потребностей восстановительным возможностям природы.

Локальные воздействия на природу сегодня можно отметить практически повсеместно. Это растущие свалки мусора вокруг крупных городов, сброс загрязненных сточных вод в водоемы, загрязнение сельскохозяйственных земель ядохимикатами и др. Отдельно стоит упомянуть загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами во время добычи и транспортировки, а также в результате аварийных ситуаций. Благодаря переносу загрязнений поверхностным стоком и воздушными массами масштабы антропогенного влияния стали носить глобальный характер.



В апреле 2010 г. вблизи берегов Майами (США) произошла крупнейшая авария на одной из нефтедобывающих вышек. В результате в непосредственной близости от береговой линии в океан вылилось более 10 млн т нефти, и образовалось огромное нефтяное пятно площадью более 10 тыс. км² (рис. 99). По мнению экологов, это грозит экологической катастрофой, последствия которой растянутся на многие годы. Погибнут уникальные виды рыб, обитающие в Мексиканском заливе, дельфины, морские птицы и черепахи.



Рис. 99. Последствия аварии в Мексиканском заливе

Многие страны давно столкнулись с антропогенной деградацией наземных экосистем. Человек, расширяя места своего обитания, вторгается в природные сообщества, уничтожая лесные экосистемы целых регионов. Например, сегодня под угрозой исчезновения находятся тропические леса Бразилии и стран, по территории которых протекает Амазонка. Вместе с ними может погибнуть или сильно пострадать все биологическое разнообразие фауны.



Примером отрицательного воздействия человека на природу является химическое и радиоактивное загрязнение бассейна Балтийского моря, что связано со стоком в его воды промышленных отходов девяти европейских стран. Эта проблема уже вышла за рамки региональной и привлекла внимание научной общественности всего мира. Сегодня реализуется немало как образовательных, так и технологических проектов по предотвращению дальнейшего загрязнения Балтийского моря, направленных на создание новых систем очистки сточных вод. Республика Беларусь является полноправным участником данных проектов, так как на ее территории протекает река Неман, входящая в бассейн Балтийского моря.

В последние десятилетия серьезной региональной проблемой стали радиоактивные вещества. Авария на Чернобыльской АЭС привела к загрязнению огромных территорий Украины, России и Беларуси. Опасность в этом плане представляют и испытания ядерного оружия на полигонах, а также радиоактивные отходы, захороненные в океанических глубинах. Как видно, имея региональное происхождение, проблемы радиоактивного загрязнения окружающей среды по своей значимости глобальны. Особенно это касается ядерного оружия, применение которого может привести к полному уничтожению жизни на Земле.



Радиоактивные вещества включаются в биологический круговорот веществ. По цепям питания они попадают в живые организмы и оказывают на них губительное воздействие. В этой связи очень опасным является стронций (^{90}Sr), который, замещая кальций в костях скелета, является источником облучения всего организма.

Антропогенные воздействия глобального масштаба на биосферу Земли проявляются, прежде всего, в виде химического загрязнения. Последствием загрязнения атмосферы фреонами стало разрушение защитного озонового экрана. Миллионы тонн углекислого газа ежеминутно поступают в атмосферу в результате сжигания угля и нефти, вызывая парниковый эффект. Перечисленные глобальные проблемы затрагивают все регионы планеты. Поэтому во избежание еще более глубоких экологических последствий необходимо объединение всей мировой общественности для их предотвращения.

Экологические катастрофы и их предупреждение. Развившийся в наши дни экологический кризис поставил под угрозу существование человека. Ученые счи-

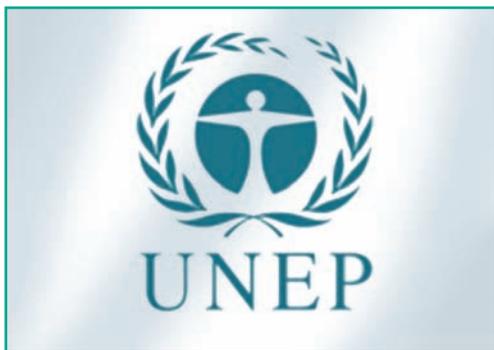


Рис. 100. Логотип ЮНЕП — Программы ООН по окружающей среде

XX в. В связи с этим была создана Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) (рис. 100). Членом данной Программы является и Беларусь наряду с еще 170 странами. Также были сформированы Всемирная комиссия ООН по окружающей среде, Центр срочной экологической помощи ООН и другие всемирные экологические организации, проводящие огромную работу в области охраны окружающей среды. Организацией Объединенных Наций были выделены три глобальные экологические проблемы, решение которых видится первоочередным в предотвращении развития экологической катастрофы мирового масштаба. Это изменение климата, опустынивание и деградация земель, а также утрата биологического разнообразия. Под эгидой ООН по трем перечисленным направлениям были приняты международные конвенции, подписанные практически всеми странами мира.



В рамках Конвенции ООН об изменении климата с целью предотвращения развития парникового эффекта более 180 стран подписали так называемый «Киотский протокол». Он стал первым глобальным соглашением об охране окружающей среды, регулирующим выбросы в атмосферу парниковых газов (прежде всего, углекислого газа).

Только баланс между потребностями человека и возможностями окружающей среды, а также экологическое осознание человеком природы смогут обеспечить дальнейшее устойчивое развитие нашей цивилизации.

Концепция устойчивого развития впервые была провозглашена ООН в 1992 г. как идея преодоления глобального экологического кризиса. Она подразумевает такое развитие цивилизации, при котором деятельность человека будет максимально согласована с законами природы. В новом обществе главным измерением человеческого богатства должны стать духовные ценности и знания

человека, живущего в гармонии с природой. Все более важными будут не материальные блага, а естественные вещи: чистый воздух и вода, здоровье самих людей и природы.

Ведущая предпосылка устойчивого развития, которая является главной составляющей всей Концепции, — это всеобщая ответственность. Всеобщая ответственность складывается из чувства личной ответственности каждого человека за свое место на планете и за последствия своей деятельности не только в том месте, где он живет, но и в глобальном масштабе.

Необходимо понимать, что устойчивое развитие — это творческий процесс достижения гармонии во всех сферах развития взаимоотношений человека и природы, реализация которого должна начинаться уже со школьной скамьи.



В настоящее время биосфера находится в состоянии глобального экологического кризиса. Основными его составляющими являются: кризис природных ресурсов, различные природные катаклизмы, загрязнение окружающей среды с последствиями, опасными для здоровья человека и живых организмов планеты. Только баланс между потребностями людей и возможностями природы, а также чувство личной ответственности каждого человека за состояние окружающей среды обеспечат устойчивое развитие нашей цивилизации.



1. Проанализируйте, в чем состоят причины современного экологического кризиса. 2. Какие последствия человеческой деятельности являются наиболее опасными в развитии экологических катастроф? 3. Раскройте суть Концепции устойчивого развития. Какие экологические проблемы должна решить данная Концепция?

§ 51. Заповедное дело и охрана природы

Охрана природы — совокупность международных, государственных и региональных мероприятий для сохранения, рационального использования и воспроизводства природы Земли в интересах ныне живущего и будущих поколений людей. Основной задачей природоохранной деятельности является сохранение видового разнообразия и генофонда флоры и фауны планеты. Кроме того, очень важно сохранить почвенный покров Земли от деградации и опустынивания и атмосферный воздух — от загрязнения.

Основу биологического разнообразия Республики Беларусь составляют 11,5 тыс. видов растений и более 30 тыс. видов животных. Из них на долю высших растений приходится около 2 тыс. видов, а на долю позвоночных животных



Рис. 101. Белые и черные аисты — символ и гордость Беларуси

около 450 видов. Из позвоночных животных наибольшим видовым разнообразием отличаются птицы — свыше 300 видов (рис. 101).

Под влиянием деятельности человека за последние восемь столетий с территории Беларуси исчезло около 250 видов животных. Среди них: дикий бык тур, дронт, дикая лошадь тарпан, которые являются полностью вымершими на планете (рис. 102). За этот же период флора Беларуси потеряла около 50 видов высших растений.

Наличие в нашей стране целого ряда значительных по территории и уникальных по набору экологических факторов биотопов определяет значение Беларуси в сохранении биоразнообразия Европы в целом. Это и обводненные поймы рек, и системы низинных и верховых болот, и пойменные дубравы с березняками.



Дикий бык тур

Дронт

Дикая лошадь тарпан

Рис. 102. Вымершие животные



В настоящее время в Беларуси гнездится до 60 % мировой популяции вертлявой камышовки, около 50 % популяций малого подорлика и погонюша, обитающих на территории Европы. Водные экосистемы нашей страны играют важную роль в период миграций водно-болотных птиц. Например, в пойме Припяти во время весенних миграций останавливается на кормежку более 80 тыс. особей разных видов гусей и уток.

Заповедное дело в Беларуси берет начало 30 января 1925 г. Этой датой ознаменовано появление первого в стране Березинского заповедника, цель создания которого заключалась в охране и размножении ценных видов диких животных, в частности речных бобров. По состоянию на начало 2010 г. общая площадь особо охраняемых природных территорий в Беларуси составляла 1574,1 тыс. га, или около 8 % всей площади нашей страны.

Охраняемые природные территории и объекты. В настоящее время охраняемыми природными территориями являются заповедники, национальные парки, заказники, резерваты, а охраняемыми природными объектами — памятники природы.

Заповедники — особо охраняемые государством территории, полностью исключенные из хозяйственной деятельности человека.

Целью создания заповедников является сохранение в нетронутом виде определенных природных сообществ, охрана видов растений, животных и слежение за природными процессами и явлениями.



Заповедные территории, которые являются эталонами биосферы, принято называть биосферными заповедниками. На уровне биосферных заповедников организуется глобальная система мониторинга (наблюдений) окружающей среды.

Березинский биосферный заповедник — уникальный природный комплекс (рис. 103), так как ни в одной европейской стране на небольшой и огра-



Рис. 103. Березинский биосферный заповедник — старейший в Беларуси

ниченной территории нет таких обширных и разнообразных по растительности болотных экосистем. В Березинском заповеднике произрастает более 2 тыс. видов растений и обитает более 3,5 тыс. видов животных, из них около 200 видов занесены в Красную книгу Республики Беларусь. Очень важна роль заповедника в сохранении белорусской популяции бурого медведя. Здесь обитает около тридцати особей этого редкого вида животных. Вдоль русла Березины располагаются крупнейшие в Европе и уникальные для севера Беларуси широколиственные леса из дуба, ясеня, клена, черной ольхи.

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник расположен на территории, наиболее пострадавшей от аварии на Чернобыльской АЭС. Он был создан в 1988 г. с целью наблюдений за радиобиологическими и экологическими последствиями аварии. Уникальность этого заповедника состоит в том, что в условиях минимального вмешательства человека имеется возможность наблюдать развитие дикой природы в условиях радиоактивного загрязнения.

Национальные парки — обширные охраняемые участки территории, на которых расположены природные комплексы, представляющие историческую, экологическую и культурную ценность.

В национальных парках выделяют участки с заповедным режимом и участки с характером заказника, где допускается присутствие человека. Это туристические маршруты и рекреационные (используемые для оздоровления и отдыха) территории. Первый в мире национальный парк — Йеллоустонский — был создан в США в 1872 г. Его площадь около 1 млн га. В Республике Беларусь в настоящее время действуют 4 национальных парка.

Национальный парк Беловежская пуца является уникальным природным

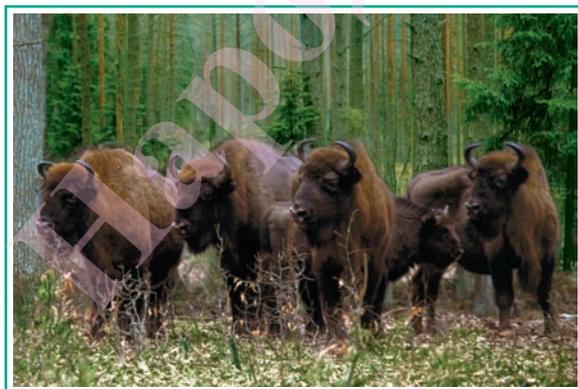


Рис. 104. Зубры — гордость и величие Беловежской пуцы

комплексом Беларуси. Беловежская пуца — одна из старейших охраняемых территорий в мире. В 2009 г. ей исполнилось 600 лет. Беловежская пуца — крупнейший массив древних лесов Европы. Их средний возраст более 100 лет, а некоторых участков доходит до 250—350 лет. По числу видов растений и животных Беловежская пуца не имеет себе равных в Европе. Гордостью пуцы являются зубры (рис. 104). Здесь обитает самая

большая в мире популяция этих животных. Флора и фауна Беловежской пуши представлены большим количеством редких видов растений и животных, занесенных в Красную книгу Республики Беларусь. В 1992 г. решением ЮНЕСКО Национальный парк Беловежская пуши был включен в Список мирового наследия человечества.

Национальный парк Браславские озера — яркое свидетельство того, почему нашу страну называют «синеокой». Здесь на сравнительно небольшой территории находится более 30 озер (рис. 105). В парке обитают около 200 видов птиц, в том числе редкие виды: черный аист, серый журавль, сизая чайка, белая куропатка и др. Для Браславских озер характерно большое разнообразие видов рыб.

Национальный парк Припятский славится богатым видовым разнообразием орнитофауны (птиц), что позволило ему получить международный статус ключевой орнитологической территории (рис. 106). В парке гнездятся находящиеся под глобальной угрозой исчезновения (европейский статус охраны) большой подорлик и коростель, а также редкая для Беларуси большая белая цапля и др.

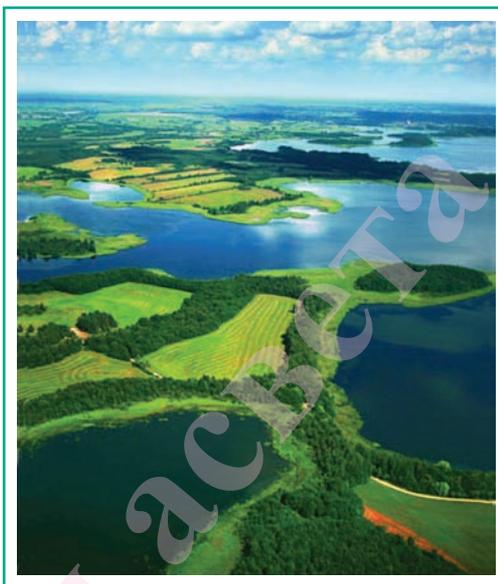


Рис. 105. Национальный парк Браславские озера



Рис. 106. Ландшафты Национального парка Припятский

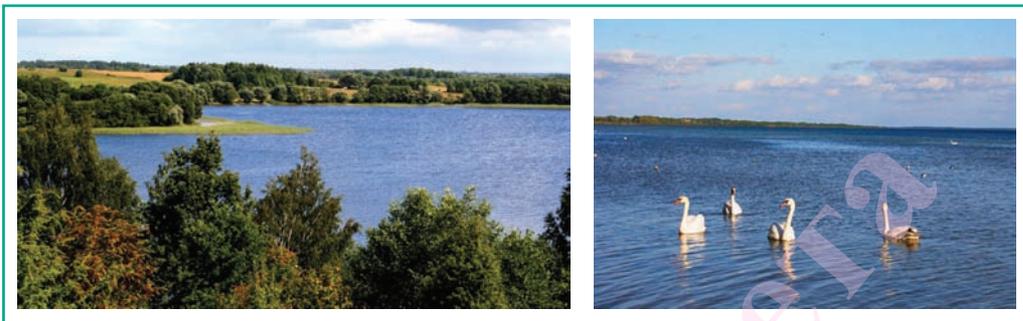


Рис. 107. Национальный парк Нарочанский

Национальный парк Нарочанский был создан в 1998 г. с целью сохранения природных комплексов и более полного и эффективного использования рекреационных ресурсов озера Нарочь (рис. 107) и прилегающих к нему лесов и лугов. На территории национального парка постоянно обитает около 50 видов млекопитающих и гнездится около 180 видов птиц.

Заказники — участки охраняемой природной территории, на которой постоянно или временно запрещены отдельные виды хозяйственной деятельности человека (рыболовство, охота, сенокос). Под охраной в заказниках находится не весь природный комплекс, а только некоторые его элементы. Например, отдельные виды растений, животных, исторические или геологические объекты. По состоянию на начало 2010 г. на территории Республики Беларусь действовало 87 заказников республиканского и более 450 заказников местного значения.



Среди заказников республиканского значения особо выделяется *Свитязянский ландшафтный заказник*. Его жемчужиной является кристально чистое озеро Свитязь, воспетое еще Адамом Мицкевичем в балладе про исчезнувший город. Это древнее озеро, его возраст более 10 тыс. лет. Площадь озера Свитязь 170 га, и его окружают изумительной красоты лесные массивы. Озеру Свитязь присвоен статус памятника природы республиканского значения.

Резерваты — небольшие природные территории, созданные для охраны одного из элементов природного комплекса. Примерами резерватов могут быть озера, участки речных долин, побережий.

Памятники природы — отдельные охраняемые природные объекты живой и неживой природы, уникальные в научном, культурном, историко-мемориальном и эстетическом отношении. В Беларуси насчитывается более 900 памятников природы.

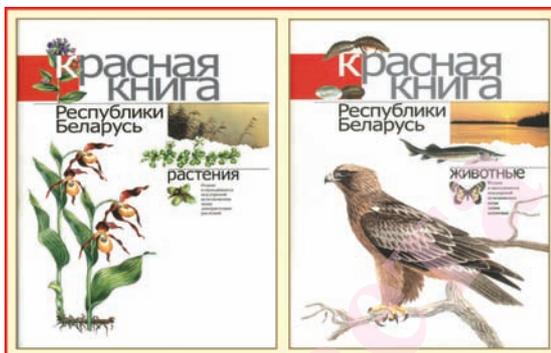


Например, статус ботанических памятников природы носят Центральный ботанический сад Национальной академии наук Республики Беларусь в г. Минске, Мирский парк в Гродненской области, а также отдельные редкие, причудливой формы растения или деревья-великаны. Геологическими памятниками природы являются вековые валуны, встречающиеся в различных реги-

Рис. 108. Красная книга
Республики Беларусь

онах страны: валун «Князь-камень» в Борисовском районе Минской области, «Камень-богатирь» в Дятловском районе Гродненской области и др.

Красная книга — уникальный список редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений, грибов, лишайников и протистов.



История Красных книг мира началась в Париже в 1902 г., когда ряд стран подписали первую в своем роде Красную книгу — Международную конвенцию по охране птиц. Основной целью этой конвенции было создание мирового списка видов, которым грозит исчезновение. Для того чтобы подчеркнуть особую значимость этого списка, было предложено назвать его Красной книгой, поскольку красный цвет — сигнал опасности. Большую работу по составлению международной Красной книги проводит Международный союз охраны природы (МСОП). Благодаря усилиям МСОП в 1963 г. появилось первое издание международной Красной книги, которое представляло собой сводку о 211 таксонах млекопитающих и 312 таксонах птиц. В последнем издании этой книги упоминаются 47 677 видов флоры и фауны. Треть из них находятся на грани исчезновения.

Одной из мер охраны природы в Беларуси является создание *Красной книги Республики Беларусь* (рис. 108). Основная ее задача состоит в привлечении внимания общественности к видам живых организмов, которые подвергаются наибольшему риску исчезновения. Красная книга Республики Беларусь содержит информацию о биологии редких и исчезающих видов, местах их распространения на территории страны и перечень мероприятий по их охране.



В третьем издании Красной книги Республики Беларусь включено 189 видов животных, 173 — сосудистых растений, 27 — мхов, 21 — водорослей, 24 — лишайников и 29 видов грибов. Важным мероприятием в деле экологического воспитания является создание так называемых *красных тетрадей* — охранных документов местного значения, составляемых в школах юными экологами.



Основные направления природоохранной деятельности в Республике Беларусь реализуются через развитие системы особо охраняемых территорий (заповедников, заказников, национальных парков и др.), создание Красной книги, экологическое образование и воспитание подрастающего поколения. В Республике Беларусь в настоящее время действуют 2 заповедника, 4 национальных парка, 87 заказников республиканского и более 450 заказников местного значения.



1. Охарактеризуйте основные виды природоохранной деятельности. 2. Какой из видов природоохранной деятельности, на ваш взгляд, является наиболее действенным? 3. Проанализируйте, какой вклад в охрану природы могут и должны вносить учащиеся школ. 4. Составьте красную тетрадь той местности, где вы живете. Включите в нее охраняемые (занесенные в Красную книгу Республики Беларусь) и редкие для вашего региона виды.

§ 52. Рациональное природопользование

Понятие рационального природопользования. *Рациональное природопользование* — тип взаимоотношений человека с окружающей средой, при котором он способен разумно осваивать природные ресурсы и предупреждать негативные последствия своей деятельности. Примером рационального природопользования является создание культурных ландшафтов, применение малоотходных и безотходных технологий. К рациональному природопользованию также относят внедрение биологических методов борьбы с вредителями сельского хозяйства, создание экологически чистых видов топлива, совершенствование технологий добычи и транспортировки природного сырья и др.



В нашей стране осуществление рационального природопользования контролируется на государственном уровне. С этой целью принят ряд природоохранных законов. Среди них законы «Об охране и использовании животного мира», «Об отходах производства и потребления», «Об охране атмосферного воздуха». Государством реализуется целый ряд программ по рациональному использованию природных ресурсов с учетом возможностей окружающей среды. К ним относятся программы по развитию сети особо охраняемых природных территорий, ресурсосбережению, питьевой воде, здоровью населения и др.

Создание малоотходных и безотходных технологий. *Малоотходные технологии* — производственные процессы, которые обеспечивают максимально полное использование перерабатываемого сырья и образующихся отходов. При этом в окружающую среду возвращаются вещества в относительно безвредных количествах.



Частью глобальной проблемы утилизации твердых бытовых отходов является проблема переработки вторичного полимерного сырья (особенно пластиковых бутылок). В Беларуси их ежемесячно выбрасывается порядка 20—30 млн штук. На сегодняшний день белорусскими учеными разработана и применяется собственная технология, позволяющая перерабатывать пластиковые бутылки в волокнистые материалы. Они служат фильтрами для очистки загрязненных сточных вод от горюче-смазочных материалов, а также находят широкое применение на автозаправочных станциях. Такие фильтры, изготовленные из вторичного сырья, по своим физико-химическим показателям не уступают аналогам, сделанным из первичных полимеров, а их стоимость в несколько раз ниже. Кроме того, из полученного волокна изготавливают щетки уборочных машин и машинных моек, упаковочную ленту, пленку, черепицу, тротуарную плитку и др.

Разработка и внедрение малоотходных технологий диктуется интересами природоохранной деятельности и является шагом к разработке безотходных технологий. **Безотходные технологии** подразумевают полный переход производства к замкнутому ресурсному циклу без какого-либо воздействия на окружающую среду.



Начиная с 2008 г. в животноводческих и птицеводческих комплексах Беларуси функционируют биогазовые установки. Например, на племенном птицеводческом заводе «Белорусский» (Минский район) биогазовая установка позволяет перерабатывать органические отходы (навоз, помет птиц, бытовые отходы и т. д.) и получать из них газообразное топливо — биогаз. Кроме биогаза, из отходов производства здесь получают и экологически чистые органические удобрения, лишённые патогенной микрофлоры, семян сорняков, нитритов и нитратов.

Другим примером безотходной технологии может быть производство сыров на большинстве молочных предприятий Беларуси. В данном случае получаемая от производства сыра обезжиренная и лишённая белков сыворотка полностью используется как сырьё для хлебопекарной промышленности.

Внедрение малоотходных и безотходных технологий предполагает также переход к использованию нетрадиционных, экологически чистых источников энергии, неисчерпаемых природных ресурсов.



Для экономики нашей республики использование ветра — силы движения воздуха — как альтернативного источника энергии особенно актуально. На территории Новогрудского района Гродненской области уже работают несколько ветряных двигателей. А в ближайшее время в Дзержинском районе Минской области появится первый в республике ветропарк (рис. 109). Ветропарк планируется ввести в эксплуатацию к 2015 г.

В 2010 г. на тепличном комбинате «Берестье» (г. Брест) впервые в Беларуси введена в эксплуатацию геотермальная станция. Белорусские ученые подсчитали, что благодаря извлечению из недр земли теплой воды экономия природного газа составит около 1 млн м³ в год. Очень важен и экологический аспект данного энергетического ресурса. Геотермальные станции в процессе работы не выбрасывают в атмосферу углекислый газ, оксиды серы и сажу.

Пути экологизации сельского хозяйства и транспорта. Принципы рационального природопользования помимо промышленности реализуются и в других сферах хозяйственной деятельности человека. Так, в современном сельском хозяйстве крайне важным



Рис. 109. Ветропарк — пример использования нетрадиционного энергетического ресурса

является внедрение биологических методов борьбы с вредителями культурных растений взамен химических средств — пестицидов. Например, божья коровка является хорошей биологической защитой от тлей и их личинок для древесных и травянистых растений. Численность гусениц некоторых видов вредителей можно контролировать при помощи паразитических перепончатокрылых (наездников), которые откладывают в них оплодотворенные яйца. Например, трихограмму в Беларуси применяют для борьбы с яблонной плодовой жоржкой и капустной совкой. Жужелицы красотелы, питаясь гусеницами пядениц и шелкопрядов, являются защитниками леса.

Разработка экологически чистых видов топлива для транспорта не менее важна, чем создание новых автомобильных технологий. Сегодня известно немало примеров, когда в качестве топлива в транспортных средствах используется спирт и водород. К сожалению, массового распространения данные виды топлива пока не получили из-за низкой экономической эффективности их использования. В то же время все шире стали использоваться так называемые «гибридные автомобили». Они имеют наряду с двигателем внутреннего сгорания еще и электродвигатель, который предназначен для передвижения в пределах городов.

В настоящее время в Беларуси работают три предприятия, выпускающие биодизельное топливо для двигателей внутреннего сгорания. Это ОАО «Гродноазот» (г. Гродно), ОАО «Могилевхимволокно» (г. Могилев), ОАО «Белшина» (г. Бобруйск). Белорусское биодизельное топливо представляет собой смесь нефтяного дизельного топлива и биокомпонента на основе рапсового масла и метанола в соотношении 95 % и 5 % соответственно. Данное топливо позволяет сократить выбросы углекислого газа в атмосферу по сравнению с обычным дизельным топливом. Кроме того, по расчетам ученых, нынешние масштабы производства биодизельного топлива позволили нашей стране сократить закупку нефти на 300 тыс. т в год.

Известно также использование солнечных батарей в качестве источника энергии для транспорта. Так, в июле 2010 г. швейцарский пилотируемый самолет впервые в мире провел в воздухе 24 ч и достиг высоты около 8,5 км, используя во время полета исключительно солнечную энергию.

Сохранение генофонда. Виды живых организмов планеты уникальны. В них сохраняется информация обо всех этапах эволюции биосферы, что имеет как практическое, так и большое познавательное значение. В природе нет бесполезных или вредных видов, все они необходимы для устойчивого развития биосферы. Любой исчезнувший вид никогда больше не появится на Земле. Поэтому в

условиях повышенного антропогенного воздействия на окружающую среду крайне важно сохранить генофонд существующих на планете видов. В Республике Беларусь для этой цели разработана следующая система мероприятий:

- создание природоохранных территорий — заповедников, национальных парков, заказников и т. д.;
- разработка системы наблюдения за состоянием окружающей среды — экологического мониторинга;
- разработка и принятие природоохранных законов, предусматривающих различные формы ответственности за негативное воздействие на окружающую среду (загрязнение биосферы, нарушение режима заповедных территорий, браконьерство, негуманное обращение с животными и др.);
- разведение редких и находящихся на грани исчезновения растений и животных и переселение их на охраняемые территории или новые благоприятные места обитания;
- создание генетического банка данных — хранилищ семян растений, половых и соматических клеток животных и растений, спор грибов, способных к воспроизведению в будущем. Это особенно важно в отношении ценных для человека сортов растений и пород животных или находящихся под угрозой исчезновения видов;
- проведение регулярной работы по экологическому образованию и воспитанию всего населения, и в особенности подрастающего поколения.



Рациональное природопользование — тип взаимоотношений человека с окружающей средой, при котором человек способен разумно осваивать природные ресурсы и предупреждать негативные последствия своей деятельности. Примером рационального природопользования является использование малоотходных и безотходных технологий в промышленности, а также экологизация всех сфер хозяйственной деятельности человека.



1. Объясните понятие «рациональное природопользование». **2.** Раскройте суть малоотходных и безотходных технологий. Приведите примеры их применения в вашем регионе. **3.** В чем, на ваш взгляд, заключается смысл фразы «Транспортная система может быть экологически чистой лишь в той мере, в какой чисты ее источники энергии»? Ответ поясните на конкретных примерах. **4.** Охарактеризуйте направления работ, проводимых в нашей стране для сохранения биоразнообразия и генофонда живой природы.



Словарь основных терминов и понятий

Абиотические факторы (от греч. *a* — отрицание, *biōtícos* — живой, жизненный) — элементы неживой природы, которые прямо или косвенно влияют на организм и вызывают у него ответную реакцию.

Агроэкосистемы (от греч. *agrós* — поле и *экосистема*) — искусственные экосистемы, созданные и используемые человеком для получения сельскохозяйственной продукции или отдыха.

Адаптация (от лат. *adaptatio* — прилаживание, приспособление) — признак или комплекс признаков, обеспечивающих выживание и размножение организмов в конкретной среде обитания.

Аллогенез (от греч. *állos* — другой, иной, *génesis* — происхождение, возникновение) — путь развития частных адаптаций, не изменяющих уровень организации особей и позволяющих им более полно заселить прежнюю среду обитания.

Аналогичные (от греч. *analogia* — соответствие, сходство) **органы** — органы, имеющие разное происхождение и неодинаковый план строения, но выполняющие одинаковые функции и обладающие внешним сходством.

Антиобщественное поведение — поступок или система поступков личности (группы людей), нарушающих официально установленные в обществе правовые нормы.

Антропогенные факторы (от греч. *ánthrōpos* — человек, *génesis* — происхождение) — разнообразные виды деятельности человека, влияющие как на сами организмы, так и на их местообитания.

Ареал (от лат. *area* — площадь, пространство) — часть земной поверхности, в пределах которой распространены и проходят полный цикл развития особи данного вида.

Арогенез (от греч. *áirō* — поднимаю, *génesis* — происхождение, возникновение) — эволюционный путь развития адаптаций широкого значения, повышающих уровень организации особей и позволяющих им расширить среду обитания или перейти в новую среду.

Атавизмы (от лат. *atavus* — предок) — признаки отдаленных предков, появляющиеся у некоторых современных организмов как отклонение от нормы.

Аэрация (от греч. *aér* — воздух) — обеспечение (насыщение) среды воздухом.

Аэренхима (от греч. *aér* — воздух, *énchyma* — ткань) — ткань, запасаящая воздух в больших межклетниках у водных и болотных растений.

Бактериофаги — группа вирусов, которые поражают бактериальные клетки.

Бентос (от греч. *bénthos* — глубина) — организмы, обитающие на дне водоема или в толще донного грунта.

Биогеоценоз (от греч. *bios* — жизнь, *gé* — Земля, *koinós* — общий) — исторически сложившаяся совокупность живых (биоценоз) и неживых (биотоп) компонентов однородного участка суши, где происходит круговорот веществ и превращение энергии.

Биологическая система (биосистема) — биологический объект, состоящий из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов и обладающий свойствами целостности, относительной устойчивости, а также способностью к развитию, самовоспроизведению и адаптации к внешней среде.

Биологическая эволюция — поступательный направленный исторический процесс изменения живых организмов и их сообществ, приводящий к более высокой ступени их развития.

Биологический прогресс (от лат. *progressus* — движение вперед) — направление эволюции, характеризующееся повышением приспособленности организмов определенной систематической группы к окружающей среде.

Биологический регресс (от лат. *regressus* — возвращение, движение назад) — направление эволюции, характеризующееся снижением приспособленности организмов определенной систематической группы к условиям обитания.

Биомасса экосистемы — общее количество органического вещества всех живых организмов, накопившегося в данной экосистеме за предыдущий период ее существования.

Биосфера (от греч. *bios* — жизнь, *spháira* — шар) — оболочка Земли, созданная и заселенная живыми организмами.

Биотические факторы (от греч. *biōtícos* — живой, жизненный) — элементы живой природы (живые организмы), влияющие на определенный организм и вызывающие у него ответную реакцию.

Биотоп (от греч. *bios* — жизнь, *tópos* — место) — участок территории с однородными условиями среды.

Биоценоз (от греч. *bios* — жизнь, *koinós* — общий) — исторически сложившаяся совокупность взаимосвязанных популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов, населяющих экологически однородную среду обитания.

Борьба за существование — совокупность многообразных и сложных взаимодействий организмов между собой и с окружающими их условиями внешней среды.

Вид — исторически сложившаяся совокупность популяций, особи которых сходны по морфологическим, физиологическим и биохимическим признакам, сво-

бодно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определенным условиям среды и занимают в природе общую территорию — ареал.

Видовая насыщенность — количество видов, приходящихся на единицу площади или единицу объема биотопа.

Видовое богатство — общее количество видов, обитающих в определенном биотопе.

Видообразование — эволюционный процесс превращения генетически открытых систем — популяций в генетически закрытые системы — новые виды.

Вирион — полностью сформированная вирусная частица, способная к инфицированию клетки-хозяина.

Вироид — инфекционный агент, представляющий собой низкомолекулярную кольцевую одноцепочечную молекулу РНК, не кодирующую собственные белки.

Вторичная продукция — биомасса, созданная гетеротрофными организмами (консументами и редуцентами) из органического вещества после его частичного расщепления.

Гигрофиты (от греч. *hygrós* — влажный, *phytón* — растение) — растения, живущие на обильно увлажненных почвах и при высокой влажности воздуха.

Гидробионты (от греч. *hýdōr* — вода) — организмы, обитающие в водной среде.

Гидросфера (от греч. *hýdōr* — вода, *spháira* — шар) — водная среда жизни.

Гидрофиты (от греч. *hýdōr* — вода, *phytón* — растение) — растения, обитающие в водной среде.

Гомеостаз (от греч. *hómoios* — подобный, одинаковый, *stasis* — неподвижность, состояние) — способность популяции поддерживать устойчивое динамическое равновесие в изменяющихся условиях среды.

Гомойотермные (от греч. *hómoios* — одинаковый, сходный, *thérmē* — тепло) **организмы** — организмы, способные поддерживать относительно постоянную температуру тела при изменении температуры окружающей среды.

Гомологичные (от греч. *homologia* — соответствие) **органы** — органы, имеющие единое происхождение, общий план строения, но выполняющие разные функции и утратившие внешнее сходство.

Детрит (от лат. *detritus* — истертый) — мертвое органическое вещество (отмершие остатки растений и грибов, трупы и экскременты животных с содержащимися в них бактериями).

Детритные цепи питания — пищевые цепи, которые начинаются с детрита, включают редуцентов разных порядков и заканчиваются минеральными веществами.

Дивергенция (от лат. *divergo* — отклоняюсь, отхожу) — расхождение признаков (фенотипов) у родственных организмов или их групп, обитающих в разных экологических условиях.

Дрейф генов — резкое и случайное изменение концентрации генов в генофонде популяции.

Емкость среды — максимальная численность популяции, определяемая возможностью среды обеспечить ее необходимыми ресурсами для существования.

Естественный отбор (по Дарвину) — процесс выживания и размножения наиболее приспособленных к условиям обитания особей и гибель менее приспособленных.

Естественный отбор (по синтетической теории эволюции) — направленный исторический процесс дифференциации (избирательного сохранения) фенотипов и воспроизведения адаптивных генотипов в популяциях.

Живое вещество — совокупность всех живых организмов на Земле с их способностью к размножению и распространению на планете, к борьбе за пищу, воду, территорию, воздух.

Загрязнение окружающей среды — поступление в среду новых, нехарактерных для нее твердых, жидких и газообразных веществ либо превышение их естественного уровня в окружающей среде, которое оказывает негативное влияние на биосферу.

Заказник — участок охраняемой природной территории, на которой постоянно или временно запрещены отдельные виды хозяйственной деятельности человека (рыболовство, охота, сенокос).

Заповедник — особо охраняемая государством территория, полностью исключенная из хозяйственной деятельности человека.

Зона нормальной жизнедеятельности, или зона нормы, — диапазоны силы воздействия фактора (их два), в пределах которых наблюдается умеренный рост и развитие организма, но его размножение затруднено либо невозможно.

Зона оптимума (от лат. *optimus* — наилучший) — диапазон силы воздействия фактора, в пределах которого организм проявляет максимальную жизнедеятельность, наблюдается его активный рост, развитие и размножение.

Зона пессимума (от лат. *pessimum* — причинять вред), или **зона угнетения**, — диапазоны силы воздействия фактора (их два), в пределах которых жизнедеятельность организма настолько снижена, что невозможны его рост и развитие, но сохраняется возможность для существования.

Зооценоз (от греч. *zōon* — животное, *koinós* — общий) — совокупность популяций животных, населяющих определенный биотоп.

Изоляция — наличие барьеров различной природы, препятствующих обмену генами между популяциями в результате свободного скрещивания особей (панмиксии).

Искусственный отбор — процесс выбора человеком наиболее ценных в хозяйственном отношении животных и растений и использование их для дальнейшего разведения.

Кагагенез (от греч. *kata-* — приставка, обозначающая движение сверху вниз, *gēnesis* — происхождение, возникновение) — путь развития адаптаций, снижающих уровень организации особей и позволяющих им заселить более простую среду обитания.

Классификация организмов — условное распределение всей совокупности живых существ по иерархическим соподчиненным группам в соответствии с какими-либо общими признаками.

Климат — совокупность многолетних, относительно постоянных погодных условий для данной местности.

Комменсализм — (от лат. *commensalis* — сотрапезник) — тип взаимоотношений, при котором популяция одного вида извлекает пользу, не принося ни вреда, ни пользы популяции другого вида.

Конвергенция (от лат. *convergo* — приближаюсь, схожусь) — независимое развитие сходных признаков (схождение признаков) у неродственных организмов или их групп, обитающих в одинаковой среде.

Конкуренция (от лат. *concurrentia* — соперничество) — взаимоневыгодный тип взаимоотношений между видами со сходными потребностями.

Консументы (от лат. *consumo* — потребляю), или **потребители**, — гетеротрофные организмы, потребляющие живое органическое вещество и передающие содержащуюся в нем энергию по пищевым цепям.

Космополиты (от греч. *cosmopolitēs* — гражданин мира) — виды, имеющие обширный ареал распространения в пределах разных континентов.

Критерий вида — совокупность характерных однотипных признаков, по которым схожи особи одного вида, а особи разных видов различаются.

Круговорот веществ — циклический, многократно повторяющийся процесс совместного, взаимосвязанного превращения и перемещения веществ.

Ксерофиты (от греч. *xērós* — сухой, *phytón* — растение) — растения, приспособившиеся к жизни в засушливых местах (степях, пустынях, полупустынях, саваннах, высокогорьях).

Лимитирующий (ограничивающий) фактор — фактор, наиболее отклонившийся от своего оптимального значения по сравнению с другими факторами и определяющий уровень жизнедеятельности организма в данной среде.

Мезофиты (от греч. *mésos* — средний, промежуточный, *phytón* — растение) — растения, обитающие в условиях умеренного увлажнения.

Методический отбор — целенаправленное выведение человеком пород животных или сортов растений.

Микоценоз (от греч. *mýkēs* — гриб, *koinós* — общий) — сообщество различных видов грибов.

Микробоценоз (от греч. *micrós* — малый, *koinós* — общий) — совокупность бактерий и протистов.

Мутуализм (от лат. *mutuus* — взаимный) — взаимовыгодный и обязательный для жизни хотя бы одной из популяций тип взаимоотношений.

Наследственность — свойство организмов передавать потомкам свои признаки и свойства.

Научение — приспособительное изменение поведения в результате предшествующего опыта, за счет чего достигается индивидуальное приспособление живых организмов к среде обитания.

Национальный парк — обширный охраняемый участок территории, на котором расположены природные комплексы, представляющие историческую, экологическую и культурную ценность.

Нейстон (от греч. *neustós* — плавающий) — организмы, связанные с поверхностной пленкой воды и обитающие постоянно или временно на этой пленке или до 5 см вглубь от ее поверхности.

Нектон (от греч. *nektós* — плывущий) — организмы, обитающие в толще воды и ведущие активный образ жизни.

Неопределенная (индивидуальная) изменчивость — появление у отдельно взятой особи в пределах одного сорта, породы, вида нового признака, который не встречался у родителей.

Ноосфера (сфера разума) — высшая стадия развития биосферы, при которой разумная деятельность человечества становится главной движущей силой ее развития.

Окружающая среда — совокупность всех природных тел, сил и явлений на планете Земля, в которой существует жизнь.

Определенная (групповая) изменчивость — появление одинаковых признаков у всех особей и их потомства под действием изменившегося фактора среды.

Опустынивание — совокупность процессов, которые приводят к утрате природным сообществом сплошного растительного покрова с невозможностью его восстановления без участия человека.

Охрана природы — совокупность международных, государственных и региональных мероприятий для сохранения, рационального использования и воспроизводства природы Земли в интересах ныне живущего и будущих поколений людей.

Памятник природы — отдельный охраняемый природный объект живой или неживой природы, уникальный в научном, культурном, историко-мемориальном или эстетическом отношении.

Паразитизм (от греч. *parásitos* — нахлебник) — тип взаимоотношений популяций разных видов, из которых одна популяция (паразит) использует другую (хозяина) в качестве среды и источника пищи.

Паразиты — организмы, которые живут за счет особей другого вида, будучи тесно связанными с ними в своем жизненном цикле на большем или меньшем его протяжении.

Пастбищные цепи питания — пищевые цепи, которые начинаются с продуцентов и включают консументов разных порядков.

Первичная продукция — биомасса, созданная автотрофными организмами (продуцентами) из минерального вещества в процессе фото- или хемосинтеза.

Планктон (от греч. *planktós* — парящий, блуждающий) — организмы, обитающие в толще воды и ведущие пассивный образ жизни.

Пойкилотермные организмы (от греч. *poikilos* — изменчивый, *thérmē* — тепло) — организмы, температура тела которых непостоянна и изменяется вместе с температурой окружающей среды.

Популяция — группа особей одного вида с общим генофондом, находящихся во взаимодействии между собой и населяющих общую территорию.

Популяционные волны (волны жизни) — более или менее регулярные колебания численности, случайным образом изменяющие частоту встречаемости генов и мутаций в популяциях.

Поток генов — случайный обмен генами между популяциями одного вида в результате миграции особей.

Пределы выносливости, или пределы толерантности (от лат. *tolerantia* — терпение, выносливость), — диапазон силы воздействия фактора, в котором возможна жизнедеятельность организма.

Приспособленность — совокупность адаптаций (особенностей внешнего и внутреннего строения и поведения организма), которые обеспечивают для данного вида преимущества в выживании и оставлении потомства при определенных условиях среды.

Продукция экосистемы — количество биомассы, образующейся в экосистеме на единице площади или в единице объема биотопа за единицу времени.

Продуценты (от лат. *producens* — создающий), или **производители**, — автотрофные организмы, синтезирующие органическое вещество из минерального с использованием энергии.

Рассудочная деятельность — способность к выполнению адаптивного поведенческого акта в сложившейся ситуации.

Рациональное природопользование — тип взаимоотношений человека с окружающей средой, при котором человек способен разумно осваивать природные ресурсы и предупреждать негативные последствия своей деятельности.

Редуценты (от лат. *reducens* — возвращающий), или **разрушители**, — гетеротрофные организмы, разрушающие мертвое органическое вещество любого происхождения до минерального.

Резерват — небольшая природная охраняемая территория, созданная для охраны одного из элементов природного комплекса.

Рудименты (от лат. *rudimentum* — зачаток) — недоразвитые органы современных организмов, которые были хорошо развиты у их предков.

Симбиоз (от греч. *symbiōsis* — совместная жизнь) — длительное сожительство популяций двух или нескольких видов, извлекающих из него взаимную или одностороннюю пользу.

Склерофиты (от греч. *sclērós* — твердый, *phytón* — растение) — растения со сниженной транспирацией и способностью активно добывать воду при ее недостатке в почве.

Сообщество — любая совокупность популяций разных видов, взаимодействующих между собой и существующих в общей среде.

Соотносительная (коррелятивная) изменчивость — изменение какого-то одного органа или части тела вслед за изменением других частей организма.

Социальная иерархия — система связей между членами группы в виде подчинения особей друг другу.

Социальная среда — конкретные общественные отношения, традиции, нравственные и правовые установки, при которых рождается и живет человек.

Среда жизни — часть природы с особым комплексом факторов, для существования в которой у разных систематических групп организмов сформировались сходные адаптации.

Среда обитания — часть природы, которая окружает организм и с которой он непосредственно взаимодействует в течение всего жизненного цикла.

Стенобионты (от греч. *stenós* — узкий, *bios* — жизнь) — виды организмов, имеющие узкие пределы толерантности и способные существовать на небольших территориях с относительно постоянными условиями среды.

Суккуленты (от лат. *succulentus* — сочный) — многолетние растения, способные запасать воду в своих тканях и органах, а затем экономно ее расходовать.

Сукцессия (от лат. *successio* — преемственность, последовательность) — закономерная, последовательная смена одних экосистем другими на определенной территории под влиянием направленного изменения природных факторов или деятельности человека.

Таксис (от греч. *táxis* — расположение) — форма пространственной ориентации организмов по отношению к источнику раздражения.

Топические связи (от греч. *tópos* — место) — связи между популяциями, когда особи одной популяции используют особей другой популяции в качестве местообитания или испытывают их влияние на свою среду обитания.

Трофические связи (от греч. *trophē* — пища) — связи между популяциями, когда особи одной популяции получают пищу за счет особей другой популяции.

Трофический уровень — совокупность организмов, которые, в зависимости от способа их питания и вида корма, составляют определенное звено пищевой цепи.

Условия существования, или условия жизни, — комплекс экологических факторов, без которых организм не может существовать в данной среде.

Фабрические связи (от лат. *fabrico* — изготавливать) — связи между популяциями, когда особи одной популяции используют выделения или мертвые части тела особей другой популяции в качестве материала для строительства гнезд, нор, убежищ и др.

Фитоценоз (от греч. *phytón* — растение, *koinós* — общий) — растительное сообщество на определенной территории, изменяющееся как по сезонам года, так и по годам.

Форические связи (от греч. *phora* — ношение) — связи между популяциями, когда особи одной популяции участвуют в расселении (распространении) особей другой популяции.

Фотопериод (от греч. *phōtós* — свет и период) — длина светового дня, зависящая от времени года вследствие движения Земли вокруг Солнца.

Фотопериодизм (от греч. *phōtós* — свет и периодизм) — характерная реакция организмов на сезонные изменения длины светового дня, синхронизирующая их биологическую активность с временами года.

Фототропизм (от греч. *phōtós* — свет, *trópos* — поворот, направление) — ростовые движения органов растений под влиянием одностороннего освещения.

Цепь питания (пищевая цепь) — линейная последовательность организмов, в которой происходит поэтапный перенос вещества и энергии от источника (предыдущего звена) к потребителю (последующему звену).

Человеческая раса — исторически сложившаяся группа людей с общими наследственными морфологическими особенностями.

Чистая продукция сообщества — часть продукции экосистемы, которая может быть использована в пределах самой экосистемы для ее развития или может быть изъята человеком без ущерба для экосистемы.

Эврибионты (от греч. *euryís* — широкий, *bios* — жизнь) — виды организмов, имеющие широкие пределы толерантности и способные заселять обширные территории со значительными колебаниями условий среды.

Экология (от греч. *bikos* — дом, жилище, *lógos* — наука, учение) — наука, изучающая биосистемы разного уровня организации (от организма до биосферы) и закономерности их взаимодействия.

Экологическая ниша — место вида в природе, включающее его пространственное положение, функциональную роль в сообществе, отношение к абиотическим условиям среды.

Экологическая пластичность, или **экологическая валентность**, — свойство видов адаптироваться к тому или иному диапазону изменения силы воздействия факторов среды.

Экологические факторы — свойства и компоненты среды обитания, которые вызывают у организмов приспособительные реакции — адаптации.

Экологический кризис — несоответствие растущих масштабов деятельности человека для удовлетворения своих жизненных потребностей восстановительным возможностям природы.

Экологический максимум, или **верхний предел выносливости**, — максимальное значение силы воздействия фактора, при котором прекращается жизнедеятельность организма.

Экологический минимум, или **нижний предел выносливости**, — минимальное значение силы воздействия фактора, при котором начинается проявление жизнедеятельности организма.

Экологический оптимум (от лат. *optimus* — наилучший) — конкретное значение силы воздействия фактора, наиболее благоприятное для жизнедеятельности организма.

Экологический спектр вида — совокупность пределов толерантности вида по отношению ко всем экологическим факторам среды его обитания.

Экосистема — любой комплекс из сообщества живых организмов и неживых компонентов среды их обитания, связанных между собой обменом вещества и энергии.

Элементарное эволюционное явление — направленное и необратимое изменение соотношения генов в генофонде популяции в ряду поколений.

Эндемики (от греч. *ēndēmos* — местный) — виды, имеющие очень узкий ареал распространения в пределах небольшого региона.

Эрозия почвы — разрушение плодородного слоя почвы под действием ветра и воды.

СОДЕРЖАНИЕ

От авторов	3
Глава 1. Организм и среда	
§ 1. Уровни организации живых систем. Экология как наука	4
§ 2. Факторы среды и их классификация	6
§ 3. Закономерности действия факторов среды на организм	10
§ 4. Взаимодействие экологических факторов. Лимитирующий фактор	13
§ 5. Свет в жизни организмов	16
§ 6. Температура как экологический фактор	20
§ 7. Влажность как экологический фактор	25
§ 8. Понятие о среде жизни. Водная среда	29
§ 9. Наземно-воздушная и почвенная среды жизни	36
§ 10. Живой организм как среда жизни	40
Глава 2. Вид и популяция	
§ 11. Понятие вида. Критерии вида	44
§ 12. Свойства популяции	49
§ 13. Структура популяции	52
§ 14. Динамика численности популяций и ее регуляция	57
Глава 3. Экосистемы	
§ 15. Биоценоз и биотоп. Связи популяций в биоценозах	62
§ 16. Видовая структура биоценоза	65
§ 17. Пространственная структура биоценоза	68
§ 18. Экосистема. Биогеоценоз. Структура экосистемы	71
§ 19. Цепи и сети питания. Экологические пирамиды	74
§ 20. Продуктивность экосистем	79
§ 21. Биотические взаимоотношения популяций в экосистемах	82
§ 22. Динамика экосистем	86
§ 23. Агроэкосистемы и их особенности	90
Глава 4. Эволюция органического мира	
§ 24. Основные гипотезы происхождения жизни	94
§ 25. Общая характеристика теории эволюции Ч. Дарвина	97
§ 26. Теория искусственного отбора	101
§ 27. Движущие силы и основные результаты эволюции по Ч. Дарвину	106
§ 28. Популяция — элементарная единица эволюции. Предпосылки эволюции	110
§ 29. Движущие силы эволюции	114
§ 30. Приспособления — основной результат эволюции	119
§ 31. Видообразование. Факторы и способы видообразования	124
§ 32. Общая характеристика синтетической теории эволюции	128
§ 33. Макроэволюция. Основные доказательства эволюции	131
§ 34. Прогресс и регресс в эволюции. Пути достижения биологического прогресса	138
§ 35. Способы осуществления эволюционного процесса	143

§ 36. Классификация организмов. Принципы систематики. Современная биологическая система	145
§ 37. Вирусы	147
Глава 5. Происхождение и эволюция человека	
§ 38. Формирование представлений об эволюции человека. Место человека в зоологической системе	154
§ 39. Предшественники человека. Древние и ископаемые люди современного типа ...	158
§ 40. Роль биологических и социальных факторов в эволюции человека	163
§ 41. Человеческие расы. Эволюция человека на современном этапе	168
Глава 6. Поведение как результат эволюции	
§ 42. Поведение как форма адаптации организмов	173
§ 43. Инстинктивное и общественное поведение животных	177
§ 44. Поведение человека	180
Глава 7. Биосфера — живая оболочка планеты	
§ 45. Понятие биосферы. Границы биосферы	184
§ 46. Компоненты биосферы. Функции живого вещества	188
§ 47. Круговорот веществ в биосфере	191
§ 48. Основные этапы развития биосферы	198
§ 49. Влияние хозяйственной деятельности человека на биосферу	201
§ 50. Угроза экологических катастроф и их предупреждение	206
§ 51. Заповедное дело и охрана природы	209
§ 52. Рациональное природопользование	216
Словарь основных терминов и понятий	220

(Название и номер школы)

Учебный год	Имя и фамилия ученика	Состояние учебного пособия при получении	Оценка ученику за пользование учебным пособием
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

Учебное издание

Маглыш Сабина Степановна
Каревский Александр Евгеньевич
БИОЛОГИЯ

Учебное пособие для 11 класса
общеобразовательных учреждений
с русским языком обучения

Зав. редакцией *В. Г. Бехтина*. Редактор *Е. В. Литвинович*. Оформление *А. С. Хотеева*. Художники *Е. Э. Агунович*, *В. А. Ярошевич*. Художественный редактор *А. А. Волотович*. Технический редактор *М. И. Чепловодская*. Компьютерная верстка *Т. В. Свириденко*, *Е. Ю. Гурченко*, *Г. А. Дудко*. Корректоры *З. Н. Гришели*, *Т. Н. Ведерникова*, *Д. Р. Лосик*, *В. С. Бабеня*.

Подписано в печать 21.12. 2010. Формат 70 × 90^{1/16}. Бумага офсетная. Гарнитура литературная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 16,97. Уч.-изд. л. 16. Тираж 114 000 экз. Заказ 294.

Издательское республиканское унитарное предприятие «Народная асвета»
Министерства информации Республики Беларусь.
ЛИ № 02330/0494083 от 03.02.2009.
Пр. Победителей, 11, 220004, Минск.

Республиканское унитарное предприятие «Минская фабрика цветной печати».
ЛП № 02330/0494156 от 03.04.2009.
Ул. Корженевского, 20, 220024, Минск.

Правообладатель Народная асвета