

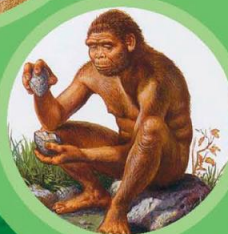
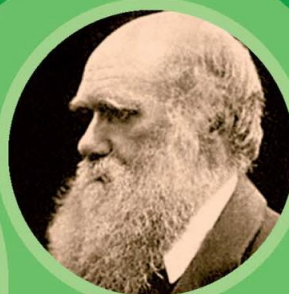
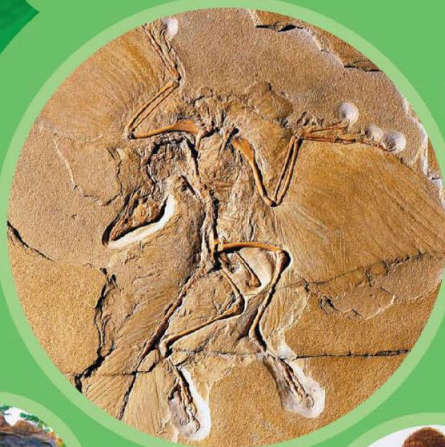
ИННОВАЦИОННАЯ
ШКОЛА

ФГОС

С.Б. Данилов, А.И. Владимирская, Н.И. Романова

БИОЛОГИЯ

Б А З О В Ы Й У Р О В Е Н Ъ



11



«РУССКОЕ СЛОВО»

ФГОС
ИННОВАЦИОННАЯ ШКОЛА

С.Б. Данилов
А.И. Владимирская
Н.И. Романова

БИОЛОГИЯ

**Учебное пособие для 11 класса
общеобразовательных организаций**

Базовый уровень

Под общей редакцией академика РАН,
профессора **В.Б. Захарова**

*Соответствует Федеральному государственному
образовательному стандарту*

Москва
«Русское слово»
2020

УДК 373.167.1:57*11(075.3)

ББК 28.0я721

Д17

Под общей редакцией академика РАЕН, профессора *В.Б. Захарова*

Научные редакторы:

С.А. Баландин, к.б.н., доцент кафедры геоботаники биологического факультета МГУ;

Т.Ю. Ульянова, к.б.н., доцент кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ

Данилов С.Б.

Д17 Биология: учебное пособие для 11 класса общеобразовательных организаций. Базовый уровень / С.Б. Данилов, А.И. Владимирская, Н.И. Романова; под общей ред. В.Б. Захарова. — М.: ООО «Русское слово — учебник», 2020. — 224 с.: ил. — (ФГОС. Инновационная школа).

ISBN 978-5-533-01639-1

Учебное пособие предназначено для обучающихся 11 класса, изучающих биологию на базовом уровне. Учебное пособие соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования и требованиям Примерной основной образовательной программы среднего общего образования, является частью учебно-методического комплекта «Биология» и входит в информационно-образовательную среду «Инновационная школа».

УДК 373.167.1:57*11(075.3)

ББК 28.0я721



ISBN 978-5-533-01639-1

© С.Б. Данилов, 2020

© А.И. Владимирская, 2020

© Н.И. Романова, 2020

© ООО «Русское слово — учебник», 2020

Учебное издание

ФГОС

Инновационная школа

Данилов Сергей Борисович
Владимирская Алла Ивановна
Романова Надежда Ивановна

БИОЛОГИЯ

Учебное пособие для 11 класса общеобразовательных организаций
Базовый уровень

Под редакцией В.Б. Захарова

Руководитель Центра естественно-научных дисциплин *С.В. Банников*

Редактор *С.Н. Новикова*

Художественный редактор *А.С. Побезинский*

Художники *М.И. Ляпина, В.А. Сурков*

Редактор карт *И.Г. Старкова*

Корректор *Т.Г. Люборец*

Верстка *Ю.А. Костиной, Л.Х. Матвеевой*

ISBN 978-5-533-01639-1



9 785533 016391

Подписано в печать 10.06.20. Формат 70х90/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,38.

Тираж 500 экз. Изд. № 18159. Заказ

ООО «Русское слово — учебник».

115035, Москва, Овчинниковская наб., д. 20, стр. 2.

Тел.: (495) 969-24-54, (499) 689-02-65

(отдел реализации и интернет-магазин).

УВАЖАЕМЫЕ СТАРШЕКЛАССНИКИ!

В этом учебном году вы познакомитесь с основными закономерностями развития жизни на Земле и проследите, как проходила биологическая эволюция органического мира, узнаете об основных этапах эволюции человека. Также вы познакомитесь с основами экологии, получите представление об организации жизни на планете, узнаете о сложности взаимоотношений между организмами.

Каждый раздел и глава учебного пособия предваряются небольшой вступительной статьёй, позволяющей чётко определить объекты и явления, которые вам предстоит изучать.

Приступая к изучению нового материала, обратите внимание на рубрики, помещённые в начале каждого параграфа. Вопросы рубрики «Вспомните» призваны проверить степень вашей готовности к уроку, ответы на них показывают, насколько хорошо вами усвоен предыдущий материал, знания которого потребуются при изучении новой темы. Рубрика «Как вы думаете» позволяет каждому продемонстрировать знания и высказать свои мнения относительно темы, которую вы ещё не изучали. Эти вопросы очень важны, так как, отвечая на них, вы учитесь мыслить самостоятельно — рассуждать, сопоставлять факты, устанавливать связи между предметами и явлениями, делать выводы. Не бойтесь ошибаться. В течение урока, знакомясь с текстом параграфа, вы получите подтверждение или опровержение своей точки зрения на исследуемый вопрос.

Перед подробным чтением текста параграфа познакомьтесь с его структурой, прочитайте подзаголовки, рассмотрите иллюстрации. Обратите внимание на наличие определений основных терминов, которые выделены *жирным курсивом*. Их необходимо выучить наизусть. Также в тексте присутствуют вспомогательные термины и понятия, выделенные *курсивом*, они помогут вам лучше разобраться в новом материале.

В конце каждого параграфа помещён краткий вывод, который позволяет выделить главное в тексте, и рубрика «Запомните!», акцентирующая ваше внимание на ключевых понятиях, процессах и явлениях, изученных на уроке.

Чтобы проверить, насколько хорошо вами усвоен учебный материал параграфа, воспользуйтесь рубрикой «Проверьте свои знания», где помещены вопросы, ответы на которые легко найти в тексте, и рубрикой «Подумайте!», вопросы которой требуют самостоятельного ответа на основе имеющейся информации. Рубрика «Задания» позволяет закрепить полученные вами знания на практике, она включает групповые и индивидуальные формы работы, которая может быть выполнена на уроке или дома.

В конце учебного пособия помещён указатель терминов, который пригодится вам при подготовке к урокам.

Мы желаем вам успеха в изучении биологии.

Авторы

РАЗДЕЛ I

ЭВОЛЮЦИЯ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

В настоящее время на нашей планете обитает несколько миллионов видов живых организмов, каждый из которых обладает уникальным набором признаков и свойств. Все они возникли в результате биологической эволюции.

Биологическая эволюция — необратимый процесс исторического развития организмов с момента их возникновения от более низких ступеней организации живого до высокоорганизованных современных форм.

В процессе эволюции происходит появление организмов, наиболее приспособленных к условиям существования, и вымирание форм, чьи приспособления оказываются бесполезными или вредными в меняющихся условиях среды.

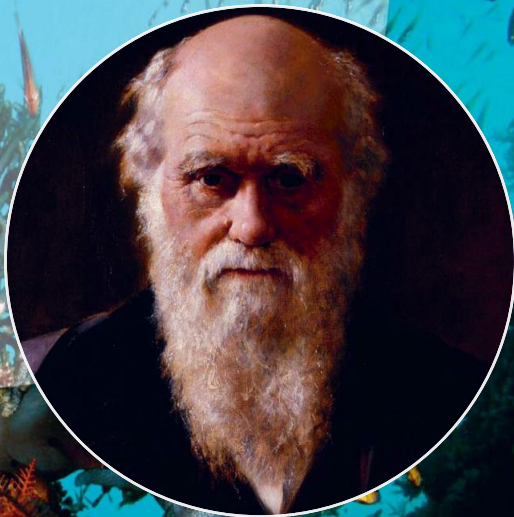
Вопросам о причинах и направлениях эволюционных преобразований живых организмов посвящены труды многих биологов, однако главная заслуга раскрытия и описания механизмов эволюции принадлежит известному английскому учёному Чарлзу Дарвину, который впервые опубликовал своё эволюционное учение в 1859 г. Все последующие научные открытия в различных областях биологии только подтверждают и дополняют основные положения его теории. Таким образом, эволюционное учение оказало огромное влияние на развитие науки, оно является фундаментом биологии.

Из данного раздела учебного пособия вы узнаете о развитии эволюционных представлений в биологии, познакомитесь с основными положениями эволюционной теории Чарлза Дарвина и получите доказательства эволюции органического мира. В этом разделе также изложены современные представления о возникновении жизни, описаны главные этапы развития жизни и рассмотрены вопросы происхождения и эволюции человека.



ГЛАВА 1

ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ





На протяжении многих столетий в науке господствовали представления о божественном происхождении живых организмов. Предполагалось, что все живые существа были созданы Богом и в неизменном виде сохранились до наших дней. Творец изначально придал каждому виду свою форму и обеспечил всеми необходимыми приспособлениями к жизни в определённых условиях. Считалось, что видов на планете существует ровно столько, сколько их создал Бог. Подобные представления получили название *креационизм* (от лат. creatio — сотворение). Биологи того времени рассматривали все объекты и явления в природе как неизменные, вне существующих между ними связей.

К середине XVIII в. накопилось большое количество описательного материала, содержащего в том числе сведения об изменяемости видов, а некоторые учёные уже делали попытки систематизировать их многообразие. Стало очевидным, что идея о неизменности видов является несостоятельной. Так сформировался *трансформизм* (от лат. transformo — превращать, преобразовывать) — система взглядов об изменяемости видов.



§ 1. Теория эволюции Жана Батиста Ламарка

Вспомните. Какие структуры клетки являются материальной основой наследственности? Какая изменчивость является наследственной и каковы её причины? Что такое эволюция?

Как вы думаете. Кто был автором первой эволюционной теории? Каковы причины возникновения различных приспособлений организмов к окружающей среде?

Несмотря на господство взглядов о неизменности живой природы, биологи продолжали накапливать фактический материал, который противоречил этим представлениям. Создание микроскопа в XVII в. и его применение в биологических исследованиях сильно расширили кругозор биологов. Оформилась как наука эмбриология, возникла палеонтология.



Учёным, создавшим первую эволюционную теорию, был выдающийся французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк (1744—1829) (рис. 1).

В отличие от многих предшествующих теорий, теория эволюции Ламарка опиралась на факты. Мысль о непостоянстве видов возникла у учёного в результате глубокого изучения строения растений и животных.

Занимаясь классификацией животных, Ламарк обратил внимание на сходство существенных черт строения у животных, не относящихся к одному виду. На основе этого сходства он выделил 10 классов беспозвоночных животных. Среди них такие группы, как Ракообразные, Паукообразные, Насекомые, сохранились до наших дней, а другие — Моллюски, Кольчатые черви — возведены в ранг типа (рис. 2). Ламарк — первый учёный, осмелившийся заявить, что не Бог создал всё многообразие организмов разной степени сложности, а природа на основе естественных законов. Величайшей заслугой Ж.Б. Ламарка является создание первой эволюционной теории, которая была им тщательно

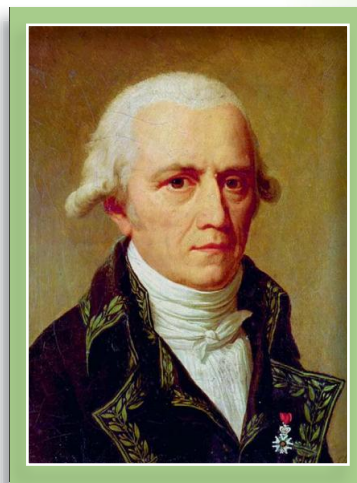


Рис. 1. Ж.Б. Ламарк

Рис. 2. Градации Ламарка





разработана и подкреплена многочисленными фактами. В основу её положено представление о развитии, постепенном и медленном, от простого к сложному, и о роли внешней среды в преобразовании организмов.

В 1809 г. в книге «Философия зоологии» Ламарк приводил многочисленные доказательства изменяемости видов. К числу таких доказательств учёный относил изменения животных и растений под влиянием одомашнивания и окультуривания, при их переселении в другие места обитания с иными условиями существования. Важную роль в возникновении новых видов Ламарк отводил постепенным изменениям климатических условий на поверхности Земли. Он считал, что механизмов изменчивости организмов и образования новых видов два: один — тенденция организмов к совершенствованию (внутреннее стремление к совершенствованию, заложенное в них Богом) и другой — прямое влияние внешней среды и наследование признаков, приобретённых в течение жизни организма.

Ламарк сформулировал два закона, для того чтобы объяснить механизм возникновения новых признаков.

Закон упражнения и неупражнения органов.

Постоянное использование органа ведёт к его развитию, а не использование — к ослаблению или исчезновению.

Согласно этому закону, шея у жирафа стала длинной в результате постоянного вытягивания, ведь животному приходится питаться листьями, растущими высоко на деревьях. Действие из поколения в поколение подобной привычки привело к тому, что передние ноги жирафов оказались длиннее задних, а шея значительно вытянулась (рис. 3). Язык у муравьеда стал тонким и длинным в результате постоянного упражнения — добывания муравьёв из глубины муравейника, а редукция глаз у крота стала результатом неостребованности органа зрения при обитании этого животного в почве. Ламарк считал, что новые признаки всегда полезны и наследуются.

Закон наследования благоприобретённых признаков.

Возникшие в результате упражнения и неупражнения органов признаки передаются по наследству.

Согласно этому закону, шея у каждого последующего поколения жирафов будет становиться всё длиннее, пока не достигнет совершенства. Это представление об изначальной целесообразности любой реакции на изменённые условия, так же как и мнение о прямом воздействии окружающей среды на эволюционные процессы и внутреннем стремлении организмов к прогрессу (совершенству), оказались ошибочными.

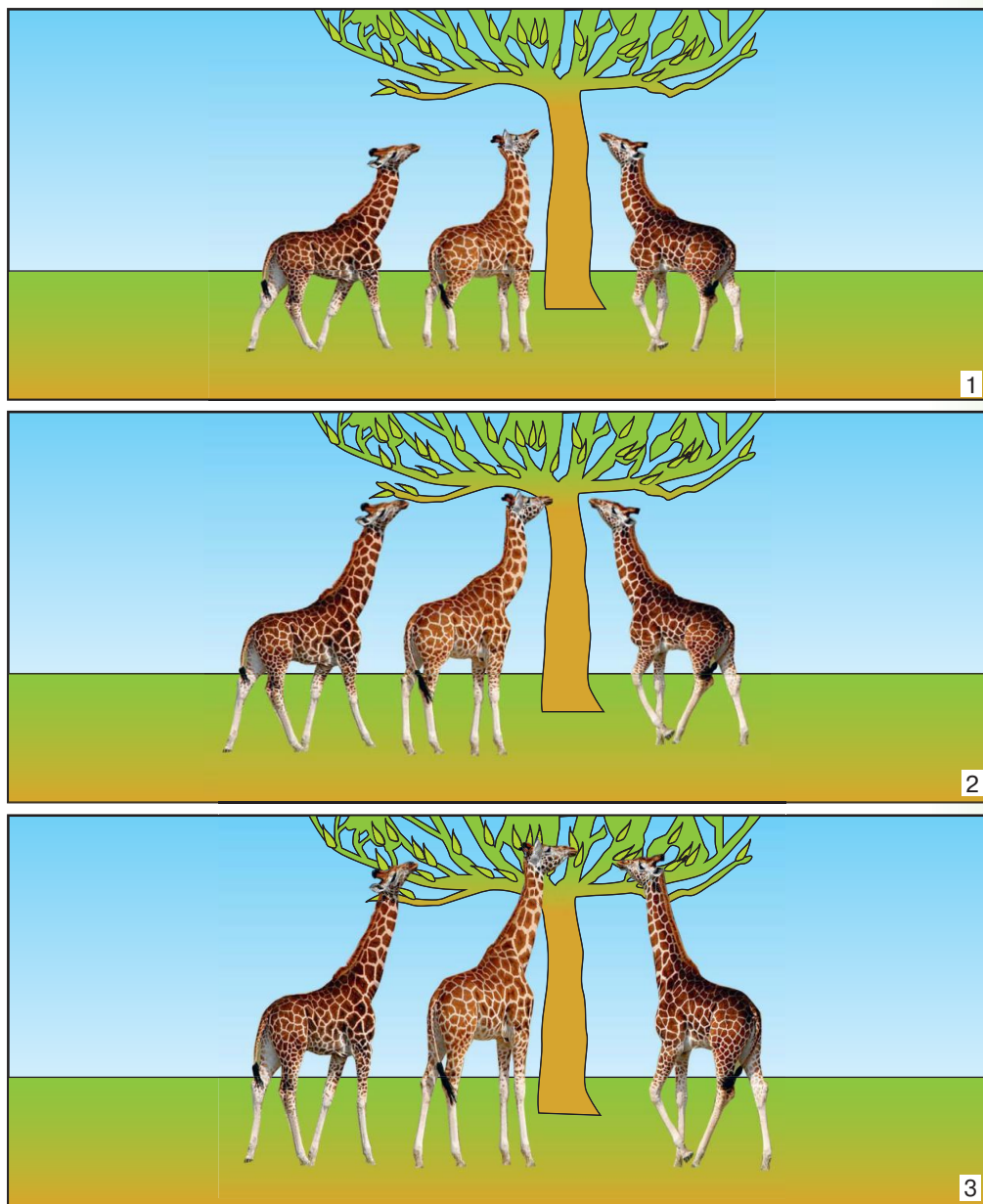


Рис. 3. Развитие длинной шеи у жирафа по теории эволюции Ламарка:
1 — короткошеее жирафы пытаются дотянуться до верхних веток;
2 — у некоторых жирафов шея стала длиннее;
3 — их потомки, унаследовавшие длинные шеи родителей

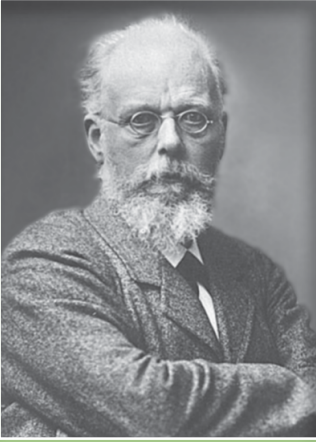


Рис. 4. А. Вейсман

Изменения, возникающие у организмов, нельзя объяснить с точки зрения закона об упражнении и неупражнении органов. Например, среди рабочих пчёл в улье могут появляться особи с более совершенными приспособлениями для сбора мёда, и можно было бы предположить, что они будут упражнять эти важные органы. Однако известно, что рабочие пчёлы не принимают участия в размножении и, следовательно, не могут передать свои признаки по наследству.

Исследователь Август Вейсман (1834—1914) (рис. 4) отрезал хвосты подопытным мышам на протяжении 22 поколений, но в потомстве ни разу не появилось бесхвостой мыши. Открытие ДНК — вещества наследственности — окончательно опровергло второй закон.

Механизмы возникновения приспособления живых организмов к окружающей среде и видообразования вскрыл Ч. Дарвин.

Огромная заслуга Ламарка заключается в том, что он создал первую теорию эволюции органического мира и выдвинул в качестве главной причины изменяемости видов условия внешней среды. Ламарк подчёркивал роль условий среды в возникновении фенотипических приспособлений организмов, но, хотя эти приобретённые признаки изменяют фенотип, они, не оказывая влияния на генотип, не могут передаваться потомству.



Запомните!

Эволюция. Эволюционная теория. Закон упражнения и неупражнения органов. Закон наследования благоприобретённых признаков.



Проверьте свои знания

1. В чём сущность биологической эволюции?
2. Чем научные взгляды трансформистов отличаются от научных взглядов креационистов?
3. Изложите основные положения эволюционной теории Ж.Б. Ламарка. В каком труде она была изложена?
4. Какие причины возникновения приспособлений у организмов выделял Ж.Б. Ламарк?



5. Сформулируйте закон упражнения и неупражнения органов.

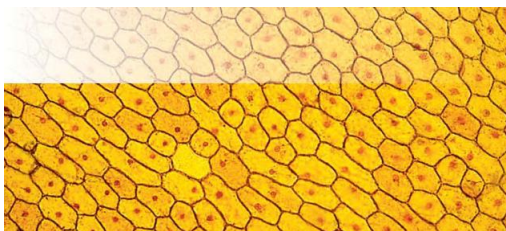
6. Докажите, что изменения, возникающие у организмов, нельзя объяснить с точки зрения закона упражнения и неупражнения органов.



Подумайте!

1. Назовите верные и ошибочные положения в эволюционной теории Ж.Б. Ламарка.

2. Могут ли наследоваться признаки, приобретённые организмом в течение жизни? Ответ объясните с точки зрения молекулярной генетики.



§ 2. Предпосылки возникновения дарвинизма

Вспомните. Какие открытия были сделаны в области биологии к середине XIX в.? Что изучает наука эмбриология? Какую информацию мы можем получить, пользуясь данными палеонтологии?

Как вы думаете. Какова цель в кругосветной экспедиции на корабле «Бигль»? Что такое корреляция?

Достижения естественных наук. Чтобы полнее оценить всё значение переворота в биологической науке, совершённого Ч. Дарвином, обратим внимание на состояние науки первой половины XIX в. В биологии был сделан ряд крупных открытий, которые оказались несовместимыми с представлениями о неизменяемости природы и об отсутствии родства между видами. Клеточная теория Теодора Шванна (1810—1882) (рис. 5) показала, что в основе строения всех живых организмов лежит единообразный структурный элемент — клетка.

Российский учёный Карл Максимович Бэр (1792—1876) (рис. 6) показал, что развитие всех организмов начинается с яйцеклетки. Исследова-



Рис. 5. Т. Шванн

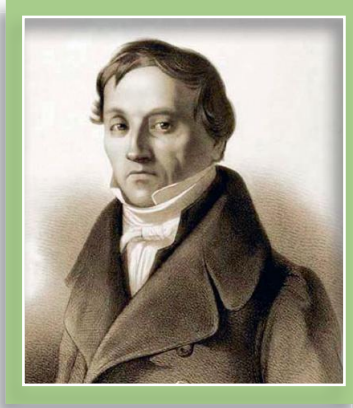


Рис. 6. К. Бэр



Рис. 7. Ж. Кювье

ния зародышей позвоночных животных позволили обнаружить у эмбрионов птиц и млекопитающих жаберные дуги и жаберное кровообращение, что говорило об их родстве с рыбами и о происхождении наземных позвоночных от предков, ведущих водный образ жизни.

Были достигнуты большие успехи в области сравнительной анатомии и палеонтологии. Заслуги в развитии этих областей биологии принадлежат французскому учёному Жоржу Кювье (1769—1832) (рис. 7). Исследуя строение позвоночных животных, он установил, что все их органы представляют собой части одной целостной системы. Вследствие этого строение каждого отдельного органа закономерно соотносится со строением остальных. Ни одна часть тела не может изменяться без соответствующего изменения других частей. Это означает, что каждая часть тела отражает принципы строения всего организма. Так, если у животного имеются копыта, то и вся его организация отражает травоядный образ жизни: зубы приспособлены к перетиранию грубой растительной пищи, желудок многокамерный, кишечник очень длинный и т.д. Если у животного желудок служит для переваривания мяса, то соответствующее строение имеют и другие его органы: развитые клыки, мощные челюсти и острые когти для захвата и удерживания добычи, гибкий позвоночник, способствующий прыжкам, и т.д. Соответствие строения органов животных друг другу Кювье назвал *принципом корреляции (соотносительности)*. Руководствуясь им, учёный успешно изучал кости вымерших животных и восстанавливал облик и образ жизни их обладателей (рис. 8).

Палеонтологические данные неопровержимо свидетельствовали о смене форм животных на Земле, особенно когда была установлена разная степень древности вымерших организмов. Факты вступали в противоречие с библейской легендой. Ненаучность ссылок на библейский потоп



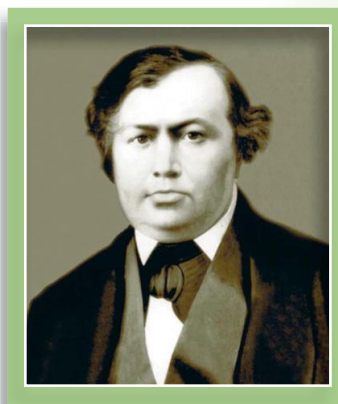
Рис. 8. Восстановление внешнего облика животного по его скелету

стала очевидной. Тогда Кювье выдвинул **теорию катастроф**. Согласно этой теории, причиной вымирания были периодически происходившие крупные геологические катастрофы, уничтожавшие на больших территориях животных и растительность. Потом эти территории заселялись видами, проникавшими из соседних областей. Последователи и ученики Ж. Кювье, развивая его учение, утверждали, что катастрофы охватывали весь земной шар и после каждой следовал новый акт творения.

Теория катастроф получила широкое распространение. Однако были учёные, которые в ней сомневались. К их числу относились русские биологи Карл Францевич Рулье (1814—1858) (рис. 9) и Николай Алексеевич Северцов (1827—1885) (рис. 10). Экологические исследования К.Ф. Рулье и изучение географической изменчивости видов Северцовым привели их к мысли о возможности родства между видами и происхождении одного вида от другого.

Геолог Чарлз Лайель (1797—1875) (рис. 11) доказал несостоятельность представлений Кювье о внезапных катастрофах, изменяющих поверхность Земли, и обосновал противоположную точку зрения: поверхность Земли изменяется непрерывно, и не под влиянием каких-то особых сил, а под действием обычных повседневных факторов — колебаний температуры, ветра, дождя, прилива и жизнедеятельности растительных и животных организмов. К числу постоянно действующих природных факторов Лайель отнёс землетрясения и извержения вулканов.

Рис. 9. К.Ф. Рулье



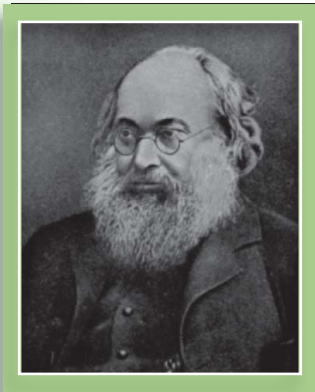


Рис. 10. Н.А. Северцов

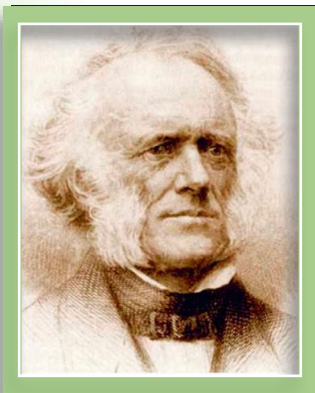


Рис. 11. Ч. Лайель

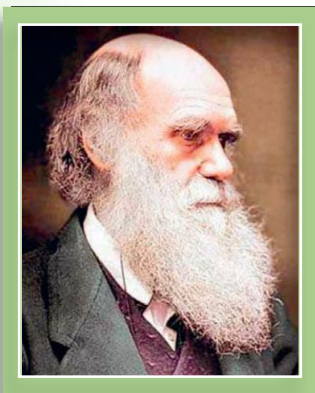


Рис. 12. Ч. Дарвин

Итак, в самых разных областях естествознания (геология, палеонтология, биогеография, эмбриология, сравнительная анатомия, учение о клеточном строении организмов) собранные учёными материалы противоречили представлениям о неизменяемости природы.

Социально-экономические предпосылки. Резкий рост городского населения в развитых капиталистических странах требовал быстрого развития сельского хозяйства. Спрос на продукты питания активно этому способствовал. Выдающиеся результаты были достигнуты в создании новых сортов культурных растений и пород домашних животных. Разработаны многочисленные методы селекции, позволяющие в короткие сроки изменять породы и сорта в нужном направлении. Результаты этих работ противоречили идее о неизменности видов. Расширяющиеся торговые связи между государствами требовали развития транспорта и позволяли собирать коллекции растений и животных с новых территорий. Назревала необходимость найти ответы на вопросы и дать объяснения, какие механизмы лежат в основе развития природы от простого к сложному, почему одни виды вымирают, а другие появляются, чем обусловлена целесообразность возникающих приспособлений.

Участие Чарлза Дарвина в кругосветной экспедиции. Чарлз Роберт Дарвин (1809—1882) (рис. 12) родился в семье врача. В университете он обучался сначала на медицинском, а потом на богословском факультете и собирался стать священником. В то же время он проявлял большую склонность к естественным наукам, увлекался геологией, ботаникой и зоологией. После окончания университета Дарвину предложили (1831) место натуралиста на корабле «Бигль», отправляющемся в кругосветное путешествие для картографических съёмок. Дарвин принял приглашение, и пять лет, проведённые им в экспедиции (1831—1836), стали поворотным пунктом в его собственной научной судьбе и в истории биологии (рис. 13).



Рис. 13. Путешествие Ч. Дарвина



Рис. 14. Скелеты ленивцев Южной Америки
(слева — ископаемый, справа — современный вид)

Наблюдения, сделанные во время путешествия, заставили Дарвина задуматься над причинами сходств и различий между видами. Главная его находка, обнаруженная в геологических отложениях Южной Америки, — это скелеты вымерших гигантских неполнозубых, очень сходных с современными броненосцами и ленивцами (рис. 14).

Ещё большее впечатление произвело на Дарвина изучение видового состава животных на вулканических Галапагосских островах. Там Дарвин обнаружил близкие виды вьюрков, сходные с материковым видом, но приспособившиеся к разным источникам питания — твёрдым семенам, насекомым, нектару цветков растений (рис. 15). Аналогичную картину Дарвин затем наблюдал и у берегов Африки. Животные, обитающие на островах Зелёного Мыса, несмотря на некоторое сходство с материковыми видами, всё же отличаются от них существенными чертами. Учёный ставит вопрос о роли условий среды в видообразовании. Перечисленные и многие другие факты поколебали веру Дарвина в сотворение видов. Вернувшись в Англию, он поставил перед собой задачу: разрешить вопрос о механизмах происхождения видов.

Основными предпосылками возникновения дарвинизма были успехи естественных наук, рост населения и развитие промышленности в развитых капиталистических странах, а также участие Ч. Дарвина в кругосветном путешествии, во время которого он сделал много наблюдений. Обработка собранных в экспедиции материалов и фактов позволила учёному впоследствии создать эволюционное учение.



§ 2. Предпосылки возникновения дарвинизма

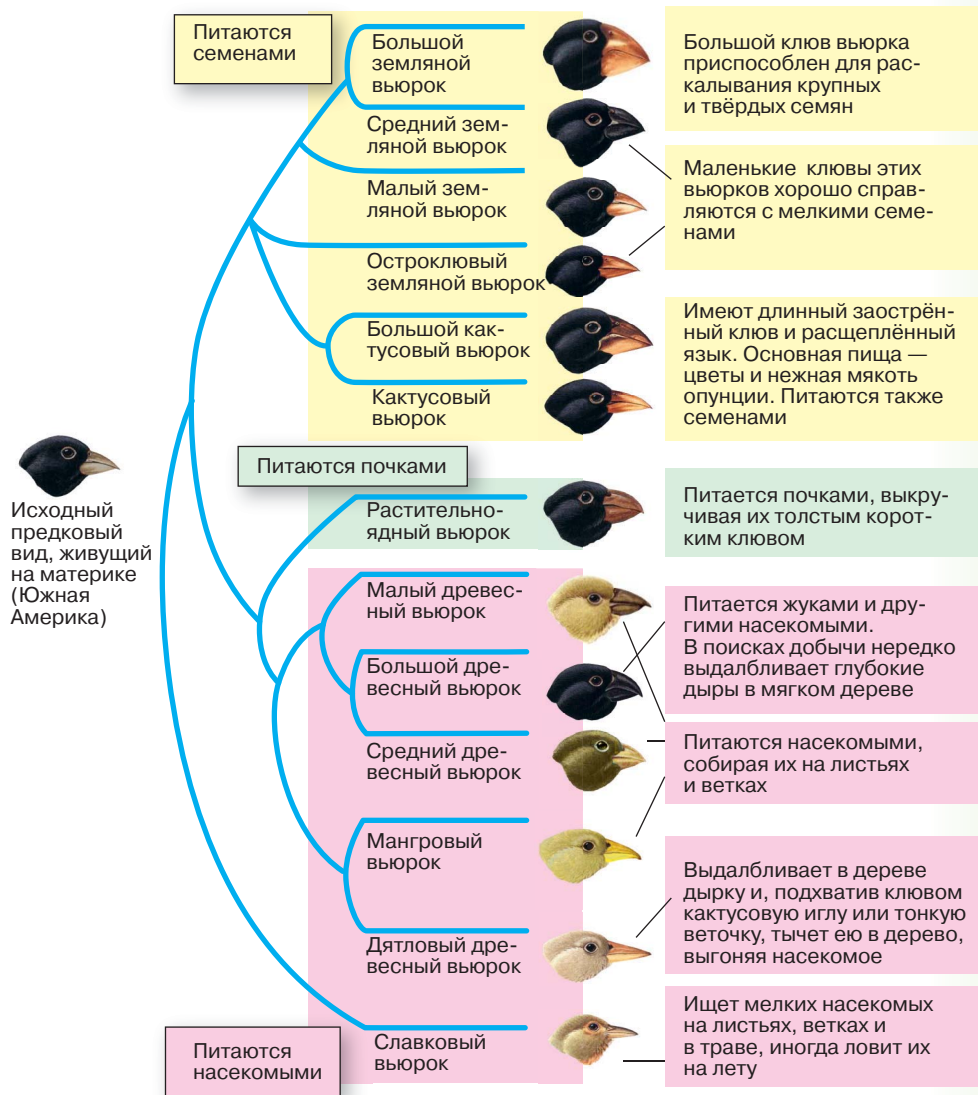


Рис. 15. Виды вьюрков, обитающие на Галапагосских островах



Запомните!

Принцип корреляции. Теория катастроф. Предпосылки возникновения дарвинизма.



Проверьте свои знания

1. Назовите открытия в биологии, способствовавшие формированию эволюционных взглядов Ч. Дарвина.
2. В чём сущность принципа корреляций Ж. Кювье?
3. Как объяснил Ж. Кювье палеонтологические данные о смене форм животных на Земле?
4. Какие социально-экономические предпосылки способствовали возникновению дарвинизма?
5. Расскажите о кругосветном путешествии Ч. Дарвина и сделанных им наблюдениях.



Подумайте!

1. Почему данные геологии послужили предпосылкой эволюционной теории Дарвина?
2. Какие наблюдения Ч. Дарвина поколебали его веру в неизменность видов?

ЗАДАНИЕ

Подготовьте и реализуйте проект «Красная книга кругосветного путешествия Чарлза Дарвина».



§ 3. Учение Дарвина об искусственном отборе

Вспомните. Что такое селекция? Какие методы селекции вам известны? Назовите породы домашних животных и культурных растений вашей местности.

Как вы думаете. С чего начинается селекционная работа? Как можно доказать, что домашние свиньи разных пород имеют общего предка — дикого кабана?

Дарвин вернулся в Англию из кругосветного путешествия убеждённым сторонником изменчивости видов под влиянием условий среды



обитания и сосредоточил свои усилия на раскрытии механизма эволюционного процесса. С этой целью он обратился к практике сельского хозяйства Англии. Английские фермеры и любители вывели к этому времени 150 пород голубей, множество пород собак, крупного рогатого скота, кур и т.д. Интенсивно велась работа по селекции новых пород животных и сортов культурных растений. Сторонники постоянства видов утверждали, что каждый сорт, каждая порода имеют особого дикого предка. Дарвин доказал, что это не так.

Все породы кур происходят от дикой банкивской курицы (рис. 16), домашние утки — от дикой кряковой утки, породы кроликов — от дикого европейского кролика. Предками крупного рогатого скота были два вида диких туров, собаки — волк, а для некоторых пород, возможно, шакал. При этом сорта растений и породы животных могут очень резко различаться. Например, породы домашнего голубя. У них неодинаковые пропорции тела, размеры, оперение и т.д., хотя все они происходят от одного предка — дикого сизого голубя (рис. 17).



Рис. 16. Банкивские куры

Рис. 17. Дикий сизый голубь и породы домашних голубей

Гамбургский
турман



Немецкий
монах



Сизый голубь



Дутыш



Павлиний голубь



Почтовый
голубь

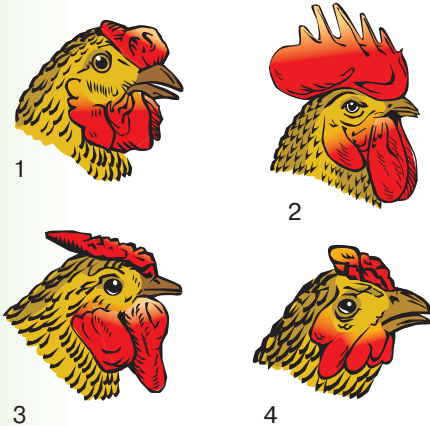


Рис. 18. Форма гребня у петухов:
1 — гороховидная; 2 — простая;
3 — розовидная; 4 — ореховидная

Чрезвычайно разнообразны головные придатки у петухов (рис. 18), причём они типичны для каждой породы. Аналогичная картина наблюдается среди сортов культурных растений. Очень отличаются между собой, например, сорта капусты. Из одного дикого вида человеком получены кочанная и цветная капуста, кольраби, кормовая капуста, стебель которой превышает рост человека, и др. (рис. 19). Сорта растений и породы животных служат для удовлетворения потребностей человека — материальных или эстетических. Одно это убедительно доказывает, что они созданы человеком. Каким же образом человек получил многочисленные сорта растений и породы животных,

на какие закономерности опирается он в своей работе? Ответ на этот вопрос Дарвин нашёл, изучая методы английских фермеров. В основе их методов лежал один принцип: разводя животных или растения, они искали среди них экземпляры, несущие нужный признак в наиболее ярком выражении, и оставляли для размножения только такие экземпляры. Если, например, поставлена задача повысить урожайность пшеницы, селекционер из огромной массы растений выбирает несколько лучшие экземпляры, с наибольшим числом колосков. В следующем году высеиваются зёрна только этих растений и среди них снова отыскиваются те, что имеют наибольшее число колосков. Так продолжается несколько лет, и в результате появляется новый сорт многоколосковой пшеницы.

В основе всей работы по выведению нового сорта растений (или породы животных) лежит изменчивость признаков у организмов и отбор человеком таких изменений, которые наиболее уклоняются в желательную для него сторону. В ряду поколений такие изменения накапливаются и становятся устойчивым признаком породы. Для отбора имеет значение только индивидуальная, неопределённая (мутационная) изменчивость. Поскольку мутация — явление достаточно редкое, искусственный отбор может быть успешным только в том случае, если он проводится среди большого числа особей.

Искусственный отбор — процесс создания новых пород животных и сортов культурных растений путём систематического сохранения и размножения особей с определёнными, ценными для человека признаками и свойствами в ряду поколений.

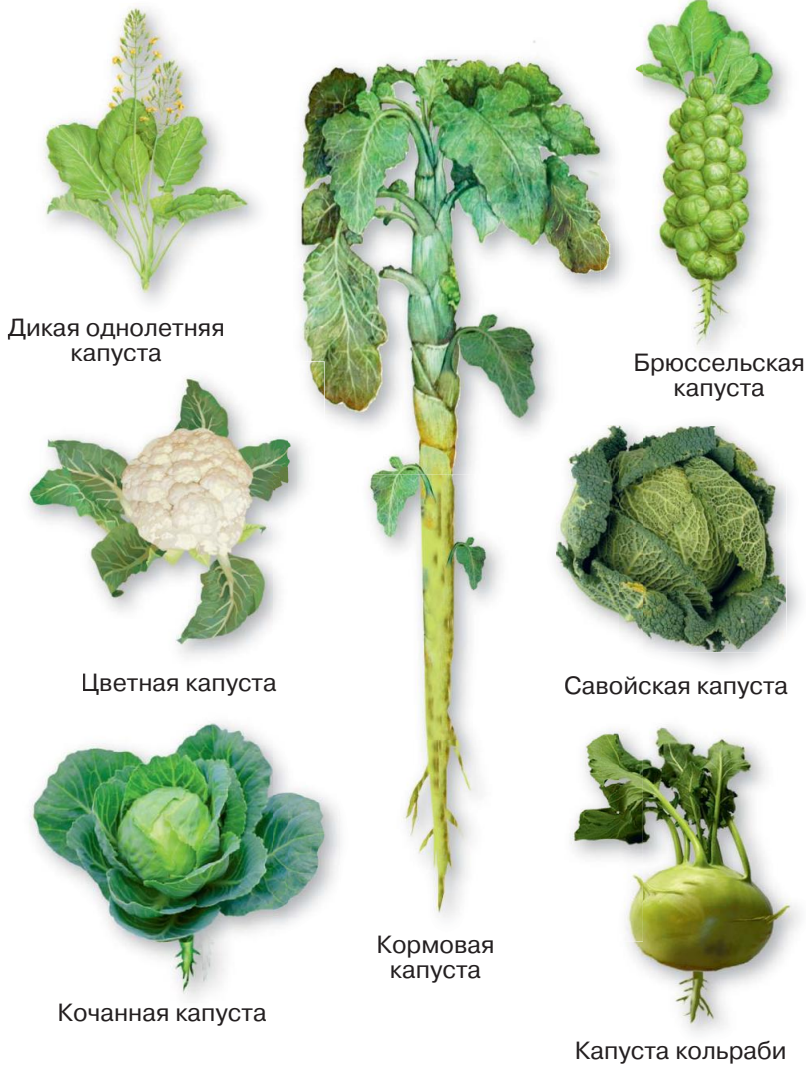


Рис. 19. Дикий предок капусты и её культурные сорта

Дарвин выделил две формы искусственного отбора: сознательный, или методический, и бессознательный. *Методический отбор* заключается в том, что селекционер ставит перед собой определённую задачу и ведёт отбор по одному-двум признакам. Такой приём позволяет достигнуть больших успехов. Дарвин приводит пример быстрого выведения новых пород. Когда была поставлена задача превратить свисающий гребень испанского



петуха в стоячий, то уже через пять лет была получена намеченная форма. Куры, имеющие «бороды», были выведены через шесть лет.

Возможности искусственного отбора в изменении и преобразовании строения и свойств чрезвычайно велики. Например, беспородная корова даёт удой 700—800 л молока в год, а отдельные особи современных молочных пород — 10 тыс. л и более. У мериноса число волос на единицу площади почти в 10 раз больше, чем у беспородных овец. Очень велики различия в строении тела у разных пород собак — борзой, бульдога, сенбернара, пуделя или шпица.

Условие успеха методического искусственного отбора — большое исходное число особей. Такой отбор невозможен при мелкотоварном (крестьянском) сельскохозяйственном производстве. Новую породу нельзя вывести, если в хозяйстве имеется 1—2 лошади или несколько овец.

Таким образом, изучение методов селекции, применявшихся в крупнотоварном капиталистическом сельском хозяйстве Англии XIX в., позволило Дарвину сформулировать принцип искусственного отбора и с помощью этого принципа объяснить не только причину совершенствования форм, но и их многообразие.

Однако домашние животные, так значительно отличающиеся от диких предков, появились ещё у доисторического человека, задолго до сознательного применения методов селекции. Как это произошло? По Дарвину, в процессе приручения диких животных человек осуществлял примитивную форму искусственного отбора, который он назвал *бессознательным*. Бессознательным такой отбор называется в том смысле, что не ставилось цели вывести какую-то определённую породу или сорт. Например, убивались и съедались в первую очередь худшие животные и сохранялись наиболее ценные (более удойная корова, хорошо несущаяся курица и т.д.). Бессознательный отбор существует до сих пор в крестьянском хозяйстве, но его влияние на увеличение разнообразия домашних животных и культурных растений проявляется гораздо медленнее. Дарвин не мог привести примеров одомашнивания диких животных путём искусственного отбора, осуществляемого экспериментально. В наши дни такие примеры имеются.

Искусственный отбор осуществляется человеком. Он бывает бессознательным и методическим, т.е. направленным на получение породы животных или сорта растений с интересующими селекционера качествами. Все породы домашних животных и сорта культурных растений имеют или имели в природе дикого предка.



Запомните!

Искусственный отбор: методический, бессознательный.



Проверьте свои знания

1. Расскажите о достижениях сельского хозяйства Англии в XIX в.
2. Как разрешил Ч. Дарвин вопрос о предках домашних животных?
3. Приведите примеры многообразия пород домашних животных и сортов культурных растений.
4. Чем объясняется многообразие пород домашних животных?
5. В чём состоит сущность основного метода выведения новых сортов и пород? Какие формы искусственного отбора вам известны?



Подумайте!

1. Как меняется строение и поведение животных в процессе одомашнивания?
2. Попробуйте самостоятельно доказать, что все современные породы свиней произошли от дикого кабана.
3. Почему многие домашние животные и культурные растения не могут выживать в естественных условиях?



§ 4. Учение Дарвина о естественном отборе

Вспомните. Какой отбор называется искусственным? Что такое мутации? Охарактеризуйте свойства мутаций.

Как вы думаете. Каковы причины (движущие силы) эволюции? В чём заключается значение дарвинизма для науки? Что такое естественный отбор?



Основной труд Ч. Дарвина «Происхождение видов», в корне изменивший представление о живой природе, появился в 1859 г. Этому событию предшествовала более чем двадцатилетняя работа по изучению и осмыслению богатого фактического материала, собранного как самим Ч. Дарвином, так и другими учёными.

Организмы оставляют потомство, иногда очень многочисленное. Одна особь сельди вымётывает в среднем около 40 тыс. икринок, осётр — 2 млн, лягушки — до 10 тыс. икринок. На одном растении мака ежегодно созревает 30—60 тыс. семян. Даже медленно размножающиеся животные потенциально способны оставить большое число потомков. Например, самки слонов приносят детёнышей в возрасте между 30 и 90 годами. За 60 лет они рожают в среднем 6 слонят. Расчёты показывают, что даже при такой низкой интенсивности размножения через 750 лет потомство одной пары слонов составило бы 19 млн особей.

На основании этих и многих других примеров Дарвин приходит к выводу, что в природе любой вид животных и растений стремится к размножению в геометрической прогрессии. В то же время число взрослых особей каждого вида остаётся относительно постоянным. Каждая пара организмов даёт гораздо больше потомков, чем их доживает до взрослого состояния. Большая часть появившихся на свет организмов гибнет, не достигнув половой зрелости. Причины гибели разнообразны: недостаток корма из-за конкуренции с представителями своего же вида, нападение врагов, действие неблагоприятных физических факторов среды — засухи, сильных морозов, высокой температуры и пр. Отсюда следует второй вывод, сделанный Дарвином: в природе происходит непрерывная борьба за существование.

Борьба за существование — совокупность многообразных и сложных взаимоотношений, существующих между организмами и условиями среды.

Когда лев отнимает добычу у гиен, подразумевается борьба за пищу. Про растение на окраине пустыни можно сказать, что оно ведёт борьбу с засухой, но точно так же предполагается, что оно зависит от влажности.

Дарвин выделил три основные формы борьбы за существование: а) межвидовую; б) внутривидовую; в) борьбу с неблагоприятными условиями среды.

Межвидовая борьба. Примеров такой борьбы много. И волки, и лисы охотятся на зайцев. Между волками и зайцами, а также между лисами и зайцами идёт напряжённая борьба за существование. Отсутствие добычи обрекает хищников на голод и гибель, а жизнь зайцев напрямую



зависит от их естественных врагов. Одновременно с этим между хищниками — волками и лисицами — тоже существует конкуренция за пищу. Это не значит, что они непосредственно вступают в борьбу друг с другом, но успех одного означает неуспех другого. Травоядные животные смогут выжить и оставить потомство только в том случае, если они сумеют избежать хищников и будут обеспечены пищей. Но растениями питаются разные виды существ: что досталось одному, не достанется другому. Существование трав, в свою очередь, зависит не только от поедания их животными, но и от других условий — опыления цветков насекомыми, конкуренции с другими растениями за свет, влагу и т.д. К межвидовой борьбе относятся и взаимоотношения организмов в форме паразитизма. Паразиты ослабляют организм хозяина, делают его менее конкурентоспособным.

Внутривидовая борьба. В приведённых примерах межвидовых взаимоотношений напряжённость борьбы между видами ослабляется тем, что, как правило, организмы имеют не один, а несколько источников питания. Например, лисица питается не только зайцами, но и мышами и птицами. У особей же одного вида потребности в пище, территории и других условиях существования одинаковы. Поэтому конкуренция между ними наиболее острая. Дарвин считал внутривидовую борьбу самой напряжённой. Например, птицы одного вида конкурируют из-за мест гнездования. Самцы многих видов млекопитающих и птиц в период размножения вступают друг с другом в борьбу за право обзавестись семьёй.

Борьба с неблагоприятными условиями внешней среды. Факторы неживой природы оказывают огромное влияние на выживаемость организмов. Много растений гибнет во время холодных малоснежных зим. В сильные морозы смертность увеличивается и среди животных, обитающих в почве (кроты, дождевые черви). Зимой при недостатке растворённого в воде кислорода погибает рыба. Семена растений нередко заносятся ветром в неблагоприятные места обитания и не прорастают.

Все формы борьбы сопровождаются истреблением огромного количества организмов или приводят к тому, что часть их не оставляет потомства. Кто же выживает в этой постоянно происходящей борьбе за существование? Наблюдения показывают, что для растительных и животных организмов характерна всеобщая изменчивость признаков, свойств и бесконечное разнообразие их комбинаций. Даже в потомстве одной пары родителей нет совершенно одинаковых особей (за исключением монозиготных близнецов). В борьбе за существование выживают и оставляют потомство организмы, обладающие таким комплексом признаков и свойств, который позволяет им наиболее успешно конкурировать с другими. Таким образом, в природе происходят процессы избирательного



уничтожения одних особей и преимущественного размножения других — явление, названное Дарвином естественным отбором.

Естественный отбор — процесс выживания и размножения наиболее приспособленных к конкретным условиям существования особей.

При изменении условий внешней среды полезными для выживания могут оказаться какие-то иные, чем прежде, признаки. В результате меняется направление действия отбора, перестраивается генетическая структура вида. Благодаря размножению широко распространяются новые признаки, появляется новый вид. Следовательно, виды изменяются в процессе приспособления к условиям внешней среды. Движущей силой изменения видов, т.е. эволюции, является естественный отбор. Материалом для отбора служит наследственная (мутационная) изменчивость. Изменчивость, обусловленная прямым влиянием внешней среды на организмы (групповая, модификационная), не имеет значения для эволюции, поскольку по наследству не передаётся. Возникновение новых видов Дарвин представлял себе как длительный процесс накопления полезных индивидуальных изменений, увеличивающихся из поколения в поколение.

Механизм естественного отбора. Жизненные ресурсы (пища, места для размножения и пр.) всегда ограничены. Поэтому самая ожесточённая борьба за существование происходит между наиболее сходными особями. Напротив, между различающимися в пределах одного вида особями одинаковых потребностей меньше и конкуренция слабее. Поэтому несхожие особи имеют преимущество в оставлении потомства. С каждым поколением различия становятся всё более выраженными, а промежуточные формы, сходные между собой, погибают. Так, из одного вида образуется два или несколько. Явление расхождения признаков, ведущее к видообразованию, Дарвин назвал *дивергенцией* (от лат. *divergo* — отклоняюсь, отхожу) (рис. 20). Понятие дивергенции Дарвин иллюстрирует примерами, имеющимися в природе. Конкуренция между четвероногими хищниками привела к тому, что часть их перешла на питание падалью, другие переселились в новые места обитания, из них некоторые сменили даже среду обитания — стали жить в воде или на деревьях, и т.д. Причиной дивергенции могут стать и неодинаковые условия внешней среды в разных районах территории, занимаемой видом. Например, две группы особей какого-либо вида вследствие этого будут накапливать различные изменения. Возникает процесс расхождения признаков. Через определённое число поколений такие группы становятся разновидностями, а затем

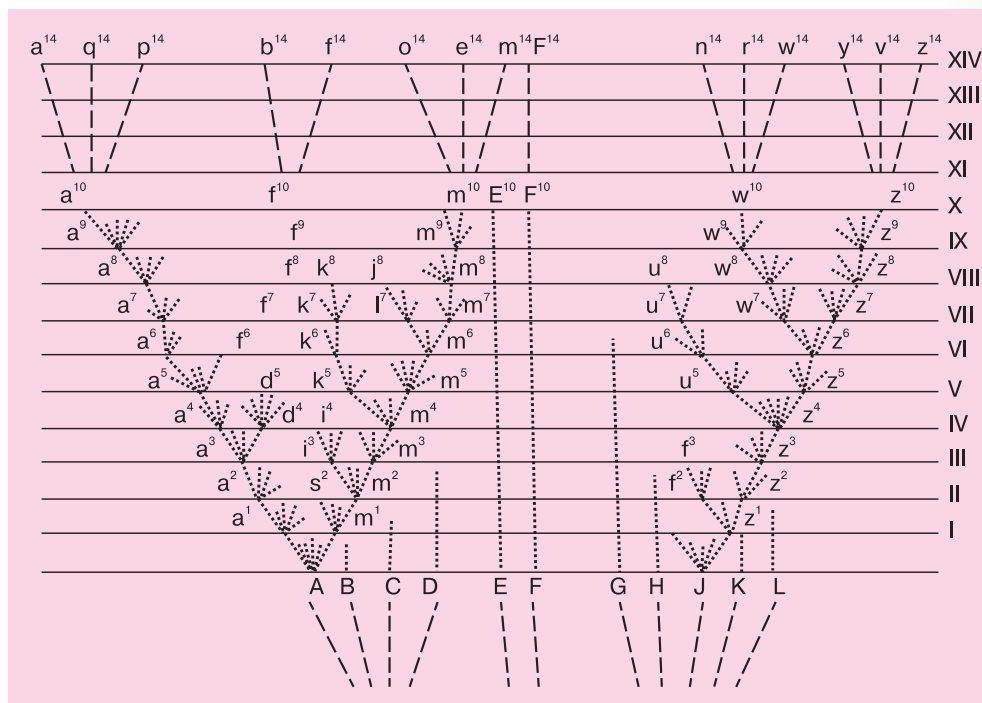


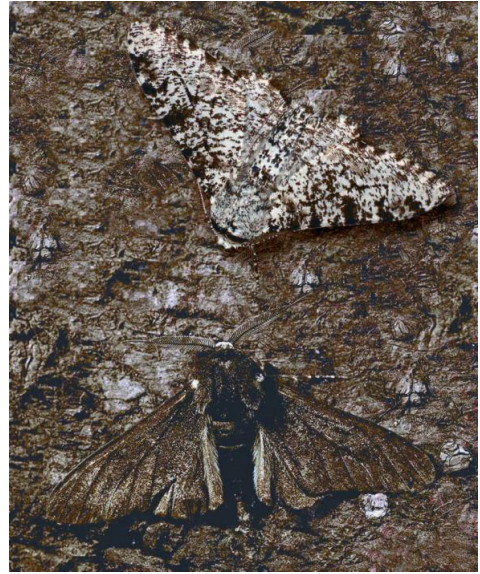
Рис. 20. Схема дивергенции в процессе эволюции по Дарвину: А—L — виды разных родов; а—z — хорошо выделяющиеся разновидности (интервалы между линиями, обозначенными римскими цифрами, — 100 поколений)

и самостоятельными видами. Процесс образования новых видов называется *микроэволюцией*.

В популяциях насекомых с полным превращением, помимо зелёных личинок, иногда появляются особи с более тёмной окраской тела. Возникает это вследствие случайных мутаций. Отбирающими наиболее приспособленных особей факторами являются естественные факторы среды. В данном случае это птицы, склёвывающие в первую очередь тёмноокрашенных гусениц, которые сильнее выделяются на фоне листьев, чем зелёные. Если гусениц поместить на более тёмную поверхность, то птицы будут склёвывать зелёных. Сказать о том, какие личинки насекомых более приспособлены к выживанию, можно только относительно цвета поверхности, на которой они находятся. Ещё одним подобным примером могут служить бабочки берёзовой пяденицы. Среди них встречаются особи со светлыми и с тёмными крыльями. Светлая форма мало заметна на берёзе, в то время как мутантная тёмноокрашенная форма



1



2

Рис. 21. Тёмные и светлые пяденицы на стволах деревьев

хорошо видна на ней (рис. 21, 1). Тёмные бабочки преимущественно склёвываются птицами. Ситуация меняется вблизи промышленных предприятий: копоть, покрывающая стволы деревьев, создаёт защитный фон для мутантов, в то время как светлая бабочка хорошо заметна (рис. 21, 2).

Мутации и половой процесс создают генетическую неоднородность внутри вида. Их действие, как видно из приведённых примеров, ненаправленно. Эволюция же — процесс направленный, связанный с выработкой приспособлений по мере прогрессивного усложнения строения и функции животных и растений. Существует лишь один направленный эволюционный фактор — естественный отбор. Факторами отбора служат условия внешней среды, точнее, весь комплекс абиотических и биотических условий среды. В зависимости от этих условий отбор действует в разных направлениях и приводит к неодинаковым эволюционным результатам.

Значение дарвинизма. Ч. Дарвин показал, что принцип естественного отбора объясняет возникновение всех без исключения основных характеристик органического мира: от признаков, свойственных крупным систематическим группам живых организмов, до мелких приспособлений. Теорией Дарвина завершились длительные поиски естествоиспытателей, которые пытались найти объяснение многим чертам сходства, наблюдаемым у организмов, относящихся к разным видам. Дарвин объяснил это



сходство родством и показал, как идёт процесс образования новых видов, как происходит эволюция.

С общетеоретической точки зрения главное в учении Ч. Дарвина — это идея развития живой природы, противостоящая представлению о застывшем неизменяющемся мире. Признание учения Дарвина стало переломным моментом в истории биологических наук. Факты, накопленные в додарвиновский период развития биологии, получили новое освещение. Возникли новые направления в биологии — эволюционная эмбриология, эволюционная палеонтология и др.

Естественный отбор — результат борьбы за существование. Борьба за существование бывает межвидовая, внутривидовая и с неблагоприятными факторами среды.

Учение Ч. Дарвина служит естественно-научной основой для материалистического объяснения целесообразности строения живых организмов, происхождения и многообразия видов. Его труд явился одним из крупнейших достижений естествознания XIX в.



Запомните!

Естественный отбор. Борьба за существование: межвидовая, внутривидовая, борьба с неблагоприятными факторами среды. Дивергенция. Микроэволюция.



Проверьте свои знания

1. Каковы основные положения эволюционного учения Ч. Дарвина? Что является движущими силами эволюции в учении Ч. Дарвина?
2. Что такое борьба за существование? Каковы её формы?
3. Какая форма борьбы за существование является наиболее напряжённой и почему?
4. Какую роль в борьбе за существование играет интенсивность размножения организмов?
5. Что такое естественный отбор?
6. Почему в природе существует естественный отбор?
7. Каким путём осуществляется дивергенция видов?
8. Что служит движущей силой изменения видов?
9. Какое значение для развития эволюционной теории Дарвина имеют достижения в области эмбриологии и палеонтологии?

**Подумайте!**

1. Почему мутации являются материалом для естественного отбора?
2. Почему действие естественного отбора всегда имеет направленный характер?
3. В чём заключается роль синтеза генетики и классического дарвинизма?

ЗАДАНИЕ

Пользуясь текстом третьего и четвертого параграфов, составьте и заполните таблицу «Характеристика искусственного и естественного отбора».

Это интересно!

Основные положения теории эволюции путём естественного отбора, разработанной Чарлзом Дарвином и Альфредом Расселом Уоллесом, были впервые изложены в 1858 г. на заседании лондонского Линнеевского общества. В 1859 г. Ч. Дарвин опубликовал книгу «Происхождение видов путём естественного отбора». Она выдержала шесть изданий и была переведена на все европейские языки. Дарвин считал, что понять важнейшие причины эволюции ему помогла работа Томаса Роберта Мальтуса «Трактат о народонаселении», в которой автор показал, к чему мог бы привести рост населения, если бы его ничто не сдерживало. Если бы каждая женская гамета после оплодотворения развивалась в способную к размножению особь, то очень скоро Земля оказалась бы перенаселённой. Благодаря Дарвину термин Мальтуса «борьба за существование» (неизбежный результат несоответствия роста численности популяции какого-либо вида и ограниченности ресурсов среды) приобрёл широкую известность.

С начала XX в. благодаря данным в первую очередь генетики и экологии открылись новые возможности для анализа эволюционных преобразований. Дальнейшее развитие идей Дарвина в работах зарубежных и отечественных исследователей: Дж. Хаксли, Дж. Симпсона, Д. Харди, Э. Майра, Ф.Г. Добжанского, Н.В. Тимофеева-Ресовского, А.Н. Северцова, И.И. Шмальгаузена, С.С. Четверикова, В.И. Вернадского, В.Н. Сукачёва и ряда других — сформировало современный синтетический, основанный на данных многих отраслей естествознания, этап развития теории эволюции. Современная теория эволюции пополнилась также многими важнейшими положениями молекулярной биологии, эмбриологии, палеонтологии, сравнительной анатомии и других наук, однако она опирается на дарвиновскую концепцию.

ГЛАВА 2

МИКРОЭВОЛЮЦИЯ





Микроэволюцией называют начальные этапы эволюционных преобразований. Эти преобразования протекают на популяционном и внутривидовом уровне: от возникновения мелких наследственных изменений до формирования адаптаций и возникновения на их основе новых видов. Микроэволюция доступна непосредственному наблюдению и изучению, так как может происходить в исторически короткое время. Благодаря изучению механизмов эволюционного процесса на внутривидовом уровне стала известна роль эволюционных факторов, были сформулированы представления об эволюционных единицах (популяциях) и выявлены основные этапы эволюционных преобразований.



§ 5. Критерии и структура вида. Популяция

Вспомните. Что изучают: морфология, физиология, биохимия, география и генетика? Какое значение имеет систематика?

Как вы думаете. Что такое вид? Почему особи разных видов не скрещиваются между собой? Что означает понятие «элементарная единица эволюции»?

Накопление к концу XVII в. сведений о многообразии форм животных и растений привело к формированию представлений о видах как о вполне реальных группах особей. Основы систематики животных и растений были заложены шведским естествоиспытателем Карлом Линнеем (1707—1778) (рис. 22). За единицу классификации он принял вид — совокупность особей, сходных по строению. Линней ввёл *бинарную номенклатуру*, принцип двойного наименования (первое слово обозначает род, второе — собственно видовое название) для обозначения положения определённого вида в системе: например, *Taenia solium* (Цепень свиной), *Homo sapiens* (Человек разумный). В системе Линнея самым крупным таксоном (систематической единицей) был класс, самым мелким — вид. В его классификации было выделено 24 класса растений и 6 классов животных. В основу классификации Линней положил принцип иерархичности

(соподчинённости) таксонов (сходные виды он объединял в роды, сходные роды — в отряды, а отряды — в классы).

Линней создал самую совершенную для того времени систему органического мира, включив в неё всех известных тогда животных и все известные растения. Однако его классификация носила искусственный характер, так как основывалась на небольшом числе произвольно взятых признаков и не отражала исторического родства между группами организмов. Во многих случаях он правильно объединил виды организмов по сходству строения, но произвольность в выборе признаков для классификации привела учёного к ряду ошибок. Например, в одну группу он поместил такие растения, как рис и тюльпан, только потому, что они имеют одинаковое количество тычинок.

Линней признавал искусственность своей системы и указывал на необходимость разработки естественной. Как теперь известно, естественная система отражает происхождение животных и растений и основана на их родстве и сходстве по совокупности существенных черт строения.

Вид. В современной биологической систематике главной систематической категорией является вид.

Вид — совокупность особей, сходных по строению, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый кариотип, сходное поведение и занимают определённый ареал распространения.

Вид, по современным представлениям, является генетически изолированной системой органической природы, и поэтому одна из важных характеристик вида — его *репродуктивная изоляция*, т.е. существование механизмов, препятствующих притоку генов извне. Защищённость генофонда данного вида от притока генов других, в том числе близкородственных, видов достигается разными путями. Фактором изоляции служат *предпочитаемые источники пищи*: особи кормятся в разных биотопах, и вероятность скрещивания между ними уменьшается. *Сроки размножения* у близких видов могут не совпадать. Если время размножения одно и то же, то не совпадают предпочитаемые *места размножения*. Например, самки одного вида лягушек мечут икру по берегам рек, а другого вида — в лужах.



Рис. 22. К. Линней

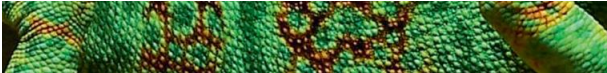


Рис. 23. Разные типы брачного поведения двух близких видов чаек

При этом случайное осеменение икры самцами другого вида исключается. У многих видов животных наблюдается строгий *ритуал поведения при спаривании*. Если у одного из потенциальных партнёров для скрещивания ритуал поведения отклоняется от видового, спаривания не происходит (рис. 23). Если всё же спаривание произойдёт, сперматозоиды самца другого вида не смогут проникнуть в яйцеклетку и яйца не оплодотворятся. Однако иногда (при межвидовом скрещивании) оплодотворение всё же происходит. В этом случае образовавшиеся гибриды либо отличаются пониженной жизнеспособностью, либо оказываются бесплодными и не дают потомства. Известный пример — мул — гибрид лошади и осла. Будучи вполне жизнеспособным, мул бесплоден из-за нарушений мейоза: хромосомы отличаются по форме и не могут конъюгировать.

Скрещиванию особей разных видов препятствует *пространственная изоляция*. Каждый вид занимает более или менее обширный *ареал* (от *лат. area* — область, пространство). Иногда он сравнительно невелик: для видов, обитающих в Байкале, он ограничивается этим озером. В других случаях ареал вида охватывает огромные территории. Так, чёрная ворона почти повсеместно распространена в Западной Европе. Восточная Европа и Западная Сибирь населены другим видом ворон — серой.

Существование определённых границ распространения вида не означает, что все особи свободно перемещаются внутри ареала. Степень подвижности особей выражается расстоянием, на которое может перемещаться животное, т.е. *радиусом индивидуальной активности*. У растений этот радиус определяется расстоянием, на которое распространяются пыльца, семена или вегетативные части, способные дать начало новому растению. Для виноградной улитки радиус активности составляет несколько десятков метров, для северного оленя — более ста километров. Вследствие ограниченности радиусов активности лесные полёвки, обитающие в одном лесу, имеют немного шансов встретиться в период размножения с лесными полёвками, населяющими



соседний лес. Травяные лягушки, мечущие икру в одном озере, изолированы от лягушек другого озера, расположенного в нескольких километрах от первого. В обоих случаях изоляция неполная, поскольку отдельные полёвки и лягушки могут мигрировать из одного места обитания в другое.

Перечисленные механизмы, предотвращающие обмен генами между видами, имеют неодинаковую эффективность, но в комплексе в природных условиях они создают непроницаемую генетическую изоляцию между видами. Следовательно, вид — реально существующая, генетически неделимая единица органического мира.

Критерии вида. Существует ряд общих особенностей, или критериев, вида. Свидетельством реальности вида может служить только наличие всего комплекса этих критериев.

Морфологический критерий определяет сходство внешнего и внутреннего строения, однако его недостаточно для различения видов, имеющих сходство в строении (виды-двойники существуют, например, у комаров, тлей, крыс и др.).

Физиологический критерий характеризует сходство процессов жизнедеятельности особей одного вида.

Биохимический критерий базируется на способности отдельных видов синтезировать специфические белки, что связано с уникальными для каждого из них последовательностями нуклеотидов в молекулах ДНК.

Генетический критерий основывается на видовой специфичности набора хромосом, их индивидуальности, различиях в нуклеотидном составе молекул ДНК.

Экологический критерий касается особенностей взаимодействия организмов одного вида друг с другом, представителями других видов и факторами неживой природы.

Географический критерий определяет территорию обитания (ареал) вида.

Популяция. Любой вид, как правило, распадается на относительно изолированные группы особей (рис. 24). Для большинства видов характерна иерархическая внутривидовая структура, состоящая из ряда внутривидовых подразделений (популяция, раса, подвид). Основной единицей существования воспроизводства и эволюции вида является популяция.

Популяция — это совокупность особей данного вида, продолжительное время (большое число поколений) занимающих определённый участок территории внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от других популяций.

Популяции формируются исторически в определённых экологических условиях. Каждая популяция характеризуется: единым ареалом; общим генофондом; приспособленностью к определённым условиям; определённой

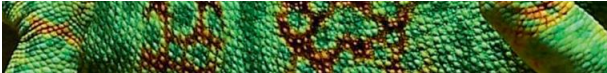


Рис. 24. Группы животных: 1 — прайд львов; 2 — стая волков; 3 — стадо оленей; 4 — косяк рыбы

численностью особей и её динамикой (зависит от соотношения рождаемости и смертности); собственной возрастной (соотношение особей разного возраста) и половой (соотношение особей разного пола) структурой; плотностью (число особей или биомасса, отнесённые к единице занимаемой площади или объёма); репродуктивным потенциалом (скорость размножения).

Единство популяции и её относительная обособленность определяют свободное скрещивание особей. Внутри популяции каждый организм имеет равную вероятность на образование брачной пары с любым организмом другого пола. Внутри популяции свободное скрещивание происходит чаще, чем между особями соседних популяций. Члены популяции характеризуются генетической общностью и способностью (через скрещивание) свободно обмениваться генетической информацией при формировании последующих поколений.

В природных условиях на популяции действуют внешние и внутренние факторы, нарушающие генетическое равновесие. Популяции редко бывают совершенно замкнутыми, обычно между ними происходит обмен генами (миграция особей, перенос семян, спор, пыльцы). Важнейшим следствием этого становится объединение всех популяций в единую видовую систему. Если внешние факторы оказывают длительное давление на



популяцию, то её генетический состав может измениться. Такое длительное и направленное изменение генотипического состава популяции, её генофонда называют элементарным эволюционным явлением. Без изменения генофонда популяции эволюционный процесс невозможен.

Вид — основная таксономическая единица в систематике и целостная биологическая структура, которая репродуктивно изолирована от других подобных структур. Основной единицей вида является популяция. Эволюционные преобразования начинаются в популяции, поэтому её считают единицей эволюции.



Запомните!

Вид. Критерии вида: морфологический, генетический, физиологический, биохимический, экологический и географический. Ареал. Популяция. Изоляция: пространственная, репродуктивная.



Проверьте свои знания

1. Дайте определение понятия «микроэволюция».
2. Какой вклад внёс в развитие биологии Карл Линней?
3. Чем занимается наука систематика? Каковы принципы современной биологической классификации организмов?
4. Каковы критерии вида? Почему для определения вида необходим учёт всех критериев?
5. Расскажите, какие биологические механизмы препятствуют обмену генами между видами.
6. В чём причина бесплодности межвидовых гибридов?
7. Что такое популяция? Охарактеризуйте её свойства.



Подумайте!

1. Как доказать реальность существования вида?
2. Какой критерий вида является, по вашему мнению, самым главным? Объясните свою точку зрения.
3. Почему популяцию, а не вид считают элементарной единицей эволюции?

ЗАДАНИЕ

Составьте и заполните таблицу «Критерии вида».



§ 6. Факторы эволюции

Вспомните. Чем отличаются модификации от мутаций? Что такое кариотип? Почему действие естественного отбора всегда имеет направленный характер? Какие организмы называют гомозиготными по какому-либо признаку?

Как вы думаете. В чём заключается роль мутаций в процессе эволюции? Что такое изоляция? Чем отличается географическая изоляция от экологической?

Благодаря изучению генетических процессов в популяции живых организмов эволюционная теория получила дальнейшее развитие. Синтез классического дарвинизма и достижений генетики начала XX в. привёл к формированию современной *синтетической теории эволюции*. Большой вклад в популяционную генетику внёс русский учёный Сергей Сергеевич Четвериков (1880—1959) (рис. 25). Он обратил внимание на насыщенность природных популяций рецессивными мутациями, а также на колебания частоты генов в популяциях в зависимости от действия факторов внешней среды и обосновал положение о том, что эти два явления — ключ к пониманию процессов эволюции.

Факторы эволюции, имеющие ненаправленный характер.

Наследственная (мутационная) изменчивость — изменчивость, затрагивающая наследственный материал организма: гены, хромосомы и кариотипы.

Мутационный процесс — постоянно действующий источник наследственной изменчивости. Гены мутируют с определённой частотой. Подсчитано, что в среднем одна гамета из 10 тыс. — 1 млн гамет несёт вновь возникшую мутацию в определённом локусе. Так как одновременно мутируют многие гены, то 10—15% гамет несут те или иные мутантные аллели. Поэтому природные популяции насыщены самыми разнообразными мутациями, которые чаще всего находятся в рецессивном состоянии. Благодаря комбинативной изменчивости они могут широко

распространяться в популяциях. Большинство растений и животных гетерозиготны по многим генам. Дело в том, что в подавляющем большинстве случаев гетерозиготные организмы лучше приспособлены, чем гомозиготные.

Вернёмся к примеру с бабочкой берёзовой пяденицей. Казалось бы, светлоокрашенных бабочек, гомозиготных по рецессивному аллелю (**aa**), обитающих в лесу с тёмными стволами берёз, быстро должны уничтожить птицы, и единственной формой в данных условиях обитания должны стать тёмноокрашенные бабочки, гомозиготные по доминантному аллелю (**AA**). Однако продолжают встречаться светлые бабочки берёзовой пяденицы. Оказалось, что гусеницы, гомозиготные по доминантному аллелю, плохо усваивают листья берёз, покрытые гарью и копотью, а гетерозиготные гусеницы (**Aa**) растут на этом корме гораздо лучше. Следовательно, большая биохимическая гибкость гетерозиготных организмов приводит к их лучшему выживанию, и отбор действует в их пользу.

Таким образом, хотя большинство мутаций в данных конкретных условиях оказывается вредным и в гомозиготном состоянии мутации, как правило, снижают жизнеспособность особей, они сохраняются в популяциях благодаря отбору в пользу гетерозигот. Для понимания эволюционных преобразований важно помнить, что мутации, вредные в одних условиях, могут повышать жизнеспособность особей в других. Мутация, обуславливающая недоразвитие или полное отсутствие крыльев у насекомых, безусловно, вредна в обычных условиях, и бескрылые особи быстро вытесняются крылатыми. Однако на океанических островах и горных перевалах, где дуют сильные ветры, такие насекомые имеют преимущество перед особями с нормально развитыми крыльями.

Таким образом, мутационный процесс, по мнению российского учёного С.С. Четверикова, — источник резерва наследственной изменчивости популяций. Поддерживая высокую степень генетического разнообразия популяций, он предоставляет материал для естественного отбора, который действует направленно, выбирая наиболее приспособленных к конкретным условиям особей.

Помимо мутаций в популяциях, действуют и другие факторы, приводящие к ненаправленному, случайному изменению частоты генов.

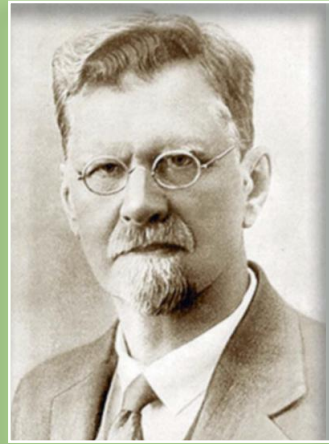


Рис. 25. С.С. Четвериков



Дрейф генов — процесс случайного, ненаправленного изменения частот аллелей в популяции.

Случайные события, например преждевременная гибель или участие в размножении только части особей, могут привести к тому, что частоты некоторых генов могут внезапно измениться всего за несколько поколений. В итоге генофонд оставшейся популяции будет существенно отличаться от генофонда исходной. Явление, при котором популяция проходит через период малой численности, называется *эффектом «бутылочного горлышка»* (рис. 26). Вслед за спадом численности начинается массовое размножение, начало которому даёт та немногочисленная группа, которая прошла через «горлышко». Генетический состав этой группы определит генетическую структуру всей популяции. При этом некоторые мутации могут совсем исчезнуть, а концентрация других может случайно резко повыситься.

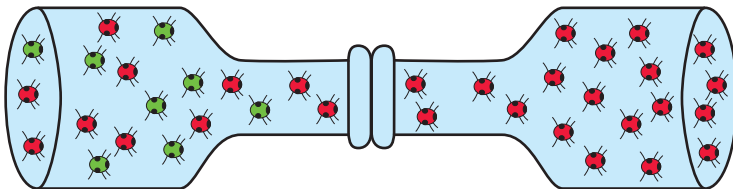
С дрейфом генов связано явление, называемое *эффектом основателя*. Когда небольшое количество особей, несоизмеримое с общей численностью, покидает популяцию и занимает новую область, то велика вероятность того, что эти основатели новой популяции могут обладать не вполне типичным составом аллелей исходного генофонда.

Одной из частных причин дрейфа генов могут быть популяционные волны.

Популяционные волны — очень резкие колебания численности особей, составляющих популяцию.

В биоценозах часто наблюдаются периодические колебания численности популяций, связанные с взаимоотношениями типа «хищник — жертва». Усиленное размножение травоядных животных на основе увеличения

Рис. 26. Эффект «бутылочного горлышка»



Исходная популяция

Популяция, прошедшая через
«бутылочное горлышко»

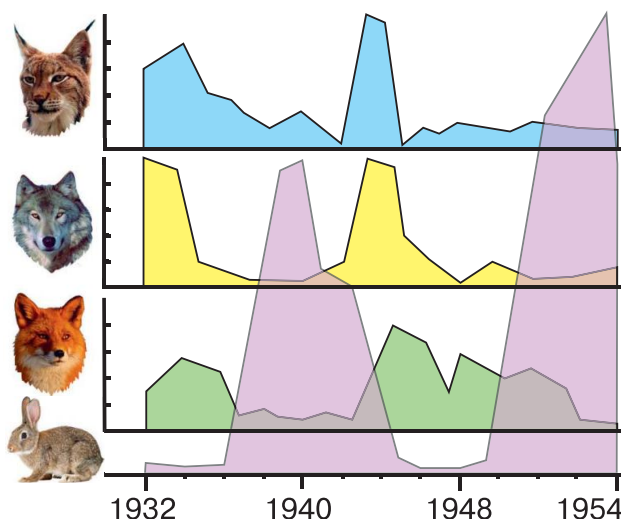
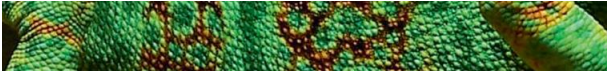


Рис. 27. Колебания численности зайцев и хищников в центре европейской части России

кормовых ресурсов приводит, в свою очередь, к усиленному размножению хищников. Увеличение же численности плотоядных вызывает массовое уничтожение их жертв. Возникший вследствие этого недостаток кормовых ресурсов обуславливает сокращение численности хищников (рис. 27) и восстановление размеров популяций жертв. При миграциях животных или растений на новом месте обитания поселяется незначительная часть исходной популяции. Генофонд вновь образованной популяции неизбежно может отличаться от частоты генов исходной. Природные катастрофы — лесные или степные пожары, наводнения и т.п. — вызывают массовую неизбирательную гибель живых организмов, особенно малоподвижных форм (растения, моллюски, рептилии, земноводные и др.). Особи, избежавшие гибели, остаются в живых благодаря чистой случайности. В популяции, пережившей катастрофическое понижение численности, частоты аллелей будут иными, чем в исходной популяции.

Популяционные волны служат «поставщиками» эволюционного материала. Их влияние может быть особенно заметно в очень малых популяциях, численность размножающихся особей в которых не превышает 500. Действие популяционных волн, так же как и действие мутационного процесса, ненаправленно (хотя природа действия этих факторов различна).



Однако популяционные волны и мутационный процесс даже при совместном действии ещё не могут обеспечить эволюции. Для этого нужны факторы, длительно действующие в одном направлении. Важнейший из них — изоляция.

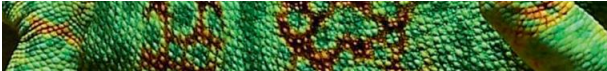
Изоляция — ограничение или полное отсутствие скрещиваний между особями разных популяций одного вида.

К изменениям частоты генов в популяциях приводит также ограничение обмена генами между ними вследствие *пространственной (географической)* изоляции. Реки служат преградой для сухопутных видов, горы и возвышенности изолируют равнинные популяции. Степень пространственной изоляции зависит от подвижности особей или от способности распространения спор, семян, пыльцы, а также от величины физических преград. В результате пространственной изоляции единый генофонд популяции или вида может быть разорван на несколько разобщённых частей.

Биологическая (экологическая) изоляция возникает при наличии факторов, препятствующих скрещиванию между обитающими вместе организмами. Свободному скрещиванию препятствуют расселение по разным экологическим нишам; особенности поведения, изменения строения, физиологической активности или сроков размножения; различия наследственного аппарата, приводящие к несовместимости половых клеток (*репродуктивная изоляция*). После оплодотворения возможны изменения, приводящие к развитию полностью или частично стерильных гибридов, а также потомков с пониженной жизнеспособностью.

Эволюционное значение разных форм изоляции состоит в том, что при этом закрепляются и усиливаются генетические различия между популяциями. Изменения частот генов, вызванные мутационным процессом, дрейфом генов и изоляцией, носят случайный, ненаправленный характер, и даже их совместного действия недостаточно для осуществления направленной эволюции. Направляющим фактором эволюционного процесса служит естественный отбор.

Факторы эволюции: наследственная изменчивость, популяционные волны и изоляция изменяют генофонды популяций и обеспечивают их независимое существование. Действуя ненаправленно, они предоставляют разнообразный материал для естественного отбора.



Запомните!

Факторы эволюции, имеющие ненаправленный характер: наследственная изменчивость, популяционные волны, изоляция (географическая, экологическая). Дрейф генов.



Проверьте свои знания

1. Какие популяционно-генетические закономерности выявил русский биолог С.С. Четвериков?
2. Назовите основные факторы эволюции.
3. Какова частота мутирования одного определённого гена в естественных условиях существования особей?
4. В чём причина гетерозиготности природных популяций? В чём заключается эволюционная роль мутаций?
5. Какие существуют причины изменения численности особей в популяции?
6. Что такое дрейф генов?
7. Какие процессы приводят к изменению частоты встречаемости генов в популяциях?
8. Объясните суть явления, которое называется эффектом «бутылочного горлышка».
9. Чем географическая изоляция отличается от экологической?
10. В чём вы видите причины неполной изоляции различных популяций одного и того же вида?



Подумайте!

1. Каково значение разнообразия генофондов популяций вида?
2. Почему разные популяции одного и того же вида отличаются друг от друга по частоте встречаемости генов?
3. Почему мутации, популяционные волны и изоляция являются факторами эволюции, имеющими ненаправленный характер? В чём их отличие от естественного отбора?



§ 7. Формы естественного отбора

Вспомните. В чём различие понятий «генотип» и «генофонд»? Что такое дивергенция?

Как вы думаете. Что такое реликтовые формы? Каким образом сохранились до наших дней некоторые древние животные и растения? В чём заключается творческая роль естественного отбора?

Естественный отбор — ведущий, направляющий, движущий фактор эволюционного развития органического мира. В результате его действия выживают и оставляют потомство в первую очередь наиболее приспособленные особи каждого вида, а менее приспособленные организмы чаще погибают или не принимают участия в размножении.

Биологическое значение особи, давшей потомство, определяется вкладом её генотипа в генофонд популяции. Объектами отбора в популяциях служат фенотипы отдельных особей. Фенотип организма формируется на основе реализации информации генотипа в определённых условиях среды.

Таким образом, из поколения в поколение отбор по фенотипам ведёт к отбору генотипов, так как потомкам передаются не признаки, а генные комплексы.

Для эволюции имеют значение не только генотипы, но и фенотипы и фенотипическая изменчивость. Ген может оказывать влияние на многие признаки. Поэтому в сферу действия отбора нередко попадают не только свойства, повышающие вероятность оставления потомства, но и признаки, не имеющие прямого отношения к воспроизводству. В ряде случаев отбор может быть направлен на приспособление видов друг к другу (цветки растений и посещающие их насекомые). Также могут формироваться признаки, вредные для отдельной особи, но обеспечивающие выживание вида в целом, например, нападая на врага, ужалившая пчела гибнет, но помогает сохранить семью. В целом отбор играет творческую роль в природе, поскольку закрепляются те из ненаправленных наследственных изменений, которые могут привести к образованию новых, более

совершенных в данных условиях существования групп особей. Различают три основные формы естественного отбора: стабилизирующий, движущий и разрывающий.

Стабилизирующий отбор способствует сохранению в относительно постоянных условиях среды особей с признаками, близкими к среднему значению. На важность этой формы отбора указал выдающийся русский учёный Иван Иванович Шмальгаузен (1884 — 1963) (рис. 28). Стабилизирующий отбор поддерживает средние значения, выбраковывая мутационные отклонения от ранее сформировавшейся нормы (рис. 29). Сходство особей, которое можно наблюдать в любой популяции животных или растений, — результат действия этой формы отбора.

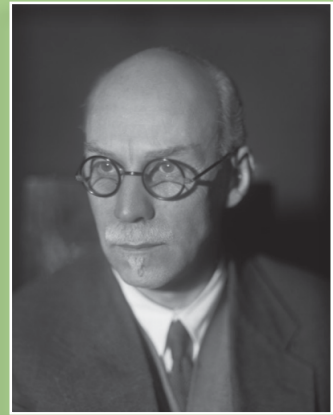


Рис. 28. И.И. Шмальгаузен

Стабилизирующая форма отбора действует до тех пор, пока сохраняются условия, способствовавшие образованию того или иного признака или свойства. Так, у насекомоопыляемых растений размеры и форма цветков очень устойчивы. Объясняется это тем, что цветки должны соответствовать строению и размерам тел насекомых-опылителей. Шмель не способен проникнуть в слишком узкий венчик, хоботок бабочки не сможет коснуться слишком коротких тычинок у растений с очень длинным венчиком. В обоих случаях цветки, не вполне соответствующие строению опылителей, не образуют семян. Наблюдения за избирательной гибелью домовых воробьёв при неблагоприятных погодных условиях показали наличие стабилизирующего отбора. У выживших птиц различные признаки оказывались близкими к средним значениям, а среди погибших

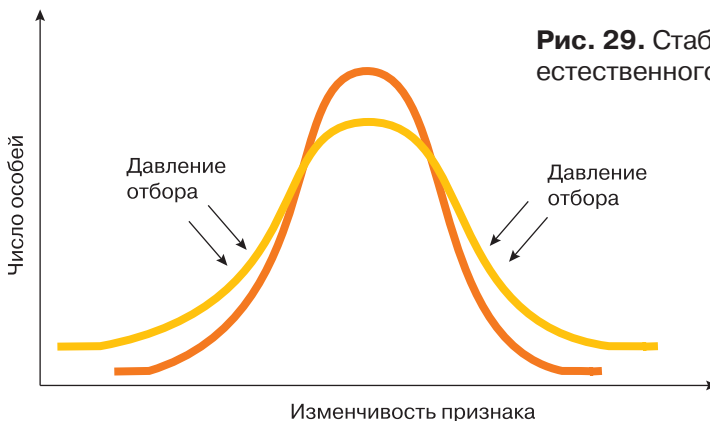


Рис. 29. Стабилизирующая форма естественного отбора



Рис. 30. Древнейшие животные, сохранившиеся в современной фауне:
1 — кистепёрая рыба; 2 — гаттерия; 3 — реликтовый таракан

эти признаки сильно варьировали. Примером действия отбора в популяциях людей служит большая выживаемость новорождённых детей со средней массой тела. Следовательно, гены, обусловившие отклонение от нормы, устраняются из генофонда вида.

Стабилизирующая форма естественного отбора предохраняет сложившийся генотип от действия мутационного процесса. В относительно постоянных условиях внешней среды наибольшей приспособленностью обладают особи со средней выраженностью признаков, а резкие отклонения от средней нормы устраняются. Благодаря стабилизирующему отбору до наших дней сохранились «живые ископаемые» (рис. 30): кистепёрая рыба латимерия, предки которой были широко распространены в палеозойскую эру; представитель древних рептилий гаттерия, внешне похожая на крупную ящерицу, но не утратившая черты строения пресмыкающихся мезозойской эры; реликтовый таракан, мало изменившийся со времён каменноугольного периода; голосеменное растение гинкго, дающее представление о древних формах растений, вымерших в юрском периоде мезозойской эры (рис. 31). Североамериканский опоссум (рис. 32) сохраняет облик, характерный для животных, живших десятки миллионов лет назад.

Движущий отбор благоприятствует изменению среднего значения признака в изменённых условиях среды. Он обуславливает постоянное преобразование приспособлений видов

Рис. 31. Гинкго



соответственно изменениям условий существования. В каждой популяции особи различаются по генотипу и фенотипу. При изменении условий внешней среды часть особей, с некоторыми отклонениями от средней нормы вида, может оказаться в более благоприятном положении и оставить больше потомства. Это приведёт к изменению генетической структуры вида; вариационная кривая сместится

в направлении приспособления к новым условиям существования (рис. 33).

Ранее нами был рассмотрен пример с бабочкой берёзовой пяденицей. Распространение тёмноокрашенного мутанта этой бабочки — результат движущего отбора. Очень яркими примерами действия отбора в пользу признака, способствующего выживанию, может служить возникновение устойчивости животных к ядохимикатам. Например, среди серых крыс очень быстро распространилась устойчивость к яду, вызывающему кровотечение. Сейчас

крысы без вреда для себя поедают отравленные приманки. К аналогичному результату привело использование ядохимикатов в сельском хозяйстве при борьбе с «вредными» насекомыми. После воздействия ядов выживают особи, случайно оказавшиеся к нему устойчивыми. Эти животные имеют преимущество в размножении, благодаря которому признак устойчивости распространяется и становится преобладающим среди особей данного вида.

Изменение признака может происходить как в сторону его усиления, большей выраженности, так и в сторону ослабления, вплоть до полного исчезновения. Примерами утраты признака как результата действия движущего отбора могут служить редукция глаз у кротов, ведущих подземный образ жизни, или у пещерных животных, утрата крыльев у некоторых видов птиц и насекомых, редукция корней и листьев у растений-паразитов, пищеварительной системы у ленточных червей и многие другие.



Рис. 32. Североамериканский опоссум

Рис. 33. Движущая форма естественного отбора: А, Б, В — последовательные изменения среднего значения признака



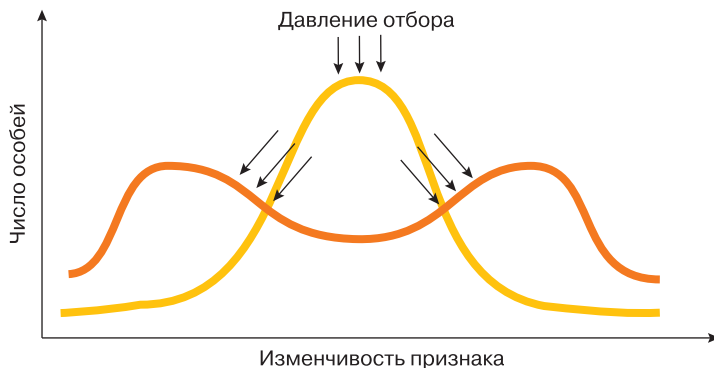


Рис. 34. Разрывающая форма естественного отбора

Таким образом, ведущая роль в распространении новых признаков внутри данного вида при изменении условий внешней среды принадлежит движущей форме естественного отбора.

Разрывающий отбор действует на территориях с достаточно разнообразными условиями. Когда основная масса вида утрачивает приспособленность к сильно изменившимся условиям среды, преимущество приобретают особи с крайними отклонениями от средней нормы, и на основе одной группы формируются несколько новых (рис. 34). В результате такого отбора популяция становится полиморфной (включающей несколько различающихся по какому-либо признаку групп).

Естественный отбор играет в природе творческую роль. Из многообразия ненаправленных, случайных наследственных изменений он отбирает и закрепляет только те, которые обеспечивают максимальное приспособление организмов к конкретным условиям существования. Движущая форма отбора приводит к появлению новых признаков, а стабилизирующая направлена на сохранение уже существующих.



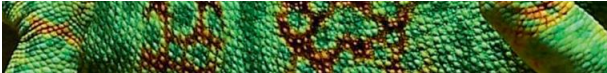
Запомните!

Естественный отбор. Формы естественного отбора: движущий, стабилизирующий, разрывной. Реликтовые формы.



Проверьте свои знания

1. Дайте определение естественного отбора.
2. На чём основывается действие естественного отбора? В чём заключается генетическая сущность естественного отбора?



3. Охарактеризуйте формы естественного отбора.
4. В каких условиях внешней среды действует каждая форма естественного отбора?
5. Приведите примеры действия стабилизирующей формы естественного отбора.
6. Каков результат действия движущей формы естественного отбора?
7. Как связаны между собой стабилизирующая, движущая и разрывающая формы естественного отбора?



Подумайте!

1. В чём заключается причина появления у микроорганизмов, вредителей сельского хозяйства и других организмов устойчивости к ядохимикатам?
2. Какая из форм естественного отбора поддерживает относительное постоянство видов в природе?
3. В чём заключается творческая роль естественного отбора?

ЗАДАНИЕ

Составьте кластер по теме «Формы естественного отбора».



§ 8. Образование новых видов

Вспомните. Какая форма естественного отбора приводит к образованию новых видов? Как происходит образование половых клеток? Как называются мутации, приводящие к изменению числа хромосом? Какие формы изоляции вам известны?

Как вы думаете. Как происходит возникновение новых видов? Что является главным доказательством появления нового вида?

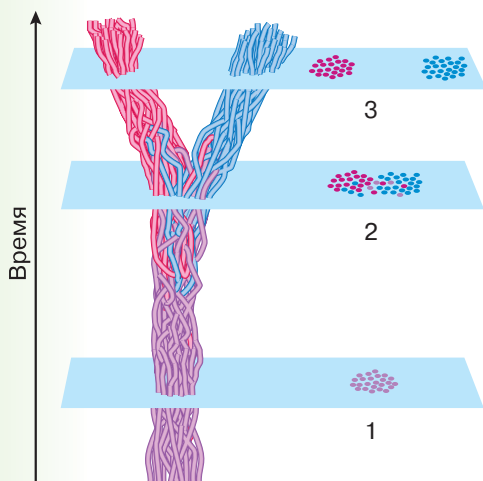


Рис. 35. Схема видообразования:
1 — исходный вид; 2 — образование
двух подвидов; 3 — два новых вида

Микроэволюция в природе завершается видообразованием. Внутри каждого вида возможен процесс скрещивания и образования плодovитого потомства между особями разных популяций. Каждый вновь возникающий вид прерывает связи с родительским видом и превращается в обособленную совокупность организмов. В результате изоляции популяций прекращается скрещивание между расходящимися формами, не происходит обмен наследственной информацией и популяции или группы популяций становятся самостоятельными генетическими системами (рис. 35). Скрещивание особей нового и старого вида становится невозможным. При видообразовании формируется новый генный комплекс, отличный от родительского.

Вид — наименьшая генетически устойчивая целостная надорганизменная система в живой природе. В ходе видообразования в основном осуществляются два процесса: возникновение адаптаций к изменению условий среды и обособление на основе изоляции новых видов.

Можно выделить два основных пути видообразования: *аллопатрический* (от *греч.* *allos* — другой и *patris* — родина) и *симпатрический* (от *греч.* *syn* — вместе).

Аллопатрическое, или географическое, видообразование происходит при пространственной изоляции дивергировавших групп — миграции или разделения ареала различными преградами (реки, горы и др.). При расселении за пределы ареала исходного вида популяции попадают в иную среду обитания, что может привести к образованию новых видов с помощью микроэволюционных процессов.

Примером дифференциации вида в процессе миграции может быть сложный комплекс популяций и подвидов вида синицы большой. Расселение этого вида из Европы на восток шло двумя путями: северным — до Дальнего Востока и южным — вокруг нагорий Центральной Азии. На Дальнем Востоке встречаются евроазиатские и восточноазиатские подвиды, которые при совместном обитании не дают гибридов,

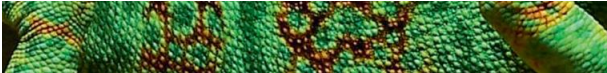


Рис. 36. Разнообразие вьюрков на Галапагосских островах

т.е. не скрещиваются. В процессе расселения и преобразования между ними возник репродуктивный барьер. На Галапагосских островах существует вид вьюрков, который стал исходным видом в серии видообразовательных процессов (рис. 36).

Видообразование путём фрагментации ареала материнского вида можно проследить на примере ландыша. Несколько миллионов лет назад лесной ландыш был широко распространён по всей Евразии, в ледниковом периоде его ареал распался на несколько территорий. К настоящему времени сформировалось несколько новых видов.

Аллопатрическое видообразование протекает сравнительно медленно, на протяжении сотен тысяч поколений. За такие длительные промежутки времени в изолированных частях ареала популяции подвергаются различным направлениям давления естественного отбора, вырабатываются биологические особенности, которые приводят к репродуктивной самостоятельности и изоляции даже при разрушении первичной изолирующей преграды.

Симпатрическое видообразование обычно осуществляется в пределах ареала исходного вида. Можно выделить несколько способов симпат-



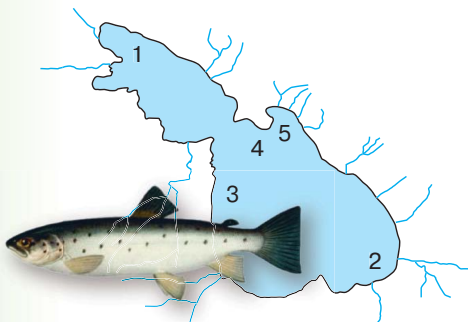
рического видообразования. Известны группы близких видов растений с кратным числом хромосом. В родах Табак и Картофель обычно их 12, но имеются виды и с 24, 48, 72 хромосомами. Можно предположить, что видообразование шло путём *полиплоидизации*, т.е. посредством удвоения, утроения, учетверения и т.д. числа хромосом исходного вида. Подобные процессы можно воспроизвести экспериментальным путём, воздействуя особыми веществами, например колхицином, на нити веретена деления во время метафазы мейоза делящейся клетки. Нити разрушаются, и удвоенные хромосомы не расходятся, а остаются в одной клетке. Хромосомный набор, таким образом, удваивается. Половая клетка с таким удвоенным набором, сливаясь с гаплоидной гаметой, даёт зиготе триплоидный набор хромосом.

Другой способ симпатрического видообразования — *гибридизация с последующим удвоением числа хромосом*. В настоящее время известно немало видов, гибридогенное происхождение которых не вызывает сомнения (межвидовые гибриды обычны среди растений, например рябино-кизильник, некоторые виды малины, полыни и др.). Например, культурная слива с $2n = 48$ возникла путём гибридизации тёрна ($2n = 16$) с алычой ($2n = 8$) с последующим удвоением числа хромосом.

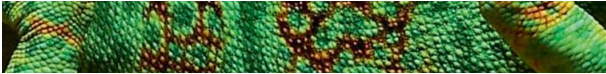
Третий способ симпатрического видообразования связан, как правило, с крупными *хромосомными перестройками*, в результате которых возникает репродуктивная изоляция особей внутри первоначально единой популяции. Этот способ широко распространён как у растений, так и у животных.

Хорошо изучен и такой способ симпатрического видообразования, как *возникновение новых форм в результате сезонной изоляции*. Известно существование сезонных рас у растений, например у погремка, раннецветущие и поздноцветущие формы которого полностью репродуктивно изолированы. Подобные формы обнаружены также у рыб; так,

Рис. 37. Места нереста различных форм севанской форели



форель озера Севан по срокам размножения образует озимые и яровые расы. Различные формы нерестятся в разное время и в разных частях озера (отмечены цифрами на рис. 37). Так, в северо-западной части озера форель нерестится в ноябре или в начале декабря. В юго-восточной части озера нерест происходит с середины января до середины марта. В центральной части озера форель откладывает икру в октяб-



ре. Ещё одна группа нерестится в устье реки в течение лета, а с октября по январь нерест идёт в нижнем течении реки.

Другой способ основан на *экологической изоляции* видов. Изолирующими барьерами служат различия в условиях обитания. В результате образуются экологические подвиды, предпочитающие те или иные экологические ниши. Например, у яблонной мухи существуют две экологические группы, которые предпочитают размножаться на двух разных растениях — яблоне и боярышнике. Изначально они жили только на боярышнике, но с завозом в Америку яблонь группа этих насекомых открыла для себя новую экологическую нишу. Яблоневая раса спаривается почти исключительно на яблонях, а боярышниковая — на боярышнике, что, учитывая разное время созревания плодов, приводит к репродуктивной изоляции. В скором времени возможно будет выделить из этих рас самостоятельные виды.

Особенностью симпатрического видообразования является то, что он приводит к возникновению новых видов, всегда морфологически близких к исходному виду. Лишь в случае гибридогенного возникновения видов появляется новая видовая форма, отличная от каждой из родительских.

Микроэволюция — процесс образования новых видов, происходящий под действием естественного отбора. Всё многообразие современных видов в природе возникло путём аллопатрического (географического) и симпатрического (экологического) видообразования.



Запомните!

Микроэволюция. Видообразование: аллопатрическое, симпатрическое.



Проверьте свои знания

1. Какой процесс называется микроэволюцией?
2. Перечислите способы видообразования.
3. Какую роль играет изоляция в процессе видообразования?
4. Каковы основные механизмы аллопатрического видообразования?
5. Охарактеризуйте симпатрическое видообразование. Приведите примеры.
6. Какие способы симпатрического видообразования вам известны?



Подумайте!

1. Происходит ли процесс видообразования в наше время и можно ли его наблюдать? Приведите примеры.
2. Почему в природе существует естественный отбор?



§ 9. Приспособленность — результат взаимодействия факторов эволюции

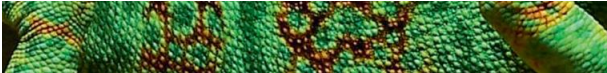
Вспомните. Что такое адаптация? Перечислите приспособления организмов, обитающих в засушливых, жарких условиях. Какие особенности имеют растения, произрастающие в тундре? В пустыне?

Как вы думаете. Чем скрывающая покровительственная окраска отличается от предупреждающей? Что такое мимикрия? Почему приспособления носят относительный характер?

Приспособления организмов, их адаптации, обеспечивают выживание и размножение организмов в конкретной среде и являются результатом действия факторов эволюции в конкретных условиях существования. В ходе эволюционного процесса на первой стадии в результате мутаций и новых комбинаций генов в потомстве при половом размножении появляются новые наследственные изменения. Вторая стадия характеризуется упорядочиванием случайной изменчивости, т.е. естественным отбором. Именно отбор определяет формирование адаптаций и направление эволюционного процесса в целом.

Приспособленность к условиям среды повышает шансы особей на выживание и оставление большего числа потомков.

Морфологические адаптации касаются особенностей внешнего строения организмов. Всем хорошо известен облик дельфина. Его движения в воде легки и точны. Самостоятельная скорость движения достигает 40 км/ч. Обтекаемая форма позволяет избежать образования завихрений потоков воды, обтекающих тело животного.



Черепаха



Броненосец



Ёж

Рис. 38. Животные, защищённые от хищников

Подобная форма тела способствует быстрому передвижению и в воздушной среде. Маховые и контурные перья, покрывающие тело птицы, полностью сглаживают его форму. В результате по скорости передвижения птицы намного превосходят всех других животных. Например, сокол-сапсан пикирует на свою жертву со скоростью до 290 км/ч. Птицы быстро двигаются даже в воде. Наблюдали антарктического пингвина, плывущего под водой со скоростью около 35 км/ч.

Подобные адаптации существуют и у растений. Например, в тундре растения имеют стелющиеся или подушковидные формы, которые устойчивы к сильным ветрам, а зимой укрываются под снегом.

Приспособления организмов, позволяющие им быть постоянно готовыми к действиям различных факторов среды, в том числе биологических, относят к первичным адаптациям. Некоторые животные, избегая встречи с хищниками, строят различные убежища, а некоторые (черепахи, броненосцы, ежи) надёжно защищены от нападения (рис. 38). У растений (кактусов, шиповника, боярышника, облепихи и др.) нередко образуются иглы и колючки, защищающие их от поедания травоядными животными. Такую же роль играют ядовитые вещества, обжигающие волоски, например у крапивы. Кристаллы щавелевокислого кальция, накапливающиеся в шипах некоторых растений, предохраняют их от поедания гусеницами, улитками и даже грызунами.

Покровительственная окраска тоже служит средством защиты от врагов. Покровительственной называют любую окраску покровов тела, позволяющую организмам выжить в характерных для них условиях. Одной из форм такой окраски является скрывающая. Птицы, насиживающие яйца на земле, сливаются с окружающим фоном. Мало заметны и их яйца (рис. 39),

Рис. 39. Скрывающая окраска скорлупы яиц





Аргусов варан



Импала



Лев

Рис. 40. Покровительственная окраска животных саванн и полупустынь

имеющие пигментированную скорлупу, и вылупляющиеся из них птенцы. Защитный характер пигментации яиц подтверждается тем, что у видов, чьи гнёзда недоступны для врагов, у птиц, откладывающих яйца на скалах или закапывающих их в землю, покровительственная окраска скорлупы не развивается.

Гусеницы бабочек часто зелёные, под цвет листьев, или тёмные, под цвет коры или земли. Донные рыбы обычно окрашены под цвет песчаного дна (скаты, камбалы и др.). Однотонная покровительственная окраска свойственна как насекомым (саранча) и мелким ящерицам, так и крупным копытным (антилопы) и хищникам (лев) (рис. 40). Животные пустынь имеют, как правило, жёлто-бурую или песочно-жёлтую окраску.

Некоторые животные способны менять окраску путём перераспределения пигмента в покровах тела, например осьминоги, а из наземных животных — хамелеоны (рис. 41). Если фон среды не остаётся постоянным

Рис. 41. Животные, способные менять окраску тела

Осьминог



Хамелеон



и зависит от сезона года, то некоторые животные меняют окраску на длительный период. Например, обитатели средних и высоких широт (песец, заяц, горностай, белая куропатка) зимой имеют белую окраску, что делает их незаметными на снегу (рис. 42).

Предостерегающая окраска. Однако нередко у животных наблюдается не скрывающая их окраска тела, а, напротив, привлекающая внимание, демаскирующая. Такая окраска свойственна ядовитым, обжигающим или жалящим насекомым: пчёлам, осам, жукам-нарывникам. Тлёвую коровку, очень заметную, птицы никогда не склёвывают из-за выделяемого насекомым ядовитого секрета (рис. 43). Яркую предупреждающую окраску имеют несъедобные гусеницы, многие ядовитые змеи. Она заранее говорит хищнику о бесполезности и опасности нападения. Путём «проб и ошибок» у хищников быстро вырабатывается отрицательный условный рефлекс.

Маскировка. У животных, ведущих скрытный, затаивающийся образ жизни, полезным оказываются приспособления, придающие им сходство с предметами окружающей среды. Причудливая форма тела у рыб, обитающих в зарослях водорослей, помогает им успешно скрываться от врагов. Сходство с предметами среды обитания широко распространено у насекомых. Известны жуки, своим внешним видом напоминающие лишайники, цикады, сходные с шипами тех кустарников, среди которых они живут. Насекомые палочники похожи на небольшие бурые или зелёные веточки (рис. 44), а прямокрылые насекомые имитируют листья. Плоское тело имеют рыбы, ведущие придонный образ жизни.

Мимикрия. Эффективность предостерегающей окраски явилась причиной очень интересного явления — *подражания* (мимикрии, от греч.



Рис. 42. Покровительственная окраска куропатки



Рис. 43. Предостерегающая окраска тлёвой коровки



Рис. 44. Маскировка палочника



mimos — актёр). Мимикрией называют сходство беззащитного или съедобного вида с одним или несколькими неродственными видами, хорошо защищёнными и обладающими предостерегающей окраской. С божьей коровкой размерами, формой тела и распределением пигментных пятен очень сходен один из видов тараканов. Некоторые съедобные бабочки подражают формой тела и окраской ядовитым бабочкам, мухи — осам (рис. 45). Возникновение мимикрии связано с накоплением под контролем естественного отбора мелких удачных мутаций у съедобных видов в условиях их совместного обитания с несъедобными.

Подражание окраски скорлупы яиц наблюдается в случае гнездового паразитизма у птиц. Обыкновенная кукушка, как известно, сама не насиживает яиц, а откладывает их в гнёзда птиц других видов. Яйца кукушки настолько похожи на яйца вида-хозяина, что самка не может различить их и насиживает вместе со своими.

Поведенческие адаптации. Для выживания организмов в борьбе за существование большое значение имеет приспособительное поведение. Помимо затаивания, запугивания и демонстрации силы при приближении врага существует много других вариантов поведения, обеспечивающего выживаемость взрослых особей или молоди. Сюда относится запасание корма на неблагоприятный сезон года, что особенно присуще грызунам. Например, полёвка-экономка, распространённая в таёжной зоне, собирает зёрен злаков, сухой травы и корешков до 10 кг за сезон. Запасы кормов делают и хищные животные. Норка и некоторые хорьки запасают лягушек, ужей и мелких зверьков.

Примером приспособительного поведения служит и время наибольшей активности. В пустынях многие животные выходят на охоту ночью, когда спадает зной. Особенно большое значение имеют адаптации, связанные с продолжением рода. Брачное поведение, выбор партнёра, создание

Рис. 45. Мимикрия среди насекомых

Муха-осовидка



Оса



семьи, забота о потомстве — врождённые видовые особенности поведения. Защита потомства от врагов может проявляться в разной форме. Многие рыбы охраняют икру, откладываемую между камнями, активно отгоняя и кусая приближающихся возможных врагов. Азовские и каспийские бычки откладывают икру в ямки, вырытые в дне, и охраняют её затем в течение всего развития. Многие рыбы вынашивают икру во рту (рис. 46) или даже в желудке. Существуют виды лягушек, у которых икринки развиваются в специальной выводковой сумке на спине или в голосовых мешках самца.

Наивысшей степени развития достигают формы поведения у млекопитающих животных. Это проявляется в отношении к детёнышам. Звери не только кормят своё потомство, но и обучают. Ещё Дарвин отмечал, что хищные звери учат своих детёнышей избегать опасностей, в том числе охотников.

Физиологические адаптации. Соответствующая форма и окраска тела, целесообразное поведение обеспечивают успех в борьбе за существование только тогда, когда эти признаки сочетаются с приспособленностью процессов жизнедеятельности к условиям обитания, т.е. с физиологической адаптацией. Без такой адаптации невозможно поддержание устойчивого обмена веществ в организме в постоянно колеблющихся условиях внешней среды. Так, листья растений степей, полупустынь, пустынь приспособлены к дефициту влаги; они узкие, жёсткие, с выраженной кутикулой и восковым налётом. У некоторых растений (саксаул, эфедра) листья полностью редуцированы, их функцию выполняет стебель. Суккуленты (от *лат. succulentus* — сочный) — кактусы, агавы, молочаи — с сильно развитой водозапасающей тканью очень экономно расходуют воду. Листья этих растений превращены в колючки или чешуйки; число устьиц невелико; функцию фотосинтеза выполняют зелёные сочные стебли.

Животные засушливых областей также имеют ряд адаптаций к недостатку влаги. Значительная часть животных никогда не пьёт и довольствуется водой, находящейся в пище; в организме некоторых животных (верблюдов, рисовый и амбарный долгоносики, гусеницы платяной моли и др.) образуется метаболическая вода. Для организмов характерны различные способы экономии влаги: наличие плотных покровов, редкие дыхательные



Рис. 46. Защита потомства от хищников (желтоголовый большерот)



движения, обезвоженные продукты выделения, пониженное потоотделение, ночной образ жизни и др. С началом жаркого и сухого периодов многие животные (грызуны, черепахи, некоторые насекомые) впадают в летнюю спячку, т.е. у них временно замедляются жизненные процессы.

У человека плохо регулируется солевой обмен, и поэтому он не может долго обходиться без пресной воды, но рептилии и птицы, проводящие большую часть жизни в морских просторах и пьющие морскую воду, приобрели специальные железы, позволяющие им быстро избавляться от избытка солей.

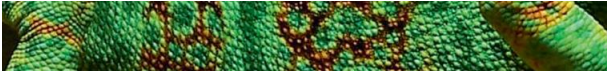
Очень интересны приспособления, развивающиеся у ныряющих животных. Многие из них могут сравнительно долго обходиться без доступа кислорода. Например, тюлени ныряют на глубину 100—200 и даже 600 м и находятся под водой 40—60 мин. Делать это им позволяет большое количество особого пигмента, находящегося в мышцах, — миоглобина, который способен связать в 10 раз больше кислорода, чем гемоглобин.

Относительный характер приспособленности организмов. Ни один из приспособительных признаков не обеспечивает абсолютной безопасности для их обладателей. Благодаря предостерегающей окраске пчёл и ос большинство птиц их не трогает, однако есть виды, которые едят и их, и их подражателей. Ёж и птица-секретарь поедают ядовитых змей. Панцирь наземных черепах надёжно защищает их от многих врагов, но хищные птицы поднимают их в воздух и разбивают о землю. Белого зайца не видно зимой на снегу, но он хорошо заметен на фоне тёмных стволов или сухой травы, если первый снег растает (рис. 47).

Рис. 47. Зимняя окраска зайца



Любые приспособления целесообразны только в обычной для вида обстановке. При изменении условий среды они оказываются бесполезными или вредными для организма. Постоянный рост резцов грызунов — очень важная особенность, но лишь при питании твёрдой пищей. Если крысу держать на мягкой пище, резцы, не изнашиваясь, вырастают до таких размеров, что питание становится невозможным. Большинство птиц не трогает перепончатокрылых, однако существуют и такие виды, которые едят не только пчёл и ос, но и их подражателей. Ночные бабочки собирают нектар в основном со светлых цветков, хорошо заметных ночью. Инстинктивно они летят на огонь, хотя и гибнут при этом.



Всё это свидетельствует о том, что приспособленность относительна. Целесообразность в живой природе — это результат эволюции видов в конкретных условиях среды, поэтому она не абсолютна и имеет временный характер.

Любая особенность строения и функционирования организма является приспособлением к условиям окружающей его среды. Целесообразность адаптаций имеет относительный характер, так как они оказываются полезными только в тех условиях, под действием которых сформировались.



Запомните!

Адаптации: морфологические, поведенческие, физиологические. Покровительственная окраска: скрывающая, предостерегающая. Маскировка. Мимикрия. Относительный характер приспособленности.



Проверьте свои знания

1. Что такое адаптация?
2. Какие адаптации организмов являются морфологическими? Приведите примеры.
3. Какая окраска тела животных получила название покровительственной? Приведите примеры.
4. Какую роль играет яркая, демаскирующая окраска некоторых видов животных?
5. В чём сущность явления мимикрии?
6. Что такое физиологическая адаптация? Приведите примеры.
7. Каким образом осуществляется приспособление к отсутствию воды у обитателей пустынь?
8. Как возникает физиологическая адаптация и что лежит в её основе?



Подумайте!

1. Распространяется ли действие естественного отбора на поведение животных? Обоснуйте ответ.
2. Почему у видов животных, заботящихся о потомстве, число потомков уменьшается? Приведите примеры.



3. Как вы думаете, почему у млекопитающих наиболее перспективным направлением развития явилась забота о детёнышах, а не увеличение численности потомства?
4. Почему приспособления носят относительный характер?

ЗАДАНИЯ

1. Составьте и заполните таблицу «Приспособления организмов различных сред обитания».
2. Подготовьте и реализуйте проект «Приспособленность организмов к среде обитания и её относительный характер».

Это интересно!

1. Все особенности строения и поведения кошки целесообразны для хищника: мягкие подушечки на пальцах и втягивающиеся когти, делающие походку бесшумной; огромный зрачок и высокая чувствительность сетчатки, позволяющие видеть почти в полной темноте; тонкий слух и подвижные ушные раковины, дающие возможность точно определять местонахождение жертвы; способность длительное время выжидать появления добычи и совершать молниеносный прыжок, а также острые зубы, удерживающие и разрывающие жертву.

2. У членистоногих и низших позвоночных образующиеся личинки ведут самостоятельный образ жизни и не зависят от родителей. Но в некоторых случаях забота родителей о потомках проявляется в форме обеспечения их пищей. Знаменитый французский естествоиспытатель Ж.А. Фабр впервые описал такое поведение у одиночных ос. Осы нападают на жуков, пауков, сверчков, богомолов, гусениц различных бабочек, обездвиживают их, погружая жало точно в нервные узлы, и откладывают на них яйца.

ГЛАВА 3

МАКРОЭВОЛЮЦИЯ





Микроэволюционные процессы продолжаютсЯ и после формирования новых видов. Эволюционные преобразования на надвидовом уровне, обуславливающие образование из видов новых родов, из родов новых семейств и далее отрядов, порядков у растений, классов, типов (отделов у растений), называют *макроэволюцией*. В результате макроэволюционных процессов формируется современная система живой природы. Между процессами, обуславливающими макро- и микроэволюцию, нет принципиальной разницы, так как в обоих случаях действуют одинаковые эволюционные факторы. Тем не менее из-за невозможности скрещивания между образовавшимися при макроэволюции новыми систематическими группами взаимООбмен генетическим материалом между ними практически исключён. Если в природных условиях между видами возникают изоляционные барьеры, начинается межвидовой отбор.



§ 10. Главные направления эволюционного процесса

Вспомните. Дайте определение понятия «вид». Перечислите отделы растений (классы хордовых животных) в порядке усложнения их организации.

Как вы думаете. В чём различие понятий «биологический прогресс» и «биологический регресс»? Какими путями виды могут достичь биологического прогресса?

С момента возникновения жизни развитие живой природы шло по пути приспособления живых организмов к среде обитания: от простого к сложному, от низкоорганизованных форм к более высокоорганизованным — и имело прогрессивный характер. Благодаря эволюционным преобразованиям в природе меняется уровень приспособленности организмов: одни систематические группы процветают, другие угнетены. Разработкой теории эволюции занимались Алексей Николаевич Северцов (1866—1936) и Иван Иванович Шмальгаузен (см. рис. 28). Северцов предложил выделить из общего понятия эволюционного процесса биологический прогресс и описал основные пути его достижения.

Биологический прогресс вида характеризуется ростом приспособленности особей к условиям среды, успешной борьбой за существование, что



приводит к увеличению численности вида, расширению его ареала, росту числа и разнообразия дочерних групп (популяций и подвидов внутри вида, видов в роде и т.п.). Известно, что в настоящее время прогрессируют многие группы насекомых, костистых рыб, цветковых растений и др.

В природе также наблюдается и **биологический регресс**, который характеризуется противоположными показателями: уменьшением численности особей группы, сокращением ареала, уменьшением числа и разнообразия дочерних групп. Биологический регресс может привести к вымиранию группы. Так, исчезли древовидные плауны и хвощи, древние папоротники, большинство древних земноводных и пресмыкающихся. В настоящее время регрессируют род Выхухоль, состоящий всего из двух видов; семейство Гинкговые и др. Деятельность человека часто служит значительным фактором биологического прогресса одних видов (одомашненных животных, культурных растений и сорняков, вредителей и паразитов) и регресса других. Например, вследствие усиленного отстрела резко сократилась численность соболя и сузился его ареал, на грани вымирания находится уссурийский тигр.

Биологический прогресс и биологический регресс — направления эволюционного процесса.

Главные пути эволюции. Изучение особенностей исторического развития живой природы показывает, что в ходе эволюции разные пути достижения биологического прогресса могут сочетаться и закономерно сменять друг друга. Северцов выделил три основных пути эволюционных преобразований: ароморфоз, идиоадаптация, общая дегенерация.

Ароморфоз (от греч. *airō* — поднимаю, *morfa* — образец, форма) — крупное эволюционное преобразование, которое приводит к усложнению организации, поднимает её на более высокий уровень.

Ароморфозы позволяют повысить жизнеспособность группы организмов в новых условиях обитания, что обеспечивает им значительные преимущества. Ароморфозы нельзя называть приспособлениями к природным условиям, у них другая функция — они повышают интенсивность жизнедеятельности особей, обуславливая их относительную независимость от среды. Ароморфозы наследуются, благодаря этому возникают новые крупные систематические группы — типы, классы. Например, предки млекопитающих и птиц приобрели ароморфозы важнейших систем: нервной, кровеносной, дыхательной и др., что обеспечило освоение ими более сложной среды обитания.

Идиоадаптация (от греч. *idios* — особенность) — мелкое приспособление к специальным условиям среды, полезное в борьбе за существование, но не изменяющее уровня организации.



Колибри



Хамелеон



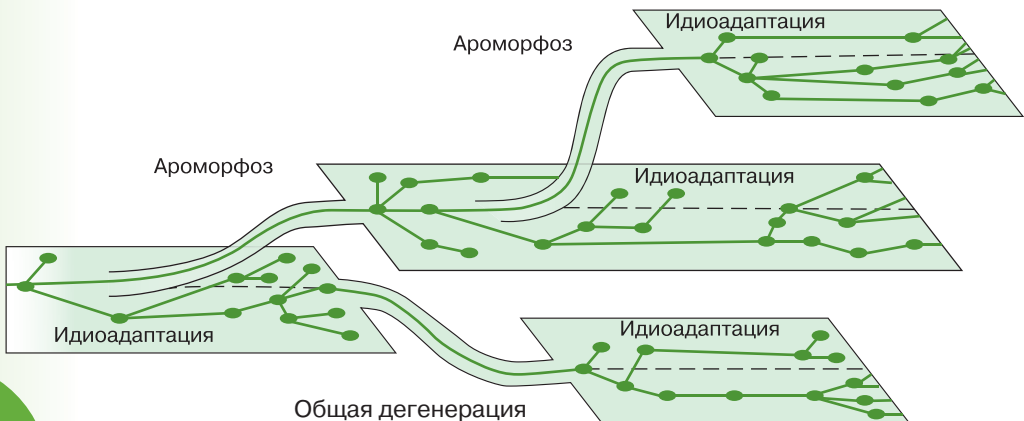
Муравьед

Рис. 48. Специализация животных

Идиоадаптации обеспечивают развитие группы в определённой среде обитания с возникновением большого числа близких форм одного уровня организации.

Классы насекомых, птиц и млекопитающих на основе многочисленных идиоадаптаций — разнообразных преобразований различных органов — дали огромное количество различных видов. Идиоадаптации к узким, ограниченным условиям среды приводят к *специализации* группы. Переход к питанию только одним видом пищи, обитание в очень однородной и постоянной среде (например, в пещерах) приводят к тому, что вне этих условий организмы жить не могут (рис. 48). Таковы колибри, питающиеся только нектаром тропических цветков, муравьеды, специализация которых тоже обусловлена ограниченным родом пищи, хамелеоны, приспособленные к обитанию на тонких ветвях деревьев, бактерии, живущие в горячих источниках. Эти организмы очень уязвимы. Специализация подавляет эволюционные возможности группы и при быстром изменении условий среды приводит к вымиранию, как это произошло, например, с мезозойскими рептилиями.

Рис. 49. Схема соотношений главных путей эволюционного процесса





Общая дегенерация — путь эволюционного развития, позволяющий достигнуть биологического процветания через упрощение организации и образа жизни в результате приспособления организма к более примитивным условиям существования.

Например, переход к паразитическому или сидячему образу жизни нередко сопровождается морфофизиологической перестройкой, редукцией ряда органов и систем. Так, ленточные черви утратили некоторые органы чувств и пищеварительную систему; у повилики атрофировались корни и листья.

В историческом развитии живого наблюдается определённая взаимосвязь путей эволюции (рис. 49). После значительных изменений организации, достигаемых возникновением ароморфозов и упрощением строения, начинаются интенсивные преобразования путём приобретения идиоадаптаций: освоение новой среды и дифференциация исходной группы на множество дочерних форм (рис. 50).

Рис. 50. Разнообразие форм у насекомоядных млекопитающих



Выдровая
землеройка

Землеройка



Прыгунчик



Кутора обыкновенная



Златокрот



Ёж обыкновенный



Выхухоль русская



Крот
обыкновенный



Микроэволюция — процесс образования новых видов. Виды в природе находятся в состоянии биологического прогресса или регресса. Макроэволюция — надвидовая эволюция, которая ведёт к образованию из видов новых родов, из родов новых семейств и т.д. Главные направления эволюции, ведущие к биологическому прогрессу: ароморфоз, идиоадаптация и общая дегенерация.



Запомните!

Макроэволюция. Биологический прогресс. Биологический регресс. Главные пути эволюции: ароморфоз, идиоадаптация и общая дегенерация. Специализация.



Проверьте свои знания

1. Дайте определение макроэволюции. Каковы результаты микро- и макроэволюции?
2. В чём сущность биологического прогресса и биологического регресса?
3. Какие виды современных животных подвержены биологическому регрессу? Каковы, по вашему мнению, причины этого явления?
4. Перечислите главные пути эволюции.
5. Что такое ароморфоз? Какие крупные ароморфозы способствовали появлению млекопитающих? Первых наземных растений? Покрытосеменных растений?
6. Что такое идиоадаптация? Приведите примеры идиоадаптаций насекомоядных млекопитающих животных. Птиц. Пресмыкающихся.
7. В чём недостаток специализации организмов?
8. Что такое общая дегенерация? Может ли общая дегенерация привести к биологическому прогрессу?
9. Приведите примеры общей дегенерации среди животных и растений.



Подумайте!

Примером какого пути эволюции является отсутствие конечностей у змей? Приспособленность птиц к полёту? Появление проводящих тканей у первых наземных растений?



§ 11. Доказательства эволюции органического мира

Вспомните. Что такое дивергенция? Какие органы называют рудиментарными? Что такое онтогенез и филогенез?

Как вы думаете. Почему существование макроэволюции требует доказательств? Какие науки могут предоставить доказательства макроэволюции? Чем отличаются гомологичные органы от аналогичных?

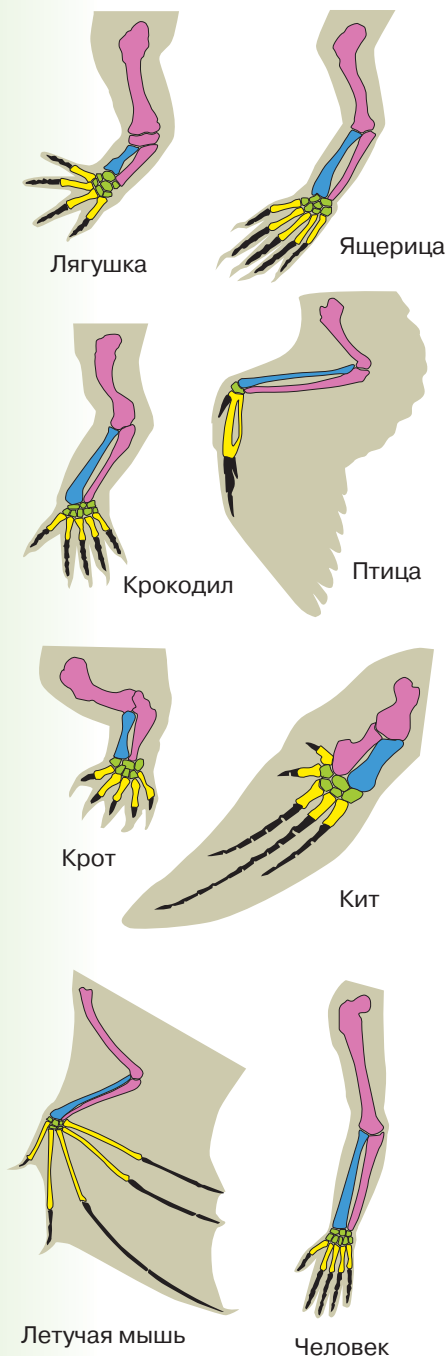
Важным результатом эволюции является возникновение новых видов. Процесс микроэволюции протекает в исторически короткие сроки и доступен наблюдению учёных. Макроэволюция — очень длительный процесс, и в течение жизни одного или даже нескольких поколений исследователей наблюдать её непосредственно не представляется возможным. Есть, однако, факты, неоспоримо свидетельствующие о том, что она существует.

Сравнительно-анатомические доказательства основаны на выявлении общих и отличных морфологических и анатомических особенностей строения различных групп организмов.

Как указывал Ч. Дарвин, в основе эволюционного процесса лежит *дивергенция*. Появление ряда видов одного рода или нескольких родов одного семейства — результат дивергентной эволюции. Дивергенция любого масштаба приводит к росту разнообразия форм жизни. Появление новых форм обычно связано с необходимостью приспосабливаться к местным географическим и экологическим условиям. Единство происхождения и эволюции этих организмов подтверждается строением гомологичных органов (рис. 51).

Гомологичные органы — органы, соответствующие друг другу по происхождению и строению, независимо от выполняемых ими функций.

К таким органам относятся, например, конечности позвоночных, видоизменения корня, стебля и листьев растений.



Развиваясь в сходных условиях, неродственные группы могут приобретать сходные признаки. Этот процесс получил название *конвергенции* (схождения признаков). Конвергентно развиваются разные группы организмов (внешнее сходство формы тела у акул и дельфинов (рис. 52), внешнее подобие у многих форм сумчатых и плацентарных млекопитающих и др.). Одинаковый образ жизни привёл их независимо друг от друга к подобию многих черт строения. Сходны между собой европейский и сумчатый кроты, сумчатый летун и белка-летяга. Однако исторически сложившаяся организация животного никогда не подвергается конвергенции. Схождение признаков затрагивает в основном лишь те органы, которые непосредственно связаны со сходными приспособлениями к условиям среды. Конвергенция наблюдается и у групп животных, далеко отстоящих друг от друга в систематическом отношении. У организмов, обитающих в воздухе, имеются крылья и другие приспособления для полёта, но крылья птицы и летучей мыши — изменённые конечности, а крылья бабочки — выросты стенки тела.

Аналогичные органы — органы, обладающие внешним сходством и выполняющие одинаковые функции, но имеющие разное происхождение.

Аналогичными являются жабры рака и рыбы, крыло птицы и бабочки,

Рис. 51. Гомологичные органы (передние конечности позвоночных животных)



Акула



Дельфин

Рис. 52. Конвергентное сходство водных животных

роющие конечности крота и медведки (рис. 53). В конвергентную эволюцию обычно вовлекаются только отдельные органы и функции, находящиеся под мощным контролем естественного отбора.

Об общности происхождения живых форм свидетельствует наличие рудиментов и атавизмов. Основа эволюционного процесса — изменение структуры и функционирования генома. Некоторые медленно меняющиеся гены видов в пределах классов и даже типов, видимо, обладают достаточной степенью молекулярного сходства (гомологией), что приводит к появлению атавизмов.

Атавизмы — признаки, характерные для далёких предков, отсутствующие у современных организмов данного вида, но иногда появляющиеся в потомстве.

Атавистические признаки иногда встречаются у людей: наружный хвост, обильный волоса́ный покров на теле, сильно развитые клыки, многососковость и др. (рис. 54). Это свидетельствует о том, что гены, ответственные

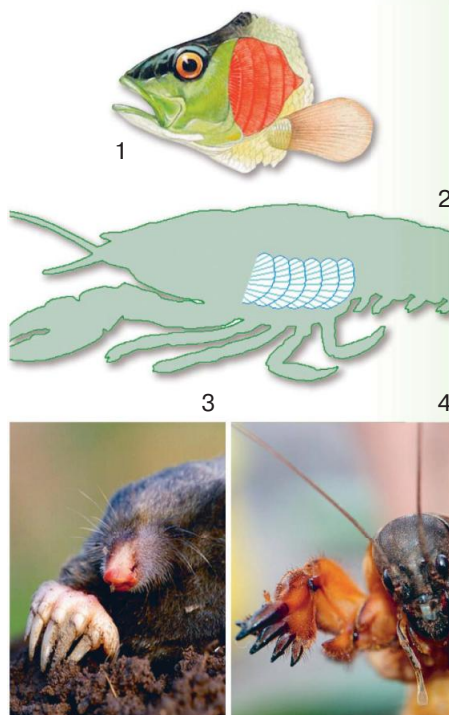


Рис. 53. Аналогичные органы:

- 1 — жабры рыбы и 2 — жабры рака;
- 3 — копательная конечность крота и
- 4 — копательная конечность медведки



1



2

Рис. 54. Атавизмы человека:

1 — развитие волосяного покрова;
2 — многососковость



Рис. 55. Рудименты: третье веко у человека (1) и птицы (2); слепая кишка с червеобразным отростком у человека (3) и копытного животного (4)

за данный признак, в процессе эволюции сохраняются в генофонде. Проявление атавизмов, вероятно, связано с особенностями генотипа организмов, влиянием эмбриональных условий и внешней среды.

Недоразвитые органы, практически утратившие в процессе эволюции свои функции по сравнению с гомологичными органами предковых форм, называют рудиментами.

Рудименты — органы, утратившие своё значение в ходе эволюции, но всё ещё сохранившиеся у организмов.

В отличие от атавизмов рудименты встречаются практически у всех особей вида. У человека насчитывают около 90 рудиментов: червеобразный отросток (аппендикс), ушные мышцы, копчиковый отдел позвоночника и др. (рис. 55). Рудименты закладываются во время эмбрионального развития, но обычно полностью не развиваются.

Палеонтологические доказательства. Палеонтологами обнаружены переходные формы организмов, сочетающие в себе признаки древних и более молодых групп, которые являются связующим звеном между ними. Например, археоптерикс (первоптица) — это промежуточная форма между пресмыкающимися и птицами (рис. 56), кистепёрная рыба — между рыбами и земноводными, зверозубый ящер иностранцевия (рис. 57) — между пресмыкающимися и млекопитающими, семенные папоротники —



Рис. 56. Археоптерикс

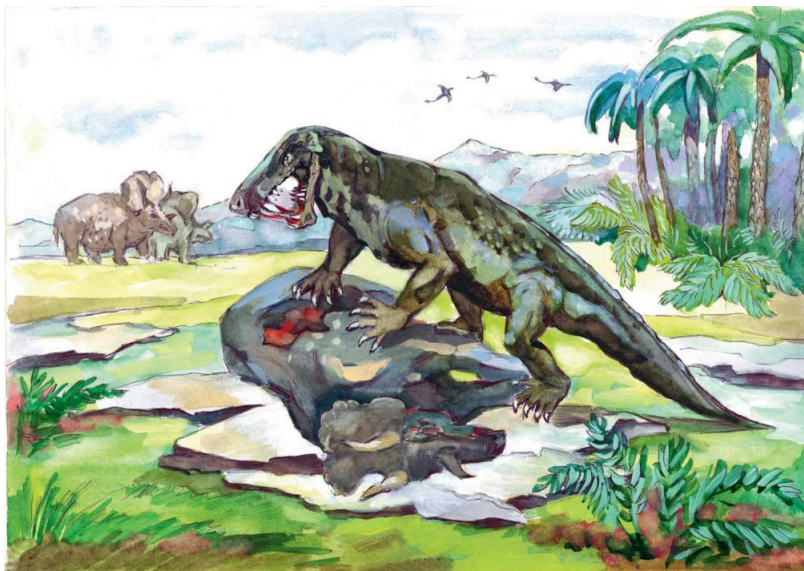


Рис. 57. Иностранцевия



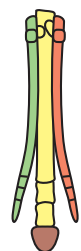
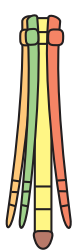
Эпоха	Род, внешний вид и высота в холке	Кости правой передней ноги	Образ жизни и изменения в строении тела
Современная эпоха и плейстоцен	Лошади  До 1,6 м		Приспособлены к жизни в сухих степях. Пястье и плюсневые кости удлинены. Расширенная 3-я фаланга покрыта роговым копытом (видоизменённый коготь). Скорость бега велика
Миоцен	Мерикгиппус  До 1 м		Обитал на твёрдых почвах прерий в условиях повышенной сухости. Редукция 2-го и 4-го пальцев, при движении опора на 3-й палец. Пястные и плюсневые кости удлинены
Олигоцен	Мезогиппус  До 0,5 м		Обитал в сухих лесах и прериях. Хорошо различимы только 3 пальца. 3-й палец сильно увеличен
Эоцен	Эогиппус  Примерно 0,4 м		Обитал на мягкой почве вблизи водоёмов и питался сочной растительностью. 4 пальца на передних и 3 на задних ногах увеличивали площадь опоры. Скорость движения была невелика

Рис. 58. Эволюция лошади

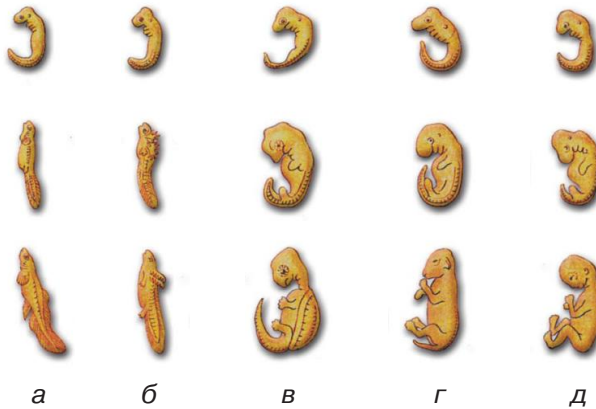


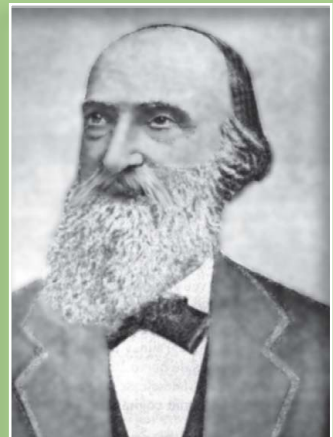
Рис. 59. Эмбрионы позвоночных: а — рыбы; б — саламандры;
в — черепахи; г — крысы; д — человека

между споровыми и семенными растениями. Учёными также выстроены филогенетические (палеонтологические) ряды, отражающие ход эволюции организмов, связанных между собой родством. Например, филогенетический ряд лошади показывает её постепенное изменение в процессе филогенеза (рис. 58).

Эмбриологические доказательства. На ранних стадиях развития эмбрионов представителей разных классов в пределах типа наблюдается сходство (рис. 59). Например, у зародышей животных типа Хордовые, независимо от класса, наблюдается хорда, один круг кровообращения, двухкамерное сердце, жаберное дыхание. Ещё Карл Бэр (см. рис. 6) отмечал это в своём законе *зародышевого сходства*. На более поздних стадиях эмбрионального развития это сходство утрачивается и начинают развиваться наиболее специализированные признаки таксона, вплоть до индивидуальных признаков особи. Это доказывает происхождение всех хордовых от одного общего ствола.

Позднее немецкие учёные Фриц Мюллер (1821—1897) (рис. 60) и Эрнст Геккель (1834—1919) (рис. 61) сформулировали *биогенетический закон*:

Рис. 60. Ф. Мюллер



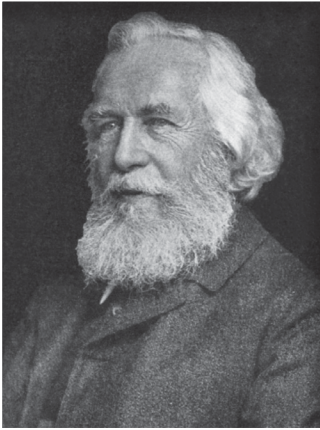


Рис. 61. Э. Геккель

Каждая особь в своём индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет историю развития своего вида (филогенез).

Другими словами, стадии, которые организм проходит в процессе своего развития, повторяют стадии исторического развития той группы, к которой он принадлежит.

Эмбрионы или личинки одного типа или класса в общих чертах построены по одному плану. Так, в эмбриогенезе всех позвоночных закладываются жаберные щели, сегментированные зачатки мускулатуры на спинной стороне, один круг кровообращения с двухкамерным сердцем. Во взрослом состоянии такое строение сохраняется только у рыб, а по мере развития зародышей назем-

ных позвоночных у них появляются признаки амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих в соответствии с принадлежностью к классу, затем отряду, роду и, наконец, видовые качества. Изначальное сходство между зародышами — это проявление консервативно сохраняющейся наследственной информации, полученной от единых предков.

В эмбриональном развитии могут возникать различные изменения, которые будут определять новые направления филогенеза. Например, у наземных позвоночных зародыш защищён зародышевыми оболочками, которых не было у предковых форм. Следовательно, хотя организмы и сохраняют общие механизмы развития, унаследованные от предков, но последующие адаптации к иным условиям среды и образу жизни могут изменить ход развития.

К общим правилам эволюции групп организмов относится **правило её необратимости**. Так, если на каком-то этапе от примитивных амфибий возникли рептилии, то рептилии не могут дать вновь начало амфибиям. Вернувшиеся в воду наземные позвоночные (среди рептилий — ихтиозавры, среди млекопитающих — киты) не стали рыбами. Предыдущая история развития для любой группы организмов не проходит бесследно, и приспособление к среде, в которой когда-то обитали предки, осуществляется уже на иной генетической основе.

Существуют доказательства макроэволюции: сравнительно-анатомические, палеонтологические и эмбриологические, на основании которых можно сделать вывод о единстве развития органического мира. Всё многообразие организмов является результатом эволюции.



Запомните!

Дивергенция. Гомологичные органы. Конвергенция. Аналогичные органы. Рудименты. Атавизмы. Промежуточные формы. Филогенетические ряды. Биогенетический закон. Закон зародышевого сходства. Необратимость эволюции.



Проверьте свои знания

1. Раскройте суть понятий «микроэволюция», «макроэволюция».
2. Какие существуют доказательства макроэволюции?
3. На чём основаны сравнительно-анатомические доказательства макроэволюции?
4. Что такое дивергенция? К образованию каких органов она приводит?
5. Что такое конвергенция? Приведите примеры конвергентной эволюции.
6. Какие органы называются аналогичными? Приведите примеры.
7. Какие доказательства макроэволюции называются палеонтологическими? Приведите примеры.
8. Кем сформулирован биогенетический закон? На чём он основан?
9. Кто сформулировал закон зародышевого сходства? В чём суть этого закона?
10. Какие признаки предков повторяются в индивидуальном развитии млекопитающих?
11. В чём заключается сущность правила необратимости эволюции?



Подумайте!

1. Почему существование макроэволюции требует доказательств?
2. Дайте определения терминам «рудименты» и «атавизмы». В чём сходство и различие этих понятий?
3. На каком основании археоптерикса и иностранцевию считают переходными формами?

**ЗАДАНИЯ**

1. Пользуясь текстом параграфа, заполните в тетради таблицу «Доказательства эволюции».

Науки	Доказательства	Примеры

2. Подготовьте и реализуйте проект «Доказательства эволюции органического мира».

Это интересно!

В ходе эмбрионального развития птиц и млекопитающих, включая человека, появляются жаберные щели в глотке и соответствующие им перегородки. Факт закладки частей жаберного аппарата у зародышей наземных позвоночных объясняется их происхождением от рыбообразных предков, дышащих жабрами. Строение сердца человеческого зародыша в ранний период формирования напоминает строение этого органа у рыб: оно с одним предсердием и одним желудочком. У беззубых китов в эмбриональном периоде появляются зубы, которые впоследствии не прорезываются, а разрушаются и рассасываются.

ГЛАВА 4

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ





Наука располагает доказательствами эволюции органического мира, но как появилась жизнь на планете, мы можем только предполагать. Человечество создало множество теорий и выдвинуло не меньшее количество гипотез по этому вопросу.

По мнению креационистов, жизнь возникла в результате акта творения. Доказать или опровергнуть эту концепцию не представляется возможным. В неё можно только верить или не верить.

Есть среди учёных и сторонники гипотезы *вечности жизни*. По их мнению, жизнь никто никогда не создавал, она была всегда, а процесса эволюции не существует.

Гипотеза *самопроизвольного зарождения* долгое время имела немало сторонников. Парацельс вполне серьёзно давал своим ученикам рекомендации по выращиванию гомункулюса (маленького человечка) из биологических жидкостей человека, а видный фламандский учёный Ван Гельмонт сообщал о зарождении мышей в тёмном шкафу из зерна и пота грязной рубашки. Однако опыты Франческо Реди, Ладзаро Спалланцани, а также Луи Пастера убедительно доказали невозможность зарождения живого из неживого.

Интересная гипотеза была выдвинута Сванте Августом Аррениусом в 1895 г. По его мнению, жизнь на нашу планету была занесена из космоса вместе с космической пылью и метеоритами. Гипотеза *панспермии* имеет немало доказательств, но, к сожалению, не объясняет причины первичного происхождения жизни.

В настоящее время научное сообщество придерживается материалистических взглядов на эти вопросы, полагая, что жизнь возникла и развивается естественным путём в процессе химической, биологической и социальной эволюции.



§ 12. Современные представления о возникновении жизни

Вспомните. Какие вещества являются неорганическими? Перечислите известные вам органические вещества.

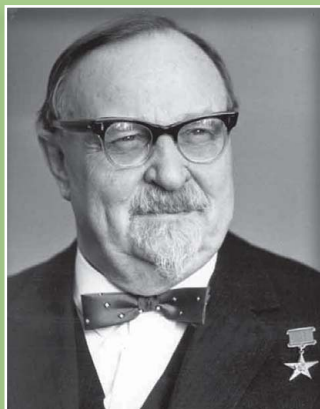
Как вы думаете. Что такое химическая эволюция? В чём суть эксперимента, который был осуществлён Стенли Миллером?

Абиогенный синтез органических соединений. На первых этапах своего формирования Земля имела очень высокую температуру. По мере остывания планеты тяжёлые элементы перемещались к её центру, а более лёгкие соединения (H_2 , CO_2 , CH_4 и др.) оставались на поверхности. Металлы и другие способные к окислению элементы соединялись с кислородом, однако в атмосфере Земли свободного кислорода не было. Атмосфера состояла из свободного водорода и его соединений (H_2O , CH_4 , NH_3 , HCN) и поэтому носила восстановительный характер. По мнению академика Александра Ивановича Опарина (1894—1980) (рис. 62), это служило важной предпосылкой возникновения органических молекул небиологическим путём. Углеводороды могли входить и в состав атмосферы Земли. Вместе с другими компонентами газовой оболочки нашей планеты — водородом, парами воды, аммиаком, синильной кислотой и другими веществами — они подвергались воздействию различных источников энергии: жёсткому, близкому к рентгеновскому, ультрафиолетовому излучению Солнца, высокой температуре в области грозových разрядов и в районах активной вулканической деятельности. В результате этого простейшие компоненты атмосферы вступали во взаимодействие, многократно изменяясь и усложняясь. Возникали молекулы сахаров, аминокислот, азотистые основания, органические кислоты и другие органические соединения.

В 1953 г. американский учёный Стенли Миллер экспериментально доказал возможность таких превращений. Пропуская электрический разряд через смесь H_2 , H_2O , CH_4 и NH_3 , он получил набор из нескольких аминокислот и органических кислот (рис. 63). В дальнейшем подобные эксперименты проводились во многих странах, при этом использовались различные источники энергии, всё более точно воссоздавались условия первобытной Земли. Было установлено, что абиогенным путём в отсутствие кислорода могут быть синтезированы очень многие простые органические соединения, входящие в состав биологических полимеров — белков, нуклеиновых кислот и полисахаридов.

Возможность абиогенного синтеза органических соединений доказывается и тем, что они обнаружены в космическом пространстве. Речь идёт о цианистом водороде (HCN), формальдегиде, муравьиной кислоте, этиловом

Рис. 62. А.И. Опарин



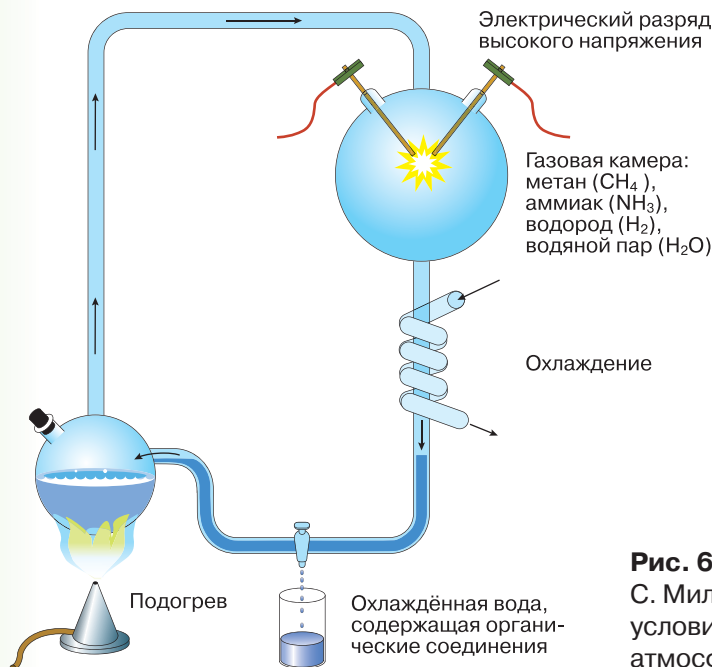


Рис. 63. Эксперимент С. Миллера, имитирующий условия первичной атмосферы Земли

спирте и других веществах. В некоторых метеоритах обнаружены жирные кислоты, сахара, аминокислоты. Всё это свидетельствует о том, что достаточно сложные органические соединения могли возникать чисто химическим путём в условиях, существовавших на Земле примерно 4—4,5 млрд лет назад.

Образование биологических полимеров и коацерватов. По мере остывания планеты водяные пары, находившиеся в атмосфере, также остывали, конденсировались и обрушивались ливнями. Образовывались огромные водные пространства. Поскольку Земля была ещё достаточно горячей, вода испарялась, а затем, охлаждаясь в верхних слоях атмосферы, вновь выпадала на поверхность планеты в виде дождей. Это продолжалось в течение многих десятков тысяч лет. В водах первичного океана были растворены различные соли. Кроме того, туда постоянно попадали непрерывно образующиеся в атмосфере простейшие органические соединения — те самые компоненты, из которых возникали более сложные молекулы. Полимеризация мономеров шла в пересыхающих водоёмах на горячей глине, песке, горных породах. Электрически заряженные частицы глины адсорбировали на своей поверхности аминокислоты и другие мономеры, которые активно вступали в реакции полимеризации благодаря содержащимся в глине соединениям цинка, железа и других металлов, обладающих каталитической активностью. В результате чего появились



первичные полимеры — полипептиды и полинуклеотиды. Концентрация органических соединений постоянно увеличивалась, и в конце концов вода океана стала «бульоном» из белковоподобных веществ — пептидов, а также нуклеиновых кислот и других органических соединений.

Следовательно, образование разнообразных органических соединений из неорганических веществ в тех условиях было закономерным процессом *химической эволюции*.

Таким образом, условиями для абиогенного возникновения органических соединений были восстановительный характер атмосферы Земли (соединения, обладающие восстановительными свойствами, легко вступают во взаимодействия между собой и с веществами-окислителями), высокая температура, грозовые разряды и мощное ультрафиолетовое излучение Солнца, которое в то время ещё не задерживалось озоновым экраном.

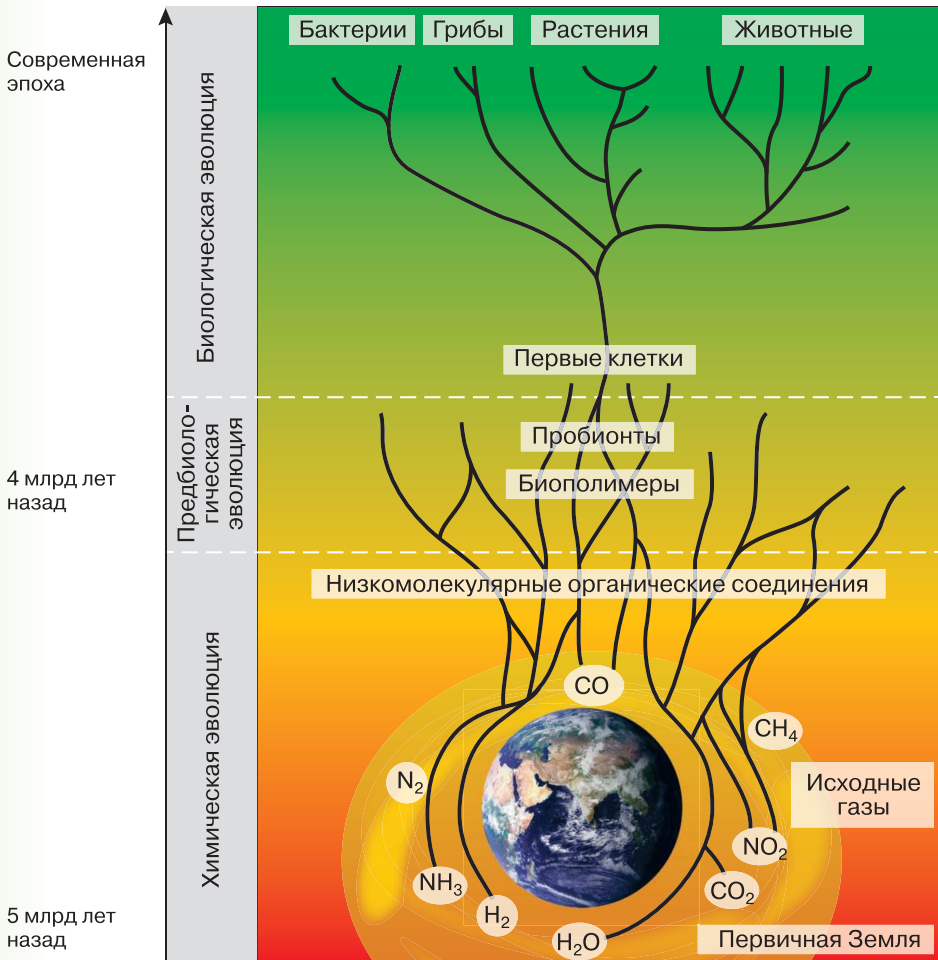
Молекулы различных веществ могут объединяться, образуя многомолекулярные комплексы — *коацерваты*. В первичном океане коацерваты, или коацерватные капли, обладали способностью поглощать различные вещества, растворённые в водах первичного океана. В результате этого внутреннее строение коацервата претерпевало изменения, что вело или к его распаду, или к накоплению веществ, т.е. к росту и изменению химического состава, повышающих устойчивость коацерватной капли в постоянно меняющихся условиях. Судьба капли определялась преобладанием одного из процессов. А.И. Опарин отмечал, что в массе коацерватных капель должен был идти отбор наиболее устойчивых в данных конкретных условиях. Достигнув определённых размеров, материнская капля могла распадаться на дочерние. Дочерние коацерваты, структура которых мало отличалась от материнской, продолжали свой рост, а резко отличавшиеся капли распадались. Естественно, что продолжали существовать только те коацерватные капли, которые, вступая в какие-то элементарные формы обмена со средой, сохраняли относительное постоянство своего состава. В дальнейшем они приобрели способность поглощать из окружающей среды лишь те вещества, которые обеспечивали их устойчивость, а также выделять наружу продукты обмена. Параллельно увеличивались различия между химическим составом капли и окружающей среды. В процессе длительного отбора (его называют химической эволюцией) сохранились лишь те капли, которые при распаде на дочерние не утрачивали особенностей своей структуры, т.е. приобрели способность к самовоспроизведению. По-видимому, это важнейшее свойство возникло вместе со способностью к синтезу органических веществ внутри коацерватных капель, важнейшими составными частями которых уже в то время были полипептиды и полинуклеотиды. Самовоспроизведение основано на присущей этим веществам способности связываться друг с другом по принципу дополнения, или комплементарности, и, следовательно, возможности



осуществлять синтез дочерних нуклеотидных цепей. В ходе эволюции появились полипептиды, обладающие каталитической активностью, т.е. способностью значительно ускорять течение химических реакций.

Следующий важный шаг небиологической эволюции — объединение способности полинуклеотидов к самовоспроизведению с возможностью полипептидов ускорять течение химических реакций, так как удвоение молекул ДНК эффективнее осуществляется с помощью белков, обладающих каталитической активностью. По-видимому, в этом процессе важную роль сыграли древние молекулы РНК. Небольшие цепочки полинуклеотидов РНК способны образовывать по принципу комплементарности ДНК и служить

Рис. 64. Основные этапы формирования жизни



в качестве матрицы для синтеза белка. В то же время стабильность «удачных» комбинаций аминокислот в полипептидах может обеспечиваться только сохранением информации о них в нуклеиновых кислотах. Связь белковых молекул и нуклеиновых кислот в конечном итоге привела к возникновению генетического кода, т.е. такой организации молекул ДНК, в которой последовательность нуклеотидов стала служить информацией для построения конкретной последовательности аминокислот в белках.

Формирование мембран. Дальнейшее усложнение обмена веществ у предбиологических структур могло происходить только в условиях пространственного разделения различных процессов внутри коацервата, а также более прочной изоляции внутренней среды от внешних воздействий по сравнению с той, которую могла обеспечить водная оболочка. Вокруг коацерватов, богатых органическими соединениями, возникли слои липидов, отделившие их от окружающей водной среды и преобразовавшиеся в ходе дальнейшей эволюции в наружную мембрану. Появление биологической мембраны, отделяющей содержимое коацервата от окружающей среды и обладающей способностью к избирательной проницаемости, предопределило направление дальнейшей химической эволюции по пути развития всё более совершенных саморегулирующихся систем, вплоть до возникновения первых примитивно (т.е. очень просто) устроенных клеток — пробионтов. Образование первых клеточных организмов положило начало *биологической эволюции* (рис. 64).

Биологической эволюции на Земле предшествовала химическая эволюция, которая продолжалась длительное время.

Исследования показали, что первые клеточные организмы появились на нашей планете около 3,5 млрд лет назад. Первые обитатели нашей планеты, пробионты, были совсем крохотными, от 0,7 мкм в длину и 0,2 мкм в ширину.



Запомните!

Химическая эволюция. Биологическая эволюция. Коацерваты.



Проверьте свои знания

1. Какие химические элементы и их соединения были в первичной атмосфере Земли?
2. Укажите условия, необходимые для абиогенного образования органических соединений.
3. Какими опытами можно доказать возможность абиогенного синтеза органических соединений?
4. Какие соединения были растворены в водах первичного океана? Что такое коацерваты?

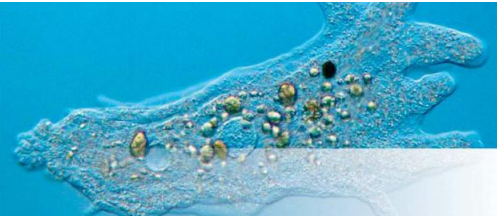
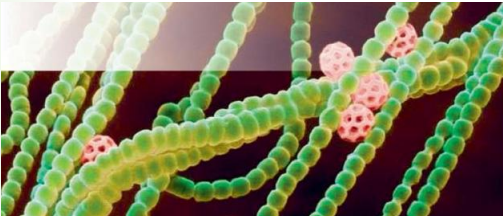


5. В чём сущность химической эволюции?
6. Изложите теорию А.И. Опарина о возникновении жизни.
7. Какое событие дало начало биологической эволюции?
8. Когда на Земле появились первые клеточные организмы?



Подумайте!

Почему невозможно самозарождение жизни в современных условиях?



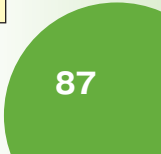
§ 13. Развитие жизни на Земле в архейскую и протерозойскую эры

Вспомните. На основании каких особенностей организмы относят к тому или иному царству живой природы? Что такое ароморфоз? Какие организмы называются гетеротрофными? Автотрофными? В чём отличие анаэробных организмов от аэробных?

Как вы думаете. Какие эры и периоды выделяют в истории Земли? Какие ароморфозы живых организмов возникли в архейской эре? Как появились первые многоклеточные организмы?

Примитивные формы жизни, согласно теории академика Александра Ивановича Опарина, возникли на Земле около 3,4—3,8 млрд лет назад в результате процесса химической эволюции. На основе анализа находок ископаемых форм в отложениях земных пластов удаётся проследить историческое развитие живой природы. Историю Земли принято делить на определённые промежутки времени — эры; эры — на периоды; периоды — на эпохи; эпохи — на века.

Палеонтология, исследующая останки организмов, позволила установить возрастную последовательность осадочных пород и построить геохронологическую шкалу, а также схему развития (филогенеза) основных групп живых организмов (рис. 65), существовавших в разные геологические эпохи.



87

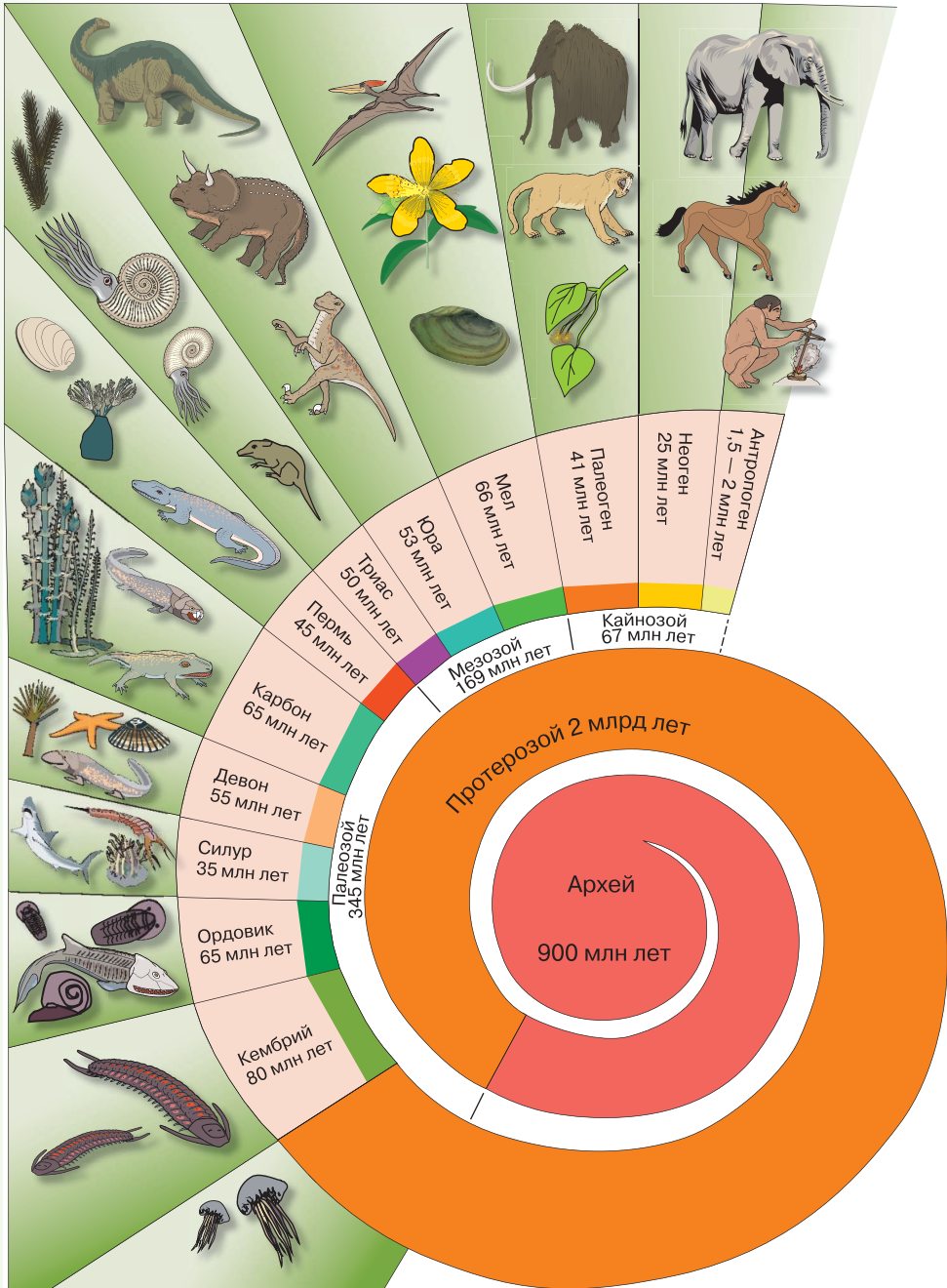


Рис. 66. Геохронологическая шкала



Геохронологическая шкала — шкала геологического времени, показывающая последовательность и соподчинённость этапов развития земной коры и органического мира Земли (рис. 66).

Развитие жизни в архейскую эру. На первых этапах эволюции жизни на Земле появились прокариоты. Предполагают, что первичные организмы были анаэробными гетеротрофами и использовали для питания готовые органические вещества, синтезированные абиогенным (небиологическим) путём. Появление автотрофного питания было связано с возникновением хемо- и фотосинтетиков. В дальнейшем основным путём получения энергии стало использование света. Первыми автотрофными фотосинтетиками были некоторые виды бактерий и сине-зелёные водоросли (цианобактерии). В результате фотосинтеза в атмосферу начал выделяться кислород, что явилось предпосылкой для возникновения аэробного дыхания, которое почти в 20 раз эффективнее брожения. Таким образом, сначала возник новый тип питания, а затем, как следствие, и новый тип дыхания.

Развитие жизни в протерозойскую эру. В начале протерозоя появилось аэробное дыхание. Затем значительным событием биологической эволюции стало возникновение эукариотических клеток. Многие учёные считают, что в основе их происхождения лежит симбиоз нескольких прокариотических клеток (рис. 67). Так сформировался более сложный тип клеточной организации, и на его основе был совершён переход к половому размножению с диплоидией (возникновением ограниченного оболочкой ядра и двойного набора хромосом). Половой процесс резко повысил возможность лучше приспособляться к условиям среды вследствие создания бесчисленных комбинаций генов в хромосомах. Диплоидность, возникшая одновременно с оформленным ядром, позволила сохранять мутации в гетерозиготном состоянии и использовать их как резерв наследственной изменчивости для дальнейших эволюционных преобразований. Кроме того, в гетерозиготном состоянии многие мутации часто повышают жизнеспособность особей и, следовательно, увеличивают их шансы в борьбе за существование.

Возникновение диплоидности и генетического разнообразия одноклеточных эукариот обусловило, с одной стороны, неоднородность строения клеток и их объединение в колонии, с другой — возможность «разделения труда» между клетками колонии, т.е. образование многоклеточных организмов.

Если считать, что каждая стадия онтогенеза повторяет какую-то стадию филогенеза, то предком многоклеточных была гастролоподобная форма. Согласно *теории гастрей* Геккеля (см. рис. 61), отдельные жгутиковые объединились в колонию, которая постепенно преобразовалась

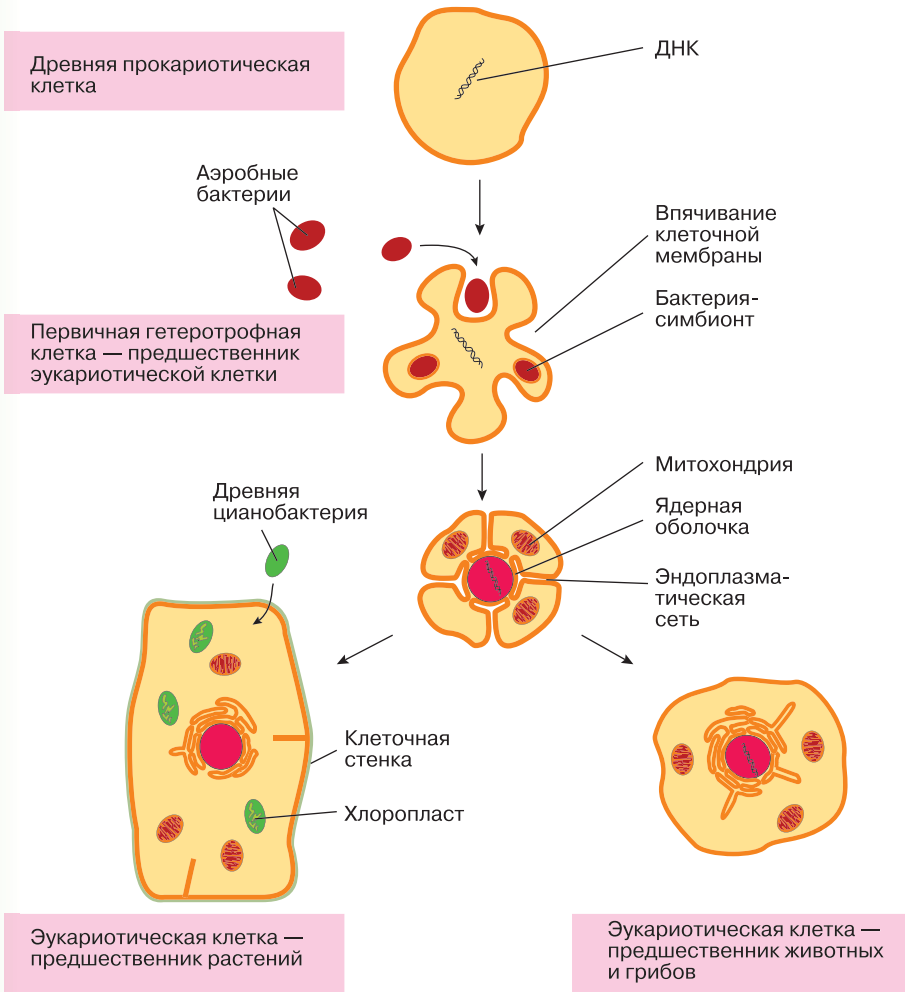


Рис. 67. Возможный путь образования эукариотических организмов

в шарообразную полость. Затем одна из сторон колонии впячивается с формированием двухслойного гипотетического организма — гастреи (рис. 68).

В соответствии с другой гипотезой внутренний слой у предковой формы многоклеточных образовался путём миграции — перемещения — специализирующихся на фагоцитозе клеток в полость колонии. Этот гипотетический организм создатель учения об иммунитете Илья Ильич Мечников (1845—1916) (рис. 69) назвал *фагоцителлой*.

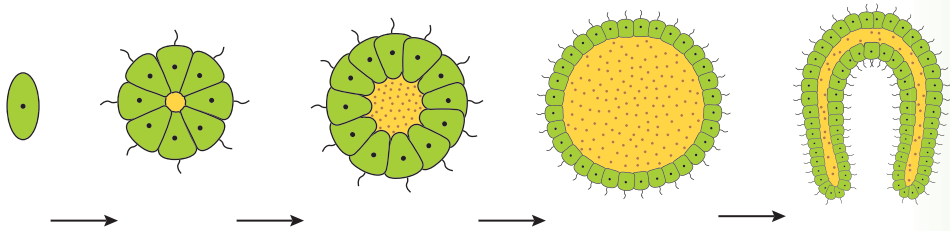


Рис. 68. Возникновение многоклеточных (теория гастреи Геккеля)

Разделение функций клеток у первых многоклеточных организмов привело к образованию первичных тканей — эктодермы и энтодермы, различных по структуре в зависимости от выполняемой функции. Дальнейшая дифференцировка тканей создала разнообразие, необходимое для расширения структурных и функциональных возможностей организма в целом, в результате чего создались сложные органы. Совершенствование взаимодействий между клетками — сначала контактного, а затем опосредованного, с помощью нервной и эндокринной систем — обеспечило существование многоклеточного организма как единого целого со сложным и тонким взаимодействием его частей и соответствующим реагированием на окружающую среду. Крупнейшим ароморфозом протерозоя считается появление животных с двусторонней симметрией тела.

Основные преимущества многоклеточных организмов обусловлены тем, что все клеточные механизмы и свойства оказываются повторенными много раз. Это обеспечивает:

- большую длительность онтогенеза в результате возможности замещения погибших клеток;

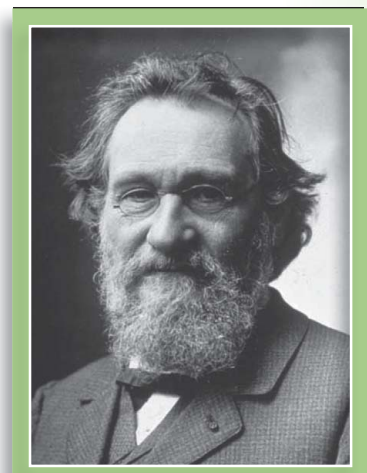
- большое число потомков, так как для размножения можно образовывать много клеток;

- значительные размеры и разнообразное строение тела, что обуславливает меньшую зависимость от внешних условий за счёт большей физиологической стабильности внутренней среды организма;

- дифференцировку клеток, их специализацию для выполнения определённых функций, приводящую к большей функциональной эффективности.

Предположительно, низшие растения произошли от примитивных жгутиковых. Видимо,

Рис. 69. И.И. Мечников





переход к многоклеточности осуществлялся неоднократно путём преобразования колониальных форм одноклеточных и нитчатых форм зелёных водорослей в многоклеточные зелёные, бурые и красные водоросли. В это же время, вероятно, появились первые водоросли, прикреплённые ко дну.

Начальные звенья эволюции животных не сохранились. В протерозойских отложениях находят представителей вполне сформировавшихся типов животных: губок, кишечнополостных и червей.

Грибы — обособленная группа эукариотических гетеротрофных организмов с сапрофитным, паразитическим или симбиотическим образом жизни. Вероятнее всего, грибы произошли от гетеротрофных примитивных эукариот, близких к предковым формам главной линии царства животных.

Суша в протерозое была безжизненной, но по берегам водоёмов начались почвообразовательные процессы в результате деятельности бактерий и микроскопических водорослей. Увеличение количества кислорода в атмосфере привело к формированию озонового слоя, защищавшего Землю от губительного излучения.

Около 3,6 млрд лет назад на Земле наступила эпоха биологической эволюции, которая продолжается и сейчас. В архейскую и протерозойскую эры произошли крупнейшие ароморфозы, возникли автотрофный тип питания, аэробное дыхание, эукариотические организмы, половой процесс, двусторонняя симметрия тела и многоклеточность. Сформировались царства живой природы: бактерии, растения, животные и грибы.



Запомните!

Геохронологическая шкала. Эра. Период. Архейская эра. Протерозойская эра. Гастрея. Фагоцителла.



Проверьте свои знания

1. Когда, по мнению учёных, на нашей планете появились первые следы жизни?
2. По какому принципу историю Земли делят на эры и периоды?
3. Охарактеризуйте основные черты организации прокариот и эукариот.
4. Какие существуют представления о появлении эукариот?
5. Какой способ питания был у первых живых организмов? Что такое фотосинтез?
6. Какие организмы впервые стали выделять в атмосферу свободный кислород?

7. На каком этапе развития живых организмов возник половой процесс? Каково значение для эволюции жизни появления полового процесса?
8. Каким путём возникли многоклеточные организмы? В чём заключаются преимущества многоклеточных организмов перед одноклеточными?
9. Какими организмами был представлен живой мир в протерозойскую эру?

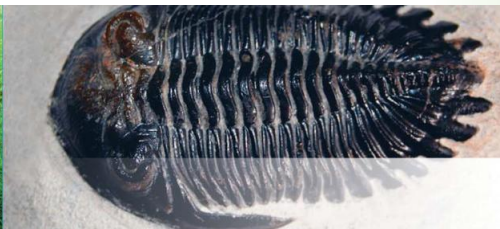


Подумайте!

1. Какую роль в развитии жизни на Земле сыграло появление фотосинтеза?
2. Какое значение для обитателей планеты имело возникновение озонового слоя?

ЗАДАНИЕ

Составьте и заполните таблицу «Группы животных архея и протерозоя и ароморфозы, приведшие к их возникновению».



§ 14. Развитие жизни на Земле в палеозойскую эру

Вспомните. Что такое ароморфоз? В чём различие споровых и семенных растений? Чем рептилии более приспособлены к жизни на суше, чем амфибии?

Как вы думаете. Что послужило причиной выхода позвоночных животных на сушу? Почему в конце палеозойской эры сократилось количество споровых растений и земноводных животных?

Растительный мир. В начале палеозойской эры растения населяют в основном моря, но в *ордовике* — *силуре* появляются первые наземные



Рис. 70. Первые растения суши

растения — **риниофиты** (рис. 70), занимающие промежуточное положение между водорослями и наземными сосудистыми растениями. Риниофиты уже имели проводящую (сосудистую) систему, первые слабо дифференцированные ткани, могли укрепляться в почве, хотя настоящие корни у них отсутствовали. Дальнейшая эволюция растений на суше шла в направлении расчленения тела на вегетативные органы и ткани, совершенствования сосудистой системы (обеспечивающей быстрое передвижение воды на большую высоту).

Уже в засушливом **девоне** совсем исчезают риниофиты и близкие им **псилофиты**. Широко распространяются хвощи, плауны и папоротникообразные. Ещё большего развития достигает наземная растительность

Рис. 71. Леса каменноугольного периода





в **каменноугольном** периоде (**карбоне**), характеризующемся влажным и тёплым климатом на протяжении всего года (рис. 71). Появляются голосеменные растения, произошедшие от семенных папоротников. Гаметофит перемещается на спорофитное материнское растение; с развитием пыльцы перед оплодотворением появляется опыление.

Переход к семенному размножению дал растениям много преимуществ: зародыш в семенах теперь защищён от неблагоприятных условий оболочками, обеспечен пищей и имеет диплоидное число хромосом. У части голосеменных (хвойных) процесс полового размножения уже не связан с водой. Опыление осуществляется ветром, а семена снабжены приспособлениями для распространения животными. Эти и другие преимущества способствовали широкому расселению семенных растений. Крупные споровые растения вымирают в **пермском** периоде в связи со значительным иссушением и похолоданием климата.

Животный мир в палеозойскую эру развивался чрезвычайно бурно и был представлен большим количеством разнообразных форм (рис. 72).

Рис. 72. Представители животного мира палеозойской эры:
а — гигантская стрекоза; б — трилобиты и ракоскорпионы;
в — панцирные рыбы; г — аммониты и белимниты

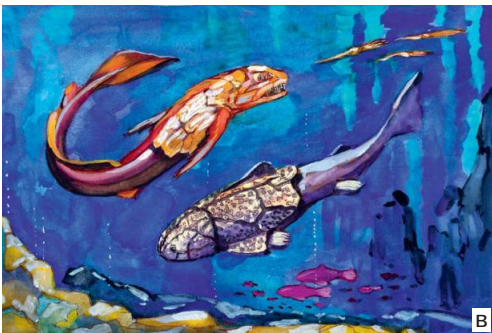




Рис. 73. Минога

Пышного расцвета достигла жизнь в морях. В *кембрийский* период уже существовали все основные типы животных. Губки, кораллы, иглокожие, моллюски, громадные хищные рако-скорпионы — вот неполный перечень обитателей кембрийских морей. В *ордовике* продолжается совершенствование и специализация основных типов. В геологических отложениях этого периода впервые обнаруживаются остатки

животных, имевших внутренний осевой скелет, — бесчелюстных позвоночных, отдалёнными потомками которых являются современные миноги (рис. 73) и миксины. Их жаберные дуги в ходе дальнейшей эволюции превратились в челюсти, усаженные зубами. Жаберная мускулатура преобразовалась в челюстную и подъязычную.

Крупный ароморфоз — появление хватательного ротового аппарата — вызвал перестройку всей организации позвоночных. Возможность выбирать пищу способствовала улучшению ориентации в пространстве путём совершенствования органов чувств. Первые челюстноротые не имели плавников и передвигались в воде путём змееподобных движений. Однако этот способ передвижения при необходимости поймать движущуюся добычу оказался неэффективен. Поэтому для улучшения передвижения в воде имели значение кожные складки. В процессе эволюции определённые участки этих складок развивались дальше и дали начало плавникам, парным и непарным. С увеличением размеров складок потребовался скелет для их укрепления. Скелет возник в виде ряда хрящевых (затем костных) лучей. Очень важно, что хрящевые лучи оказались связанными между собой хрящевой пластинкой, тянущейся под кожей вдоль основания плавников. Эта пластинка дала начало поясу конечностей. Таким образом, складки превратились в парные грудные и брюшные плавники, а средняя часть складки постепенно редуцировалась. Появление парных плавников — конечностей — следующий крупный ароморфоз в эволюции позвоночных.

В *силурийский* период на сушу вместе с первыми наземными растениями вышли и первые дышащие воздухом животные — членистоногие (паукообразные). В воде продолжалось бурное развитие низших позвоночных. Предполагается, что позвоночные возникли в мелких пресных водоёмах и лишь затем переселились в моря.

В *девоне* появились насекомые, а позвоночные были представлены тремя группами: двоякодышащими, лучепёрыми и кистепёрыми рыбами.

Лучепёрые рыбы имели плавники, поддерживающиеся отдельными костными лучами. Они широко распространились и сейчас представляют самый большой по числу видов класс позвоночных. Кистепёрые рыбы были типично водными животными, но могли дышать атмосферным воздухом с помощью примитивных лёгких, представлявших собой выпячивания стенки кишки.

Чтобы понять дальнейшую эволюцию рыб, необходимо представить климатические условия в девонском периоде. Большая часть суши была безжизненной пустыней. По берегам пресных водоёмов в густых зарослях растений обитали кольчатые черви и членистоногие. Климат сухой, с резкими колебаниями температуры в течение суток и по сезонам. Уровень воды в реках и водоёмах часто менялся. Многие из них полностью высыхали, а зимой промерзали. Водная растительность гибла при пересыхании водоёмов и накапливалась в виде остатков. Всё это создавало очень неблагоприятную среду для рыб. При пересыхании водоёмов у животных были два пути спасения: зарывание в ил или миграция в поисках воды. По первому пути пошли двоякодышащие рыбы, строение которых почти не изменилось со времени девона и которые обитают сейчас в мелких пересыхающих водоёмах Африки, Австралии и Южной Америки (рис. 74). Эти рыбы переживают засушливое время года, зарываясь в ил и дыша атмосферным воздухом. Приспособиться к жизни на суше смогли только кистепёрые рыбы. Их плавники имели вид лопастей, состоящих из отдельных костей с прикрепленными к ним мышцами. С помощью плавников эти крупные животные — от 1,5 до нескольких метров в длину — могли ползать по дну. Кистепёрые рыбы имели две основные предпосылки для перехода в наземную среду обитания: мускулистые конечности и лёгкое. В конце девона они дали начало первым земноводным — *стегоцефалам* (рис. 75). Для приспособления к жизни на суше потребовалась коренная

Рис. 74. Протоптер



Рис. 75. Стегоцефал





перестройка всей организации животных. Конечность из цельной упругой пластинки преобразуется в систему рычагов, разделённых суставами. Наибольшая нагрузка падает на пояс задних конечностей, который становится значительно более мощным. Свободные конечности удлиняются. Между позвонками развиваются суставы. Боковые сегменты мышц разделяются на большое число отдельных мускулов, прикрепляющихся к разным частям скелета. Большая подвижность конечностей сопровождается отделением мышц плечевого пояса от боковых мышц тела и сильным развитием брюшной мускулатуры. Появляются слёзные железы, подвижные веки, мышцы, втягивающие глаза внутрь орбиты; всё это защищает роговицу глаза от высыхания.

На протяжении **каменноугольного** периода стегоцефалы жили, питались и размножались в воде. Они выползали на сушу, но не совершали сколько-нибудь значительных миграций. Стегоцефалы разделились на большое число форм — от крупных рыбадных хищников до мелких животных, питавшихся беспозвоночными. На суше у них не было врагов и имелся обильный корм — черви, членистоногие, достигавшие крупных размеров. Многие группы земноводных переходили к жизни на суше и возвращались в воду только для размножения.

В этот период происходило поднятие суши, а также иссушение и похолодание климата. Амфибии вымирают как из-за ухудшения климатических условий, так и вследствие истребления подвижными хищными рептилиями. Ещё в карбоне среди стегоцефалов выделилась группа, имевшая хорошо развитые конечности и подвижную систему двух первых позвонков. Представители группы размножались в воде, но уходили по суше дальше амфибий, питались наземными животными, а затем и растениями. Эта группа получила название *котилозавров*. В дальнейшем от них произошли рептилии и млекопитающие.

В **пермский** период рептилии приобрели свойства, позволившие им окончательно порвать связь с водной средой. Внутреннее оплодотворение и накопление желтка в яйцеклетке сделали возможным размножение на суше. Ороговение кожи и более сложное строение почки способствовали резкому уменьшению потерь воды организмом и относительной независимости от воды. Грудная клетка обеспечила более эффективный, всасывающий тип дыхания. Отсутствие конкуренции вызвало широкое распространение рептилий на суше. Однако некоторая часть пресмыкающихся вернулась в водную среду обитания.

В палеозойскую эру осуществился выход растений (риниофиты) и животных (членистоногие, первые позвоночные) на сушу. У растений появились органы и ткани, а также возникло семенное

размножение. У животных появились конечности, лёгочное дыхание и внутреннее оплодотворение.



Запомните!

Палеозойская эра. Периоды: кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный, пермский. Риниофиты. Псилофиты. Стегоцефалы. Котилозавры.



Проверьте свои знания

1. Когда появились первые наземные растения? Как они назывались?
2. Какие характерные особенности имели растения, вышедшие на сушу?
3. Когда появились голосеменные растения? В чём было их преимущество перед споровыми растениями?
4. Какие животные вышли на сушу первыми? В какой геологический период это произошло?
5. Охарактеризуйте особенности строения позвоночных животных, послужившие предпосылками выхода их на сушу.
6. Какие условия внешней среды послужили причиной выхода позвоночных на сушу?
7. Каковы изменения в строении позвоночных животных, произошедшие в процессе приспособления их к жизни на суше?
8. Какие ароморфозы привели к возникновению пресмыкающихся? Какие приспособления способствовали освоению суши высшими растениями?



Подумайте!

1. Почему земноводные каменноугольного периода достигли биологического процветания? Почему большинство амфибий вымерли в пермском периоде?
2. К какому направлению эволюции относится появление внутреннего оплодотворения у позвоночных животных? Появление мускулистых плавников у кистепёрых рыб?



ЗАДАНИЕ

Составьте и заполните таблицу «Группы животных палеозоя и ароморфозы, приведшие к их возникновению».



§ 15. Развитие жизни на Земле в мезозойскую и кайнозойскую эры

Вспомните. Каково строение цветка? В чём суть двойного оплодотворения цветковых растений? Что такое переходная форма?

Как вы думаете. Какой геологический период был периодом расцвета рептилий? Когда появились первые птицы и млекопитающие? Каковы причины вымирания крупных рептилий в конце мезозойской эры?

Мезозойская эра. В начале мезозойской эры на Земле происходят активные горообразовательные процессы. Появляются горы Урал, Тянь-Шань и Алтай. На большей части земного шара устанавливается тёплый климат, который затем становится очень сухим, что приводит к сокращению площади морей и океанов. В *триасе* достигают расцвета голосеменные растения. В начале *мелового* периода появляются первые покрытосеменные растения, которые впоследствии распространяются на все материки. Это обусловлено рядом их преимуществ перед голосеменными и споровыми растениями. Покрытосеменные имеют хорошо развитую проводящую систему; цветок, который привлекает насекомых-опылителей, что обеспечивает надёжность перекрёстного опыления; зародыш, снабжённый запасами пищи (благодаря двойному оплодотворению развивается триплоидный эндосперм) и защищённый оболочками. В животном мире достигают расцвета насекомые и рептилии. Последние занимают господствующее положение и представлены большим числом форм



Рис. 76. Представители животного мира мезозойской эры:
а — птеродактили; б — тираннозавр; в — плезиозавры; г — трицератопсы

(рис. 76). В юрский период появляются летающие ящеры и завоёвывают воздушную среду обитания.

В **меловой** период специализация рептилий продолжается, они достигают громадных размеров. Масса некоторых из них — 50 т. Начинается параллельная эволюция цветковых растений и насекомых-опылителей. В конце мелового периода вновь происходят горообразовательные процессы. Возникают Альпы, Анды, Гималаи. Наступает похолодание, сокращается ареал околотовной растительности. В морях исчезают многие формы беспозвоночных и морские ящеры. На суше вымирают расти-



тельноядные, а за ними и хищные динозавры. Крупные рептилии сохраняются лишь в тропическом поясе (крокодилы).

Вследствие вымирания хищных рептилий наиболее приспособленными оказываются теплокровные животные — птицы и млекопитающие. Птицы появились в юрском периоде и произошли от вполне сформированных рептилий — *архозавров*. Возникновение птиц сопровождалось появлением крупных ароморфозов в их строении: они утратили одну из двух дуг аорты и приобрели полную перегородку между правым и левым желудочками сердца. Полное разделение артериального и венозного кровотока обусловило их теплокровность. В остальных чертах своей организации они сходны с пресмыкающимися, и их иногда называют «пернатыми рептилиями». Все остальные особенности строения птиц — перьевой покров, преобразование передних конечностей в крылья, роговой клюв, воздушные мешки и двойное дыхание, укорочение задней кишки — являются приспособлениями к полёту, т.е. идиоадаптациями.

Возникновение млекопитающих тоже связано с рядом крупных эволюционных преобразований, возникших у представителей одного из подклассов пресмыкающихся. К ароморфозам, определившим формирование млекопитающих как класса, относятся: образование волосяного покрова и четырёхкамерного сердца, полное разделение артериального и венозного кровотока, внутриутробное развитие потомства и вскармливание детёныша молоком. Всё это резко повысило выживаемость зверей. К ароморфозам следует отнести и развитие коры головного мозга, обусловившее преобладание условных рефлексов над безусловными и возможность приспособления к непостоянным условиям среды путём изменения поведения. Млекопитающие возникли ещё в триасе (рис. 77), но не могли конкурировать с хищными динозаврами и на протяжении 100 млн лет занимали подчинённое положение.

Кайнозойская эра. В начале кайнозойской эры завершаются горообразовательные процессы, начавшиеся в конце мезозоя. Обособляются Средиземное, Чёрное, Каспийское и Аральское моря. Устанавливается тёплый равномерный климат. На севере преобладают хвойные, а на юге — растительность тёплого и умеренного климата. Вся Европа покрыта лесами, состоящими из дуба, берёзы, сосны, каштана и др. В тропиках растут фикусы, эвкалипты, лавры.

Развитие животного мира в *палеогене* характеризуется дальнейшей дифференциацией насекомых, интенсивным видообразованием у птиц

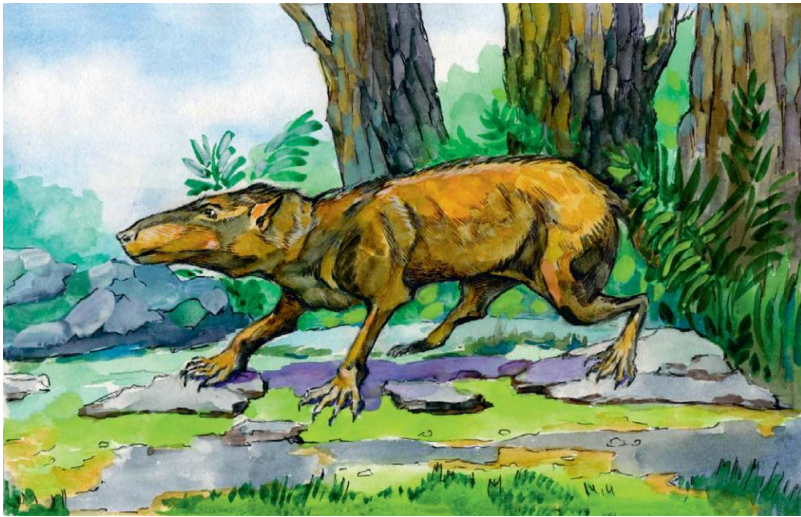


Рис. 77. Млекопитающее триаса

и чрезвычайно быстрым прогрессивным развитием млекопитающих. Последние представлены тремя подклассами: однопроходными (утконос и ехидна), сумчатыми и плацентарными. Однопроходные возникли независимо от других млекопитающих ещё в юрский период от звероподобных рептилий. Сумчатые и плацентарные млекопитающие произошли от общего предка в меловой период и сосуществовали до наступления кайнозойской эры, когда наступил «взрыв» в эволюции плацентарных, в результате которого эти млекопитающие вытеснили сумчатых с большинства континентов.

Первые хищные и приматы произошли от наиболее примитивных насекомоядных млекопитающих. Древние хищные дали начало копытным. В палеогене звери начинают завоёвывать море (китообразные, ластоногие). К концу *неогена* на больших территориях леса сменяются степями, полупустынями и пустынями. Идёт формирование современных растительных сообществ. Встречаются уже все современные семейства млекопитающих. Одна из групп обезьян — австралопитеки — стала родоначальницей ветви, ведущей к роду Человек.

Оледенения *антропогенного* периода, достигшие максимального распространения около 250 тыс. лет назад, способствовали развитию холодоустойчивости фауны (рис. 78). На Северном Кавказе и в Крыму встречались мамонты, шерстистые носороги, северные олени, песцы,

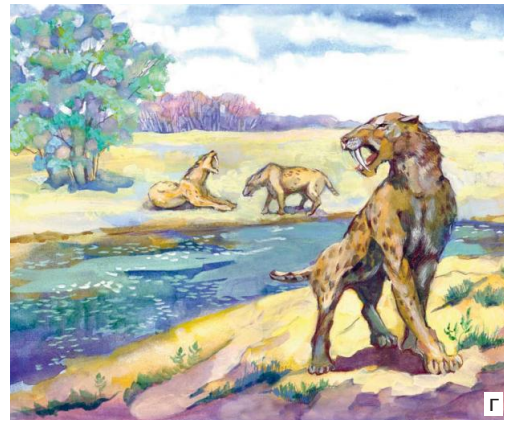


Рис. 78. Представители животного мира кайнозойской эры:
 а — гигантские большерогие олени; б — мамонты;
 в — шерстистый носорог; г — саблезубые тигры

полярные куропатки. Образование больших масс льда вызвало понижение уровня Мирового океана. Это понижение в разные периоды составляло 85—120 м по сравнению с современным. В результате обнажались материковые отмели Северной Америки и Северной Евразии. Появлялись сухопутные «мосты», которые соединяли североамериканский континент с евразийским (на месте Берингова пролива). Именно там происходила миграция видов, приведшая к формированию современной нам фауны материков.

Изменения климата кайнозойской эры оказали влияние на эволюцию предков человека.

В мезозойскую эру возникли покрытосеменные растения, появились первые птицы и млекопитающие. Их возникновение было связано с рядом крупных ароморфозов. Появление цветка и процесса двойного оплодотворения у растений, возникновение теплокровности и четырёхкамерного сердца у животных позволило этим организмам занять господствующее положение в кайнозойскую эру.



Запомните!

Мезозойская эра. Периоды: триасовый, юрский, меловой. Кайнозойская эра. Периоды: палеогеновый, неогеновый, антропогеновый.



Проверьте свои знания

1. Укажите эволюционные преимущества цветковых растений по сравнению с голосеменными.
2. Когда появились первые птицы? Чем они существенно отличались от рептилий?
3. Вследствие каких ароморфозов и когда возникли млекопитающие?
4. В каком направлении шла эволюция растений на суше? Какие эволюционные преимущества даёт переход растений к семенному размножению?
5. С чем связано сходство представителей животного мира Евразии и Северной Америки?
6. Охарактеризуйте эволюцию жизни в кайнозойскую эру.



Подумайте!

1. Как вы думаете, каково значение появления теплокровности в эволюции млекопитающих и птиц?
2. Вследствие чего произошло вымирание рептилий в конце мезозоя?
3. Почему плацентарные млекопитающие более широко распространились по сравнению с однопроходными и сумчатыми?



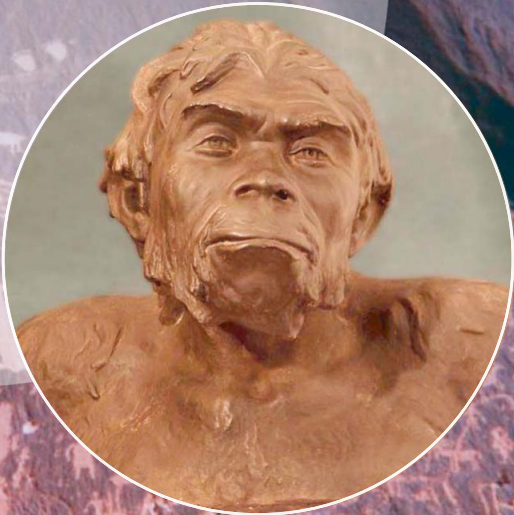
4. Какое влияние оказывали обширные оледенения кайнозойской эры на эволюцию растений и животных?
5. Сформулируйте значение миграции и изоляции в эволюции растений и животных.

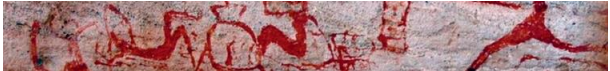
ЗАДАНИЕ

Составьте и заполните таблицу «Группы животных мезозоя и кайнозоя и ароморфозы, приведшие к их возникновению».

ГЛАВА 5

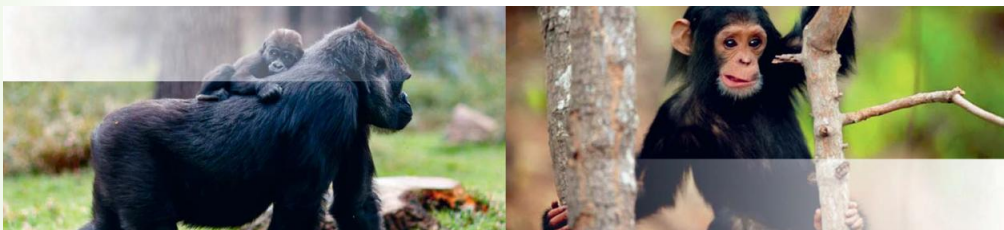
ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА





Вопрос о происхождении человека издавна привлекал к себе внимание людей. Попытки понять и объяснить собственное происхождение отражены в верованиях, легендах, сказаниях разных племён и народов. Однако научное объяснение эта проблема смогла получить лишь на основе теории эволюции. Первая гипотеза происхождения человека была предложена в начале XIX в. французским естествоиспытателем Ж.Б. Ламарком. Он допускал возможность происхождения человека от древних человекообразных обезьян в результате перехода к прямохождению и считал, что стадный образ жизни первобытных людей способствовал развитию речи.

Значительным событием в понимании истории человека как вида стала книга Ч. Дарвина «Происхождение человека и половой отбор» (1871). Он считал, что происхождение человека от древних человекообразных обезьян связано с естественным отбором. Ч. Дарвин также обратил внимание на влияние социальных факторов в эволюции человека. В последующем антропогенез усиленно изучали, однако лишь в последние 30—40 лет в антропологии накопились данные, позволившие ответить на многие важные вопросы.



§ 16. Положение человека в системе животного мира

Вспомните. О чём гласит биогенетический закон? Перечислите главные признаки организмов, относящихся к типу Хордовые. Какие признаки отличают представителей класса Млекопитающие от позвоночных животных других классов?

Как вы думаете. Что изучает наука антропология? Определите место человека в системе живой природы.

Современная теория происхождения человека опирается на данные сравнительной анатомии, физиологии, эмбриологии и палеонтологии.

Антропология (от греч. *anthropos* — человек) — наука, занимающаяся изучением происхождения и эволюции человека.



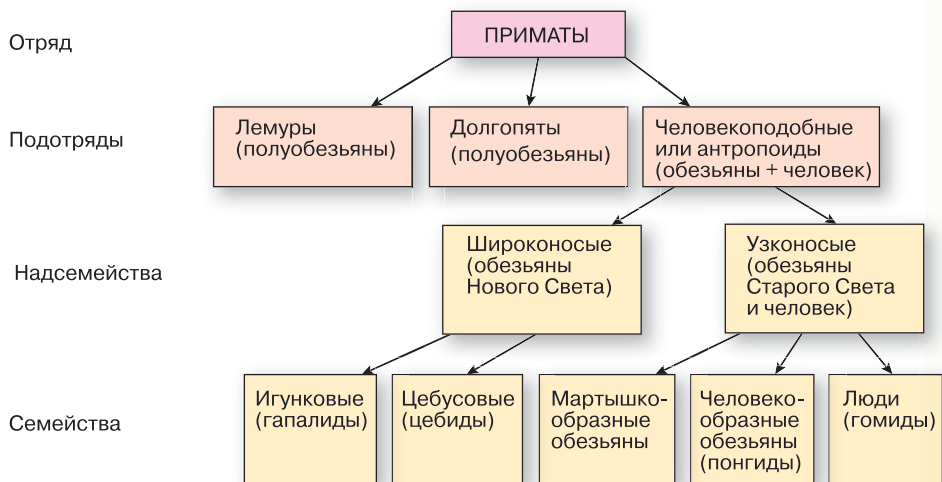
Данные этой отрасли естествознания ясно показывают черты сходства с животными в развитии и строении тела человека, что позволяет отнести вид Человек разумный (*Homo sapiens*) к типу хордовых, подтипу позвоночных, классу млекопитающих, подклассу плацентарных, отряду приматов.

Животное происхождение человека подтверждается целым рядом свойств, указывающих на то, что человек — результат длительной эволюции *хордовых*. У человека на ранних этапах эмбрионального развития внутренний скелет представлен хордой, глотка содержит жаберные щели, нервная трубка закладывается на спинной стороне, тело имеет двустороннюю симметрию. По мере развития хорда заменяется позвоночным столбом, формируются череп и челюстной аппарат. Появление скелета парных свободных конечностей, наличие пяти отделов головного мозга, формирование сердца на брюшной стороне позволяют отнести человека к *позвоночным*.

Человек относится к классу *Млекопитающие*. Как и у остальных представителей млекопитающих, позвоночник человека разделён на пять отделов, кожа покрыта волосами и содержит потовые и сальные железы; характерно также наличие диафрагмы, четырёхкамерного сердца и теплокровности. Наличие матки, питание плода через плаценту и вскармливание детёнышей молоком подтверждают, что человек относится к *плацентарным* млекопитающим.

Такие признаки, как передние конечности хватательного типа (первый палец противопоставлен остальным), наличие ногтей, одна пара сосков молочных желёз, расположение глаз в одной плоскости (обеспечивает объёмное зрение), замена молочных зубов и т.д., позволяют включить человека в отряд *приматов* (рис. 79).

Рис. 79. Систематическое положение человека в отряде Приматы



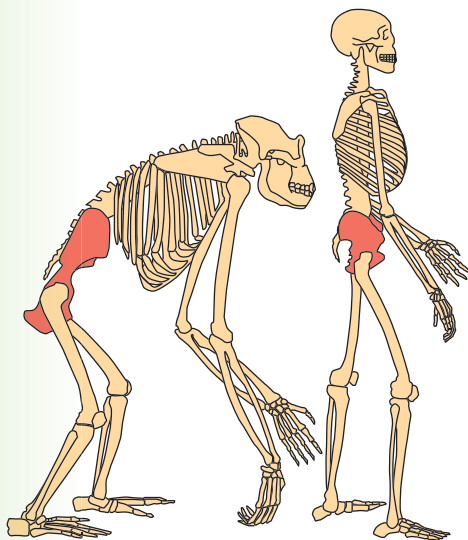
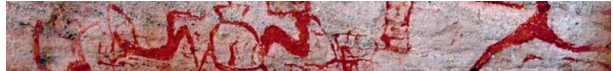


Рис. 80. Скелет обезьяны и человека

С человекообразными обезьянами у человека много общих признаков: сходная структура мозгового и лицевого отделов черепа, хорошо развитые лобные доли головного мозга, слабо развитая обонятельная зона, большое число извилин коры больших полушарий, наличие аппендикса, исчезновение хвостового отдела позвоночника, развитие мимической мускулатуры и др. Кроме морфологических признаков, о сходстве человека и человекообразных обезьян свидетельствует и ряд других данных: сходны резус-факторы и группы крови в системе АВ0; человекообразные обезьяны восприимчивы ко многим болезням человека и т.д.

В последнее время разработан метод определения эволюционного родства организмов путём сравнения их хромосом и белков. Белки синтезируются на основе наследственной информации, заключённой в генах. Родство между видами тем больше, чем больше сходство между белками, а следовательно, и нуклеотидными последовательностями молекул ДНК представителей этих видов. Белки человека и шимпанзе сходны на 99%.

О родстве человека с животными свидетельствует также наличие у человека атавизмов и рудиментов.

В то же время между человеком и человекообразными обезьянами существуют коренные отличия. Только человеку присуще истинное прямохождение (рис. 80). В силу вертикального положения скелет человека имеет широкий таз, плоскую грудную клетку, резкие изгибы позвоночника, сводчатую стопу. Большой палец нижних конечностей у людей приблизился к остальным и принял на себя функцию опоры. Гибкая кисть руки — органа труда — способна выполнять разнообразные и высокоточные движения. Мозговой отдел черепа значительно преобладает над лицевым. Человек имеет сложно устроенный головной мозг объёмом около 1600—1800 см³. Площадь коры больших полушарий составляет в среднем 1250 см², что значительно выше, чем у человекообразных обезьян. В мозге человека развиты лобные, височные и теменные доли, в которых расположены важнейшие центры психики и речи. Человек обладает



сознанием и мышлением, он создал искусство и науку. Эволюция человека вышла из-под ведущего контроля биологических факторов и приобрела социальный характер.

Таким образом, основные черты строения и эмбрионального развития чётко определяют систематическое положение вида Человек разумный. Он относится к типу Хордовые, подтипу Позвоночные, классу Млекопитающие, отряду Приматы, подотряду Человекообразные обезьяны.

В связи с развитием головного мозга, переходу к прямохождению и трудовой деятельности человек приобрёл ряд специфических черт, отличающих его от других представителей животного мира.



Запомните!

Антропология. Вид Человек разумный.



Проверьте свои знания

1. Назовите признаки человека, позволяющие отнести его к подтипу Позвоночные животные.
2. Укажите признаки, определяющие положение человека в классе Млекопитающие.
3. На основании каких признаков человека относят к подклассу Плацентарные млекопитающие?
4. К какому отряду относится человек? Какие ещё животные входят в этот отряд?
5. Перечислите признаки, являющиеся общими для человека и человекообразных обезьян.
6. Какие признаки, развивающиеся у зародыша человека, указывают на его животное происхождение?
7. Охарактеризуйте особенности строения, присущие только человеку.



Подумайте!

1. Какое значение в процессе антропогенеза имело увеличение головного мозга?
2. Каково значение для эволюции человека возникновения прямохождения?



§ 17. Предшественники человека

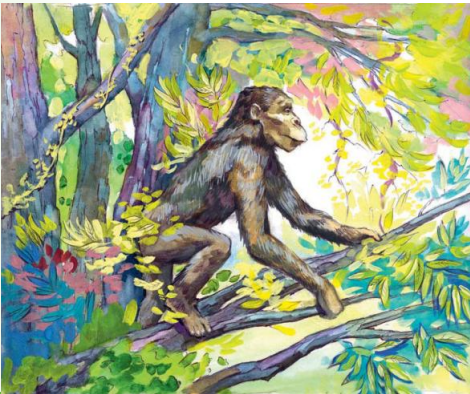
Вспомните. Какие виды организмов относятся к отряду Приматы? Перечислите их общие признаки. Что такое эволюция? Перечислите факторы эволюции.

Как вы думаете. Какие особенности строения тела человека говорят о его происхождении от животных, ведущих древесный образ жизни?

Согласно палеонтологическим данным, от примитивной группы древних млекопитающих — насекомоядных — около 35 млн лет назад обособилась группа животных, давшая впоследствии приматов. Из ныне живущих форм к ним наиболее близки тупайи — низшие из современных приматов. Приматы являются высокоорганизованными млекопитающими и обладают рядом антропоидных черт: у них развит головной мозг, глазницы направлены вперёд, конечности хватательного типа, на всех пальцах развиты ногти, одна пара сосков и др.

От предков современных тупай в палеогене (кайнозойская эра) отделилась ветвь, давшая предков современных человекообразных обезьян — *парапитеков* (эти небольшие животные вели древесный образ жизни, питаясь растениями и насекомыми).

Рис. 81. Дриопитек



Их челюсти и зубы были подобны челюстям и зубам человекообразных обезьян. В дальнейшем от парапитеков произошли современные гиббоны и орангутаны, а также вымершая ветвь древесных обезьян — *дриопитеки* (рис. 81). Последние появились 17—18 млн лет назад в неогене и вымерли около 8 млн лет назад. За более чем 10 млн лет обитания в тропических лесах у дриопитеков сформировались приспособления к обитанию на деревьях.



Приспособления к древесному образу жизни. Для животных, обитающих на ветвях деревьев, лазающих и прыгающих, необходимо соответствующее строение органов. У них развивается плечевой пояс, позволяющий совершать движения с размахом до 180° , а грудная клетка становится широкой и уплощённой в спинно-брюшном направлении. Отметим, что у наземных животных грудная клетка уплощена с боков, а конечности могут перемещаться только в передне-заднем направлении и почти не отводятся в стороны. Кисть древесных животных подвижна, первый палец противопоставлен остальным, что позволяет совершать хватательные движения. У приматов развиты ключицы, которые служат для прикрепления многочисленных мышц и позволяют разводить конечности в стороны. Ключицы есть ещё у рукокрылых (летучие мыши), но они не развиваются у быстро бегающих наземных млекопитающих.

Передвижение на деревьях в самых разных направлениях с меняющейся скоростью, с непрерывно заново возникающим расстоянием, новой ориентировкой перед прыжком привело к чрезвычайно высокому развитию двигательных отделов мозга. Необходимость точного определения расстояния при прыжках обусловила сближение глазниц в одной плоскости и появление бинокулярного зрения. В то же время жизнь на деревьях способствовала ограничению плодовитости. Уменьшение численности потомства компенсировалось тщательностью ухода за ним, а жизнь в стаде обеспечивала защиту от врагов.

Происхождение человека от животных, ведущих древесный образ жизни, предопределило особенности его строения, которые, в свою очередь, явились анатомической основой его способности к труду и дальнейшей социальной эволюции.

Переход к наземному существованию. В связи с похолоданием климата и вытеснением тропических и субтропических лесов к югу в конце палеогена сформировались обширные открытые пространства с растительностью саванного типа. Можно предположить, что популяция дриопитеков разделилась на две группы, расселившиеся по разным местам обитания: предковые формы современных человекообразных обезьян (горилл и шимпанзе) — в дождевые тропические леса, а предковые формы людей — на открытые пространства. Перейдя к жизни на открытых пространствах, предки человека должны были приспосабливаться к новым суровым условиям и вести тяжёлую борьбу за существование. Беззащитные против хищников, неспособные быстро бегать — настигать добычу или спастись от врагов, лишённые густой шерсти, помогающей сохранять тепло, они могли выжить только благодаря стадному образу жизни и использованию освободившихся от функции передвижения рук. Решающим шагом на пути от обезьяны к человеку явилось возникновение прямохождения (рис. 82).



Рис. 82. Общая схема происхождения человека (линии, соединяющие отдельные группы, не означают их преемственности, а показывают направления развития)

От некоторых из этих популяций дриопитеков, вероятно, и произошли, положили начало предшественники человека — **австралопитеки** (от *лат. australis* — южный) (рис. 83). Таким образом, в палеогене линии людей (семейство Гоминиды — Прямоходящие приматы) и современных человекообразных обезьян разделились.

Австралопитеки — вымершие гоминиды (скелетные останки найдены в Южной Африке) жили около 5—3 млн лет назад и вели стадный образ жизни. Они занимались охотой и собирательством, начали использовать в качестве орудий труда камни, палки, кости и пр., а также «приручили» огонь. Строение зубной системы показывает, что эти животные были всеядными. Судя по слабому развитию клыков, функции нападения и защиты у них должны были принадлежать к верхним конечностям. Масса тела составляла от 30 до 60 кг, рост не превышал 160 см, а объём мозга — 550 см³. Австралопитеки — переходная форма от обезьяны к человеку.

Около 2,5—1,5 млн лет назад жили существа, стоящие ближе к человеку, чем австралопитеки. Объём их мозга достигал 650 см³. Они умели обрабатывать гальку с целью изготовления орудий и, возможно, использовали огонь для обогрева и защиты от хищников. Эти существа получили название **Человек умелый** (*Homo habilis*) (рис. 84). Название вид получил в связи с тем, что рядом с костными останками этого существа были найдены изготовленные им примитивные режущие и рубящие орудия из кремня гальки. Его рост достигал 160 см, объём головного мозга был на 100 см³ больше, чем у австралопитека, зубы человеческого типа, фаланги пальцев сплюснены, первый палец стопы, как и у современного человека, не был отведён в сторону. Хотя в морфологическом отношении Человек умелый мало отличался от австралопитека, именно он преодолел грань,

Рис. 83. Австралопитеки

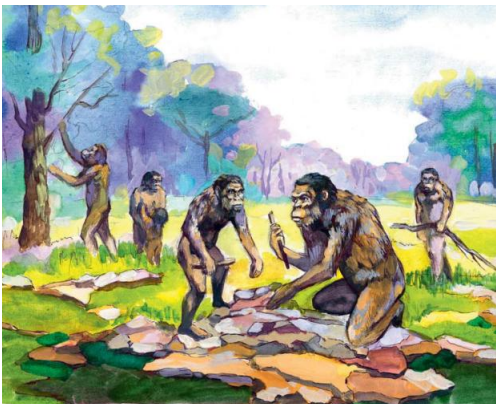
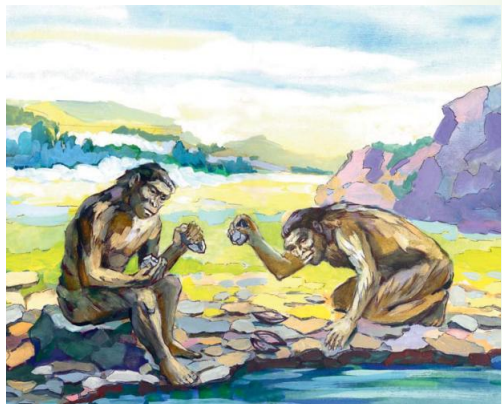
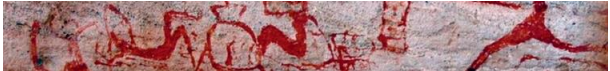


Рис. 84. Человек умелый





отделяющую ископаемых человекообразных обезьян от древнейших людей, создав хотя и примитивную, но уже культуру палеолита. Естественный отбор сохранял признаки, способствующие совместному поиску добычи, защите от хищных зверей, заботе о потомстве и т.д., что содействовало развитию стадности как ступени к возникновению социальности.

Итак, примерно 8 млн лет назад начался период перехода от животного к человеку — Номо. Ископаемые представители семейства Гоминиды (австралопитеки, группы вида Человек умелый) 2—1,5 млн лет назад широко расселились по Африке, Средиземноморью, Азии. Использование орудий, стадный образ жизни способствовали дальнейшему развитию мозга, возникновению речи, социальности.

Отряд Приматы обособился от плацентарных млекопитающих в палеогеновый период. Дриопитек — насекомоядный древесный предок человека. Ряд анатомических особенностей строения тела современного человека указывает на его древесное происхождение. Эволюция предков человека шла по пути развития головного мозга, совершенствования приспособлений к прямохождению и развитию руки как органа труда.



Запомните!

Отряд Приматы. Приспособления к древесному образу жизни: хватательная конечность, ключицы, круглый плечевой сустав, уплощённая в спинно-брюшном направлении грудная клетка, бинокулярное зрение. Австралопитеки. Прямохождение. Человек умелый. Труд.



Проверьте свои знания

1. От какой группы млекопитающих произошёл отряд Приматы? Какие животные относятся к этому отряду? Перечислите их общие признаки.
2. От каких обезьян возникла эволюционная ветвь, ведущая к человеку? Какой образ жизни вели эти животные?
3. Какие приспособления возникли у предков человека в связи с переходом к наземному образу жизни?
4. Кто такие австралопитеки? Опишите особенности их строения и образа жизни.
5. Когда появился Человек умелый? За что он получил такое название?
6. В каком направлении действовал естественный отбор в процессе эволюции приматов?



Подумайте!

1. Почему австралопитеков не считают прямыми предками человека?
2. Как черты строения и образ жизни обезьяноподобных предков предопределили развитие признаков вида Человек разумный?



§ 18. Этапы эволюции человека

Вспомните. Что такое антропогенез?

Как вы думаете. Какие стадии выделяют в процессе антропогенеза? Почему человека считают биосоциальным существом? Действует ли естественный отбор в современном человеческом обществе?

Основным, имеющим палеонтологическое подтверждение признаком перехода от дочеловеческой к человеческой фазе развития считают формирование способности к планомерной трудовой деятельности, заключающейся в переходе от случайного использования в качестве орудий труда различных предметов к изготовлению специализированных орудий, предназначенных для особых целей.

Всё более важную роль стали играть социальные закономерности, создавшие наряду с генетической системой наследования информации новую систему передачи из поколения в поколение разнообразной информации. Они освобождали человека от жёсткого контроля естественного отбора. Постепенно человек становился существом, жизнь которого определяется социальными законами, причём познавательный аппарат головного мозга обеспечил человеку решающее преимущество перед всеми другими обитателями Земли.

В процессе становления человека выделяют три стадии: древнейшие люди, древние люди и первые современные люди.

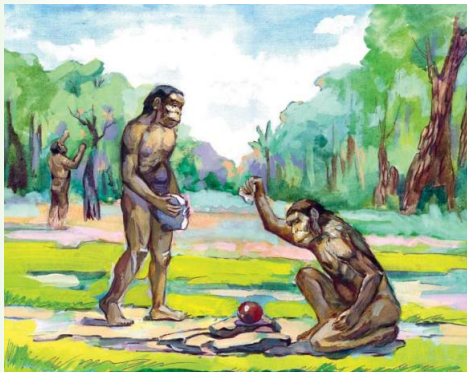
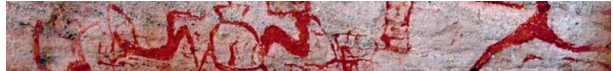


Рис. 85. Человек прямоходящий

(*erectus*), который жил приблизительно от 2 млн до 200 тыс. лет назад (рис. 85). В этот период, расселяясь и попадая в новые условия существования, популяции Человека умелого образовывали отдельные изолированные формы архантропов, занимающих по многим существенным признакам промежуточное положение между австралопитеком и современным человеком. В этот период эволюция осуществлялась ещё преимущественно под влиянием биологических факторов.

Объём мозга архантропов (800—1100 см³) позволял обладать примитивной речью (ребёнок современного человека овладевает речью при массе мозга 750 г.). Рост мужчин составлял около 160 см, возможно, и более. Кости черепа были очень толстыми, лоб — покатым, с выраженными надбровными валиками, подбородочный выступ отсутствовал, челюсти были массивными. Древнейшие люди успешно охотились на буйволов, носорогов, оленей, птиц. С помощью отёсанных камней они разделывали убитых животных, жили в основном в пещерах и умели использовать огонь. Одновременно существовало довольно много форм древнейших людей, стоявших на разных ступенях развития и эволюционировавших в разных направлениях.

Наиболее перспективным направлением эволюции было дальнейшее увеличение объёма головного мозга, развитие общественного образа жизни, совершенствование орудий труда, более широкое использование огня не только для обогрева и отпугивания хищников, но и для приготовления пищи. Все другие формы древнейших людей быстро исчезли. Всё это указывает на значительные отличия архантропов от современного человека.

Древние люди (палеоантропы). После периода максимального расцвета (600—400 тыс. лет назад) древнейшие люди исчезли, уступив место палеоантропам, которые наиболее широко расселились на территории Африки, Европы и Азии в период от 250 до 35 тыс. лет назад. Представителями древних людей являются *неандертальцы*, останки которых

Древнейшие люди (архантропы). К настоящему времени известно несколько ископаемых форм: *питекантроп* (обезьяночеловек), его останки были обнаружены на острове Ява в 1891 г.; *синантроп*, его останки были обнаружены в 1927 г. в пещере близ Пекина, и *гейдельбергский человек*. (В 1907 г. недалеко от немецкого города Гейдельберга обнаружена нижняя челюсть данного ископаемого человека.) Их, видимо, можно отнести к одному виду — **Человек прямоходящий** (*Homo*

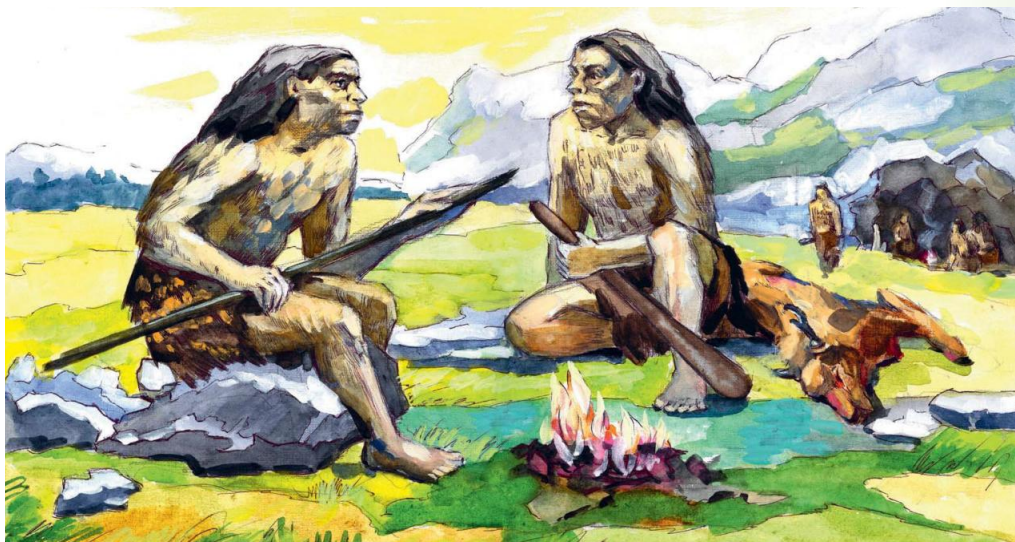
впервые были обнаружены в 1856 г. на территории Германии в долине реки Неандерталь (рис. 86).

Неандертальцы принадлежали к виду *Человек разумный* (*Homo sapiens*), имели довольно крупный (1200—1600 см³), но примитивный мозг. Умели высекать и поддерживать огонь. Огонь использовали не только для обогрева и защиты от хищников, но и для приготовления пищи. Жили в пещерах и одевались в шкуры. Они умели изготавливать каменные орудия (рубила, скребки, остроконечники и др.) и использовать заострённые путём обжига колья в качестве копий. Охотились неандертальцы даже на крупных животных, таких, как мамонты, большерогие олени и шерстистые носороги.

Древние люди представляли собой очень неоднородную группу, в которой наиболее хорошо выделялись две линии. Одна группа неандертальцев развивалась в направлении мощного физического развития. Её представители были небольшого роста (155—165 см), имели развитую мускулатуру, кости их черепа были довольно толстыми, а сам череп отличался скошенным лбом, мощными надбровными дугами, крупными челюстями и слабым развитием подбородочного выступа. Эти неандертальцы жили небольшими семейными группами и побеждали в борьбе за существование, вероятно, в основном за счёт своей физической силы.

Вторая группа неандертальцев характеризовалась более тонкими чертами — менее развитыми надбровными дугами, более высоким лбом, тонкими челюстями и развитым подбородочным выступом. Физически

Рис. 86. Неандертальцы



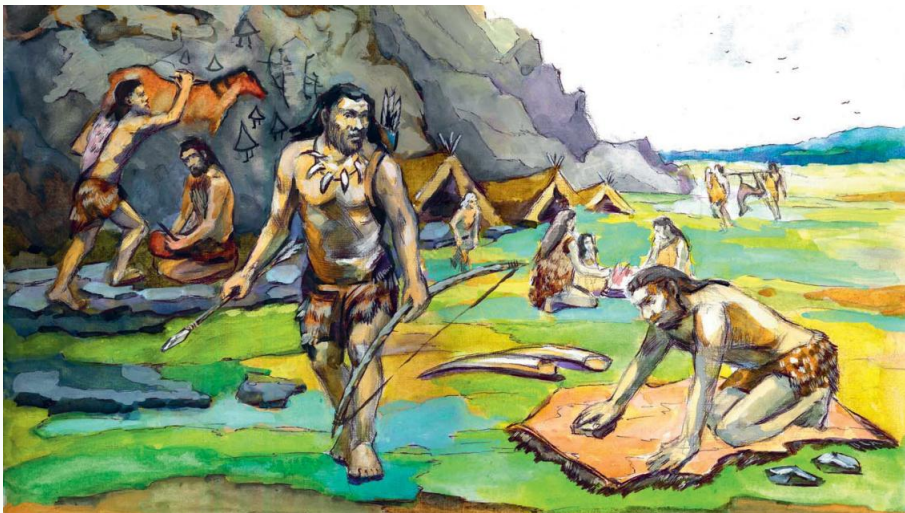
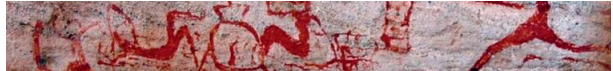


Рис. 87. Кроманьонцы

они заметно уступали представителям первой группы. Однако их успеху в борьбе за существование способствовало развитие внутригрупповых связей: совместная деятельность, коллективная охота, забота о соплеменниках, накопление и передача опыта из поколения в поколение.

Современные люди (неоантропы). По предположениям антропологов, первые современные люди появились около 50—40 тыс. лет назад в Восточном Средиземноморье и в Передней Азии. Некоторое время палеоантропы и неоантропы сосуществовали, но примерно 28 тыс. лет назад первые были окончательно вытеснены.

Впервые останки *Человека разумного разумного* (*Homo sapiens sapiens*) были обнаружены в 1868 г. на территории Франции в пещере Кро-Маньон, что и определило имя первых современных людей — *кроманьонцы* (рис. 87), так сейчас называют находки всех ископаемых людей, живших на Земле начиная с верхнего палеолита.

Внешний облик кроманьонцев принципиально не отличался от внешнего вида современного человека. В основном это были люди ростом до 180 см, мозг их был развит (особенно лобные доли и зоны, связанные с развитием речи и мышления), и его объём был от 1400 до 1500 см³. Череп отличался высоким лбом, отсутствием сплошного надглазничного валика и развитым подбородочным выступом (рис. 88), что свидетельствовало о владении членораздельной речью.

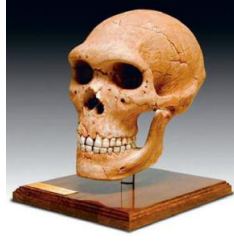
Кроманьонцы изготавливали орудия труда, используя камень, дерево, кость, бивень, рог и сочетая эти материалы, например, при изготовлении



Австралопитек



Синантроп



Неандерталец



Кроманьонец

Рис. 88. Эволюция черепа

стрел, копий и гарпунов. Они сооружали сложные жилища, шили одежду из шкур животных и использовали огонь для приготовления пищи.

В эволюции человека выделяют три стадии: древнейшие люди, древние люди и первые современные люди. В настоящее время на Земле существует только один вид людей — Человек разумный.

**Запомните!**

Древнейшие люди (архантропы): синантроп, питекантроп, гейдельбергский человек. Древние люди (палеоантропы) — неандертальцы. Первые современные люди (неоантропы) — кроманьонцы.

**Проверьте свои знания**

1. Какие стадии выделяют в процессе становления человека как вида?
2. Охарактеризуйте прогрессивные черты в развитии древнейших людей.
3. На какие группы делились неандертальцы? Дайте их характеристику.
4. Когда появились первые современные люди?
5. Какие факторы явились ведущими в эволюции первых современных людей?
6. Какое значение для эволюции человека имело овладение членораздельной речью?
7. Какая форма естественного отбора действует на человеческие сообщества?
8. Охарактеризуйте современный этап эволюции человека.



Подумайте!

1. Почему неандертальцы были вытеснены современными людьми — кроманьонцами?
2. Что служит доказательством того, что все люди, независимо от расовой принадлежности, относятся к одному виду Человек разумный?
3. В настоящее время нередко можно прочесть или услышать фразу: «Человек произошёл от обезьяны». Докажите, что эта формулировка некорректна и неправоподобна. Как следует изменить эту фразу, чтобы она отражала суть эволюционной теории происхождения человека?

ЗАДАНИЕ

Подготовьте и реализуйте проект «Этапы эволюции человека».



§ 19. Человеческие расы

Вспомните. Какие существуют расы людей? Перечислите особенности представителей различных рас.

Как вы думаете. Действует ли естественный отбор в современном человеческом обществе?

Всё современное человечество принадлежит к одному виду, что подтверждает общность происхождения, сходство строения и плодовитость потомства, возможность браков между представителями разных рас (рис. 89).

Раса — исторически сложившаяся группа людей, связанная единством происхождения, которое выражается в общих наследственных морфологических и физиологических признаках, варьирующихся в определённых пределах.



Европеоидная



Монголоидная



Австрало-негроидная

Рис. 89. Человеческие расы

Человеческие расы — это систематические подразделения внутри вида *Homo sapiens*. Человечество представлено тремя большими расами: *евразийской (европеоидной)*, *экваториальной (австрало-негроидной)* и *азиатско-американской (монголоидной)*. Внутри каждой из рас выделяют малые расы, или подрасы.

Расы появились в результате расселения и географической изоляции популяций неантропов, живших в разных природно-климатических условиях. С формированием социальных взаимоотношений и ослаблением действия биологических факторов темпы эволюции человека как вида резко снизились и ни одна из рас не достигла видового обособления. О единстве вида *Homo sapiens* свидетельствует то, что все расы человека равноценны в биологическом и психологическом отношениях и находятся на одном и том же уровне эволюционного развития. Представители всех рас в пределах нормы реакции способны к достижению больших высот в развитии культуры и цивилизации. О видовом единстве свидетельствуют также неограниченные возможности скрещиваний с образованием плодовитого потомства.

Расовые особенности наследственны, и, по-видимому, часть из них в прошлом носила адаптивный характер. Так, тёмная кожа негроидов предохраняла организм от ярких солнечных лучей, в шапке курчавых волос создаются воздушные прослойки, защищающие от перегревания. Светлая кожа европеоидов пропускает ультрафиолетовые лучи и этим предохраняет от рахита, а узкий выступающий нос способствует согреванию вдыхаемого воздуха. Монголоидная раса характеризуется прямыми жёсткими волосами; уплощённостью лица, уменьшающей возможность обморожения; сильно выдающимися скулами, наличием эпикантуса (складки в углу глаза) — адаптациями к суровому, с частыми пылевыми бурями климату Центральной Азии.

По мере развития общества и производства большинство расовых признаков утратило адаптивное значение. Для современного человека решающим является не цвет кожи или волос, а способность развивать свои интеллектуальные качества.



Для современного этапа эволюции человека (последние 30—40 тыс. лет) характерно резкое снижение роли биологических факторов. Для эволюции животных решающее значение имеет изменение условий обитания, к которым популяции и виды приспособляются путём естественного отбора. Человеческие сообщества сами создают для себя среду обитания, освобождаясь тем самым от движущей формы естественного отбора.

Таким образом, ведущую роль в эволюции человечества стали играть социальные факторы, однако жизнедеятельность каждого отдельного человека подчинена биологическим законам. Сохраняет всё своё значение и мутационный процесс как источник генотипической изменчивости. В известной мере действует стабилизирующая форма естественного отбора, устраняя резко выраженные отклонения от средней нормы. Примером действия стабилизирующего отбора служат повышенная смертность недоношенных детей вследствие снижения их жизнеспособности и большая смертность мальчиков в первые годы после рождения вследствие фенотипического проявления неблагоприятных аллелей, локализованных в X-хромосоме.

Вследствие существования неблагоприятных аллелей в генофонде, приводящих в гомозиготном состоянии к смерти до наступления репродуктивного возраста или препятствующих оставлению потомства, примерно половина зигот, образующихся в каждом поколении людей, не участвует в передаче генов следующему поколению и устраняется из генофонда вида. Около 20% людей вследствие физических особенностей, особенностей поведения, характера, состояния здоровья не вступают в брак. Если родители плодовиты, около 15% зачатых организмов гибнет до рождения, 5% — при рождении и непосредственно после рождения, 3% людей умирает, не достигнув половой зрелости. Эти цифры показывают, как велик «груз» вредных мутаций в генофонде человечества и сколь эффективен стабилизирующий отбор, отмечающий нежизнеспособные генотипы.

В наше время изоляция как эволюционный фактор утрачивает своё значение для человека. Исчезновение классовых, религиозных, расовых и других барьеров, повышение частоты смешанных браков усиливают генотипическое разнообразие человечества. В процессе социальной эволюции создаются всё более благоприятные возможности для раскрытия индивидуальности каждого человека. Общественный характер труда позволил человеку выделиться из природы, создать для себя искусственную среду обитания.

Мутационный процесс и комбинативная изменчивость на основе высокой численности обеспечивают гетерогенность популяций человека. Так как идентичных особей (кроме пар однояйцевых близнецов) в популяции не существует, то практически ни одна особь не может быть типичной для расы или популяции. В связи с этим утверждения о так называемых «чистых расах» не имеют основания. Вид Человек разумный разнообразен не только по расовым признакам, но и, хотя в меньшей степени,

по многим другим морфологическим и физиологическим признакам, по способностям к различным родам деятельности.

Высокая полиморфность — разнообразие способностей человеческих популяций — залог процветания человечества, гарантия его дальнейшего прогресса. Поэтому представления о неравенстве между какими бы то ни было группами или расами людей по принципу их генетических различий не имеют ни биологической, ни социальной базы. Дальнейшая эволюция общества во многом зависит от правильного понимания биологических законов в применении к человеку, в первую очередь в создании равных возможностей для обеспечения максимального раскрытия способностей каждой человеческой личности.

Все люди, населяющие нашу планету, принадлежат к одному биологическому виду *Homo sapiens* (Человек разумный), внутри которого существуют крупные систематические подразделения — расы. Выделяют три большие расы: евразийскую (европеоидную), азиатско-американскую (монголоидную) и экваториальную (австрало-негроидную).

Человек — биосоциальное существо, он обладает сознанием, речью, абстрактным мышлением и способен к общественному труду.



Запомните!

Расы: европеоидная, монголоидная, австрало-негроидная. Биосоциальная природа человека.



Проверьте свои знания

1. Какие большие расы выделяют внутри вида Человек разумный?
2. Какие механизмы лежат в основе формирования человеческих рас?
3. Приведите доказательства единства человеческих рас.
4. В чём заключаются различия понятий «раса» и «нация»?
5. Почему так называемые расовые признаки не существенны для жизни в современных условиях?



Подумайте!

1. Почему в процессе эволюции ни одна из рас не достигла в своём развитии уровня вида?
2. На каком основании человека считают биосоциальным существом?

РАЗДЕЛ II

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Животные и растения, грибы и бактерии, возникшие в процессе биологической эволюции, существуют не сами по себе, независимо друг от друга, а находятся в тесном взаимодействии — влияют на проявления жизнедеятельности одних и сами зависят от других организмов. Поэтому наиболее полную картину процессов, происходящих на нашей планете, можно получить, только рассмотрев всю совокупность жизненных форм в их взаимосвязи и взаимодействии с окружающей природой, эволюция которой неразрывно связана с развитием жизни. Закономерности взаимоотношений между организмами и средой их обитания изучает наука экология. Впервые термин «экология» был введён в 1866 г. немецким учёным Эрнстом Геккелем (1834—1919) (см. рис. 61).

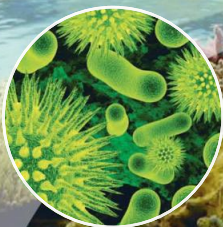
Экология (от греч. *oikos* — дом, жилище) — наука, изучающая взаимоотношения организмов между собой и с окружающей средой обитания.

Современная экология изучает воздействие окружающей среды на растительные и животные организмы, популяции, виды и экосистемы; взаимодействия организмов друг с другом; структуру природных сообществ и закономерности процессов, в них протекающих. Особым направлением является изучение влияния экологических факторов на человека и его здоровье, а также влияния деятельности человека на природу. Перед учёными и человечеством в целом стоит важная проблема сохранения природных экосистем, решение которой должно основываться на экологических знаниях и экологическом подходе.

В современном мире существуют экологические проблемы, возникшие в результате необдуманных действий людей. Главная задача человечества — сохранить стабильность экосистемы планеты Земля для жизни будущих поколений.

ГЛАВА 6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИЗНИ





Всё разнообразие населяющих нашу планету жизненных форм развивается по единым биологическим законам, обладает общими свойствами и находится в тесном взаимодействии друг с другом.

Мир живых существ представлен биологическими системами различной структурной организации и разного уровня соподчинения. Живая природа представляет собой сложно организованную иерархическую систему. На основании особенностей проявления свойств живого выделяют уровни организации живой материи.



§ 20. Уровни организации живой материи

Вспомните. Какие выделяют уровни организации живой материи?

Как вы думаете. Какими признаками и свойствами характеризуются живые системы?

Выделяют несколько уровней организации живой материи, на каждом из которых располагаются характерные функциональные образования.

Молекулярный уровень. На молекулярном уровне живое проявляется в виде функционирующих биополимеров (белков, жиров, углеводов и нуклеиновых кислот). Роль этих органических соединений чрезвычайно велика, без них невозможны рост и развитие организмов, хранение и передача наследственной информации, обмен веществ и преобразование энергии. Свойства биополимеров зависят от строения их молекул, а также от числа и разнообразия мономерных звеньев. В соответствии с особенностями своего строения каждый биополимер выполняет определённые функции. Например, белки являются структурными элементами клеток и контролируют протекающие в них процессы, а молекулы ДНК и РНК участвуют в хранении и передаче наследственной информации. Однако специфические свойства у биополимеров проявляются только в живой клетке. Будучи выделенными из неё, они способны проявлять только физико-химические свойства того класса химических соединений, к которому относятся.

Клеточный уровень. Живая природа представлена множеством разнообразных организмов, которые имеют клеточное строение. Клетка является структурной и функциональной единицей живых организмов, она представ-



ляет собой саморегулирующуюся, самообновляющуюся и самовоспроизводящуюся живую систему. Свободно живущих неклеточных форм жизни на Земле не существует. С этого уровня начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма: обмен веществ и превращение энергии.

Тканевый уровень. Ткань — система клеток и межклеточного вещества, объединённых общим происхождением, строением и выполняемыми функциями.

Органный уровень. Органы — это структурно-функциональные объединения нескольких типов тканей. Например, печень человека как орган включает эпителий и соединительную ткань, которые вместе выполняют функции обезвреживания ядовитых веществ и переваривания пищи.

Организменный уровень организации характерен для одноклеточных и многоклеточных живых организмов. На этом уровне происходит разделение организмов на отдельные царства. Представители каждого царства живой природы характеризуются специфическими особенностями строения и жизнедеятельности. Связь организмов с окружающей средой проявляется в их приспособленности к её условиям и степени устойчивости к различным воздействиям. Таким образом, многоклеточный организм представляет собой целостную систему, способную к самостоятельному существованию, координации и регуляции своей деятельности и поддержанию гомеостаза.

Популяционно-видовой уровень. На следующем системном уровне организации живой природы находятся популяции и виды, поэтому он называется популяционно-видовой. Любой организм — это представитель какого-либо вида: животных, растений, грибов, бактерий. На Земле обитает несколько миллионов различных видов. Виды распадаются на популяции, населяющие неоднородные территории. Члены одной популяции вступают друг с другом в сложные отношения, связанные с необходимостью размножения, использования ресурсов, защиты от хищников и т.п. Популяционные, т.е. внутривидовые, отношения — важная часть экологических связей любого вида.

Отдельные организмы живут непродолжительное время, редко больше ста лет, а виды и популяции могут существовать бесконечно долго, десятки тысяч и даже сотни миллионов лет, за счёт размножения, появления всё новых и новых поколений, благодаря естественному отбору, приспосабливаясь к изменяющейся среде.

Биогеоценологический уровень. Различные совместно обитающие виды живых организмов образуют сообщества, или биоценозы (от *греч.* *bios* — жизнь, *κοινός* — общий). Весь живой мир состоит из равномасштабных объединений различных видов, которые вместе живут в тех или иных участках среды и связаны друг с другом всевозможными, прямыми и косвенными, отношениями.



Сообщества складываются в природе по определённым закономерностям. Лес, болото, поле включают различный набор видов. Животный и растительный мир, например, в тёмнохвойном таёжном лесу и светлой дубраве также различен. Между видами в сообществах существуют тесные пищевые связи, они изменяют среду и создают условия жизни друг для друга, конкурируют за ресурсы и т.п. Таким образом, организмы являются составной частью популяций своего вида, а из популяций различных видов складываются сообщества. Но и сообщества не могут существовать изолированно, сами по себе, они являются составными частями других природных подразделений — экосистем и образуют экосистемный (биогеоценотический) уровень организации живой материи. Сообщества тесно связаны с окружающей их неживой природой, постоянно обмениваясь с нею веществом и энергией. В экосистемах происходят биологические круговороты веществ, поддерживающие жизнь. Живые существа строят свои тела из атомов и молекул, содержащихся в окружающей среде. Они получают их или из почвы, воды и воздуха, как растения, или через питание продуктами, созданными другими видами, как животные, грибы и ряд бактерий. Все компоненты сообществ активно влияют на среду обитания и преобразуют её.

Биосферный уровень. Экосистемы Земли очень разнообразны и разномасштабны. Существуют естественные экосистемы (лес, болото, луг) и искусственные экосистемы (парки, сады, города, космические корабли и др.), создаваемые человеком. Небольшие экосистемы входят в состав более крупных, и все вместе они составляют глобальную экосистему — биосферу. Биосфера, «живая оболочка» Земли, включает всю гидросферу, нижние слои атмосферы и верхние слои литосферы. На биосферном уровне происходят глобальные круговороты веществ.

Таким образом, живые системы на Земле существуют в виде клеток, организмов, популяций, экосистем и биосферы (рис. 90). Современная экология — это наука, изучающая связи, поддерживающие жизнь на всех уровнях её организации. В соответствии с этим выделяются такие разделы, как экология особей, популяционная экология, биоценология и экосистемная экология. Отдельно изучают экологию разных групп организмов: животных, растений, грибов и т.п. Существуют и многие другие области экологических исследований.

Особое значение для общества экология имеет по той причине, что все общие законы природы, открытые этой наукой, непосредственно относятся к жизни и деятельности человека. Используя и преобразуя природу, люди вторгаются в жизнь различных популяций, сообществ и экосистем, нередко разрушая установившиеся за миллионы лет связи и создавая искусственную среду. Исторический опыт показывает, что действия против законов природы могут приводить к крупномасштабным катастрофам и в конечном счёте угрожать самому существованию человека на Земле. Опустынивание,



Рис. 90. Уровни организации жизни: 1 — организменный; 2 — популяционно-видовой; 3 — биогеоценотический; 4 — биосферный

загрязнение атмосферы, вод и почв, снижение почвенного плодородия, истощение озонового экрана, взрывы численности вредителей — вот неполный перечень катастроф, с которыми вплотную столкнулось современное человечество в результате стихийного развития своей культуры. Если же сознательно использовать природные связи и зависимости и строить хозяйство на их основе, можно найти путь не только к выживанию, но и к дальнейшему процветанию. Экология, таким образом, разрабатывает научную основу грамотных взаимоотношений общества и природы.

Люди Земли входят в обширную систему разнообразных популяций. Внутривидовые связи человечества имеют характер сложных социальных



отношений. Связи человеческого общества с природной средой являются поэтому предметом особого раздела — социальной экологии.

Живая система представляет собой упорядоченно взаимодействующие и взаимозависимые компоненты, которые образуют единое целое. Все живые системы являются открытыми системами, так как имеют обмен с внешней средой веществом, энергией и информацией.



Запомните!

Уровни организации живой материи: молекулярный, клеточный, тканевый, органный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический (экосистемный) и биосферный.



Проверьте свои знания

1. Что изучает экология?
2. Охарактеризуйте уровни организации живой материи. Какие из них являются системными?
3. В чём различие понятий «экосистема» и «биогеоценоз»?
4. Приведите примеры экологических связей белки со средой. Какие связи возникают в популяциях этих животных? Как белки взаимодействуют с другими видами в сообществах?
5. Как проявляется воздействие на среду обитания: отдельного дерева ели, всего елового леса, одного дождевого червя, всех червей в почве луга? Приведите примеры.



Подумайте!

1. Почему наука экология подразделена на различные области исследования? Назовите основные её разделы.
2. Почему экологическая наука приобрела в настоящее время особое значение для жизни человеческого общества?
3. Можно ли познать все экологические закономерности, изучая только отдельные организмы?



§ 21. Организмы как открытые системы

Вспомните. Что такое обмен веществ? Какие типы обмена веществ вам известны?

Как вы думаете. Как измерить интенсивность обмена веществ у живого организма?

Обмен веществ — одно из главных проявлений жизни. Каждый организм представляет собой открытую биологическую систему, так как он связан с окружающей средой постоянным потоком вещества и энергии, проходящим через его тело. Материальная зависимость живых существ от среды была осознана ещё в Древней Греции. Философ Гераклит образно выразил это явление в таких словах: «Текут наши тела, как ручьи, и материя постоянно обновляется в них, как вода в потоке».

Вещественно-энергетическую связь организма со средой можно измерить. **Интенсивность обмена веществ** выражают в разных показателях. Это может быть, например, количество кислорода, используемого для дыхания в единицу времени на единицу массы тела. Оно пропорционально количеству энергии, освобождающейся в окислительных процессах в клетках. Объём или масса углекислого газа, образующегося при дыхании, соответствует количеству использованного кислорода. Можно также непосредственно учесть количество теплоты, выделенной организмом в окружающую среду. Поступление веществ и энергии в тела растений оценивают через интенсивность фотосинтеза, а в тела животных — через количество и качество потребляемой пищи. Все эти показатели отражают непосредственные связи организма со средой.

Интенсивность обмена веществ у представителей разных видов сильно различается. Например, в спокойном состоянии на 1 г массы тела в один час воробей использует около 4 мл кислорода, собака — около 0,4 мл, а слон — 0,07 мл. Для человека эта величина составляет 0,2 мл в один час.

Для поддержания жизни человека от рождения до естественной смерти необходимо, чтобы через его кишечник прошло несколько десятков тонн пищи, т.е. примерно в тысячу раз больше его собственного веса. Через лёгкие за жизнь проходят миллионы литров кислорода.



Растения постоянно усваивают энергию солнечных лучей, синтезируя органические соединения из неорганических. В их тела поступают потоки воды с растворёнными в ней минеральными солями и углекислый газ. Часть созданного вещества тратится в процессе дыхания, поддерживая жизнедеятельность самого растения, другая идёт на рост.

Энергия, которую используют животные, заключена в их пище, в химических связях тех соединений, из которых она состоит. Общая судьба этого вещественно-энергетического потока представлена на рисунке 91. Съеденная животными пища усваивается не полностью. Часть её не переваривается и вновь поступает в окружающую среду в виде экскрементов. Они, в свою очередь, служат энергетическим источником для других групп организмов, например микроорганизмов или личинок некоторых насекомых. Доля неусвоенной пищи может быть существенной. В зависимости от качества корма и вида животного она составляет от долей процента до 90%.

Усвоенная пища используется двояко. Большая часть расходуется на поддержание жизнедеятельности организма, так как процессы, протекающие в клетках, требуют значительных затрат энергии. В результате образуются продукты расщепления — метаболиты, которые удаляются из тела через органы выделения. Отработанная энергия рассеивается в окружающей среде в виде тепла. Меньшая часть усвоенной пищи вместе с заключённой в ней энергией идёт на образование тела животного. За счёт этого организм растёт, накапливает жировую ткань или размножается. Пища и заключённая в ней энергия, использованная «на рост», обычно составляет лишь несколько процентов от усвоенной. Её доля выше у молодых, а у

Рис. 91. Поток вещества и энергии через тело животного



взрослых и пожилых животных она снижается.

Чем мельче организмы, тем более интенсивно они должны обмениваться веществом и энергией со средой, чтобы поддерживать своё существование. Суточная потребность в пище, например, у коровы — около 20 кг травы, что составляет примерно 5% её собственной массы, у овцы — около 4 кг, или 8%, а мелкий грызун полёвка ежедневно съедает такое количество зелени, которое составляет от 100 до 300% массы этого зверька.

Наиболее интенсивно преобразуют вещество в энергию самые мелкие организмы — бактерии. 1 г активных бактерий выделяет в окружающую среду

примерно в 300 раз больше тепла, чем 1 г такой крупной млекопитающего.

Интенсивность обмена веществ и, следовательно, масштабы вещественной связи организмов с окружающей средой зависят и от ряда других причин.

Потребляя и выделяя вещество и энергию, живые организмы влияют на среду своего обитания уже самим фактом своего существования. Результаты жизнедеятельности каждого отдельного существа могут быть невелики и малозаметны. Но все вместе они сливаются в мощную силу, преобразующую земную поверхность. Академик Владимир Иванович Вернадский (1863—1945) (рис. 92) писал, что на Земле нет силы более могущественной по своим последствиям, чем живое вещество (так он называл все живые организмы, взятые в целом). Так, примерно за 1 млрд лет фотосинтезирующие водоросли и наземные растения использовали огромное количество солнечной энергии и создали столько органического вещества, что оно могло бы покрыть всю Землю слоем в 2000 км.

Ещё Ч. Дарвин (см. рис. 12) подсчитал, что такие обитатели почвы, как дождевые черви, которые питаются продуктами разложения растительных остатков, пропускают через свой кишечник весь объём почвы за полтора-два столетия. Следовательно, все почвы в ходе тысячелетий были многократно переработаны дождевыми червями. Многочисленные обитатели дна и толщи океана, которые добывают пищу, фильтруя воду и отцеживая съедобные частицы (разнообразные рачки, двусторчатые моллюски и т.п.), всего за четверо суток пропускают через свои организмы весь объём океанических вод.

Огромные массы воды пропускают через себя и наземные организмы, особенно растения. Для фотосинтеза растения используют лишь небольшую часть того, что тратят на испарение. Через их тела идёт постоянный ток воды из почвы в атмосферу, так как минеральные вещества могут поступить к различным органам только в виде растворов. Так, например, кукуруза испаряет каждый день воды в 6—9 раз больше своего сухого веса, а люцерна — даже в 36—50 раз. За вегетационный период поле кукурузы способно вернуть в атмосферу до 125 мм выпавших осадков. Ещё больше воды используют леса. В районе озера Байкал при годовой сумме осадков в 262 мм лиственные леса испаряют до 225 мм в год и лишь небольшая часть воды уходит в сток. В лесостепных дубравах величина

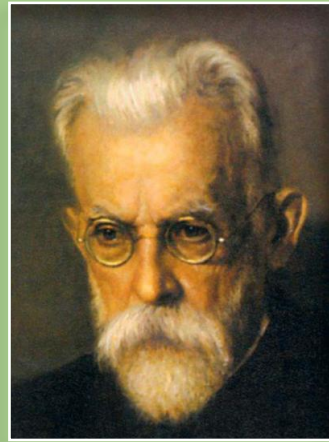


Рис. 92. В.И. Вернадский



испарения составляет от 250 до 400 мм в год. Поэтому круговорот воды на Земле на 80—90% определяется деятельностью живых организмов.

Необходимость постоянного потока веществ через тела живых организмов ставит их в теснейшую зависимость от окружающих условий жизни. Каждое живое существо, выступая в роли открытой биологической системы, служит ячейкой преобразования вещества и энергии в биосфере Земли.

Каждый живой организм является открытой биологической системой. Обмен веществ и энергии — главное проявление жизни. Интенсивность обмена веществ у разных видов организмов различается, она сформировалась в ходе эволюции и является приспособлением к обитанию в определённых условиях.



Запомните!

Обмен веществ. Интенсивность обмена веществ.



Проверьте свои знания

1. Дайте определение понятия «обмен веществ».
2. Какие типы обмена веществ вам известны?
3. Что такое открытая система?
4. Как измеряют интенсивность обмена веществ?
5. У каких организмов низкий уровень обмена веществ? С чем это связано?
6. Какие организмы обладают высоким уровнем обмена веществ? Какие преимущества в борьбе за существование получили такие организмы?
7. Подсчитайте, сколько воды уходит на полив одного из ваших комнатных растений в день (в год). На что расходуется эта вода?
8. Могут ли организмы существовать, не изменяя среду вокруг себя?
9. Что изменилось бы в круговороте воды на Земле, если бы исчезли все наземные растения?



Подумайте!

1. Подсчитайте массу еды и питья, которую вы потребляете за день (за месяц). Почему ваша масса ежемесячно не возрастает на такую же величину? На что расходуется энергия, заключённая в вашей пище?
2. Кто сильнее изменяет среду продуктами своей жизнедеятельности — крупное млекопитающее или такое же по массе количество бактерий?

ГЛАВА 7

ФАКТОРЫ СРЕДЫ
И ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ





Животные и растения, грибы и бактерии, возникшие в процессе биологической эволюции, существуют не сами по себе, независимо друг от друга, а находятся в тесном взаимодействии — влияют на проявления жизнедеятельности одних и сами зависят от других организмов. Поэтому наиболее полную картину процессов, происходящих на нашей планете, можно получить, только рассмотрев всю совокупность форм жизни Земли в их взаимосвязи и взаимодействии с окружающей природой, эволюция которой неразрывно связана с развитием жизни.



§ 22. Роль абиотических факторов среды в жизни организмов

Вспомните. Какие факторы называются абиотическими? Что такое терморегуляция? Какие организмы способны к терморегуляции?

Как вы думаете. Какие лучи входят в состав солнечного спектра? Каково их значение для живых организмов? Возможно ли по внешнему виду определить, в каких условиях произрастает растение?

Живые организмы испытывают влияние самых разных экологических факторов.

Экологические факторы — любые компоненты среды, способные оказывать влияние на организмы.

Среди них выделяют абиотические — факторы неживой природы, биотические — взаимное влияние организмов друг на друга и антропогенные (деятельность человека).

Абиотические факторы среды имеют физико-химическую природу и определяют пределы устойчивости жизни на Земле. Каковы же эти пределы?

Температура. Для большинства организмов температурные пределы активной работы белков составляют от 0 до 50 °С. Если температура опускается ниже 0 °С — замерзает вода в клетках, а при подъёме



выше 50°C — происходит нарушение работы ферментов. Однако некоторые виды живых организмов обладают особо устойчивыми к повышению температуры белками, активными при температуре $60\text{--}90^{\circ}\text{C}$, например некоторые цианобактерии, плесневые грибы и бактерии. Самые же низкие температуры, при которых зарегистрировано размножение бактерий, — около -12°C , а некоторые лишайники способны фотосинтезировать при -22°C (при условии, что вода в их клетках находится в переохлаждённом состоянии, т.е. не замерзает). Таким образом, живые организмы могут проявлять свою активность в самых разных температурных условиях, охватывающих большую часть спектра возможных на Земле температур.

Скорость обмена веществ организма находится в прямой зависимости от температуры его тела. У подавляющего большинства видов внутренняя температура связана с изменениями температуры внешней среды. При переменных температурных условиях скорость обмена веществ у них то возрастает, то понижается. Такие виды называют *пойкилотермными* (холоднокровными). Только две группы живых существ — птицы и млекопитающие — способны поддерживать постоянную температуру тела. Это *гомойотермные* (теплокровные) животные. Их обмен веществ идёт с постоянно высокой скоростью. Температура тела этих животных может отличаться от температуры окружающей среды почти на 90°C . Например, полярные волки, песцы, лисицы при температуре тела в $37\text{--}38^{\circ}\text{C}$ выдерживают пятидесятиградусные морозы. Теплокровные животные в значительно меньшей степени зависят от температуры окружающей среды. Они способны к терморегуляции.

Терморегуляция — способность организмов поддерживать температуру своего тела на относительно постоянном уровне, независимо от температуры окружающей среды.

Ароморфозные изменения строения позволили таким животным, птицам и млекопитающим сохранять активность при очень резких перепадах температур и освоить практически все места обитания.

Свет. Свет в форме солнечной радиации обеспечивает все жизненные процессы на Земле. Для организмов важны длина волны воспринимаемого излучения, его интенсивность и продолжительность воздействия.

Ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее $0,3$ мкм составляют примерно 10% лучистой энергии, достигающей земной поверхности. В небольших дозах они необходимы животным и человеку. Под их воздействием в организме образуется витамин D. Насекомые зрительно различают ультрафиолетовые лучи и пользуются этим для ориентации на местности в облачную погоду.



Наибольшее влияние на организм оказывает *видимый свет* с длиной волны 0,4—0,75 мкм. Энергия видимого света составляет около 45% общего количества лучистой энергии, падающей на Землю. Видимый свет менее всего ослабляется при прохождении через плотные облака и воду. Поэтому фотосинтез может идти и при пасмурной погоде, и под слоем воды определённой толщины. Самая малая доля полного светового потока, необходимая для того, чтобы могли существовать хотя бы некоторые, особенно устойчивые виды, составляет на суше примерно 1/100. В процессе эволюции преимущество получили растения, пигменты которых поглощали часть спектра излучения Солнца, наиболее богатую энергией. Синий (0,4—0,5 мкм) и красный (0,6—0,7 мкм) свет особенно сильно поглощается хлорофиллом.

Для животных свет важен не как источник энергии, а как условие ориентации в пространстве. Органы зрения животных воспринимают лучи, отражённые от окружающих предметов, для получения информации об этих предметах. У многих животных, обитающих в темноте, органы зрения отсутствуют, они ориентируются с помощью других органов чувств. В жизни грибов и ряда других групп организмов свет также не является необходимым фактором.

Инфракрасные лучи солнечного спектра являются источником тепловой энергии. В зависимости от условий обитания растения адаптируются к тени — *теневыносливые* растения — или, напротив, к яркому солнцу — *светолюбивые* растения. К последней группе относятся, например, хлебные злаки. Однако и у светолюбивых растений увеличение интенсивности освещения сверх оптимальной подавляет фотосинтез, поэтому в тропиках трудно получить высокие урожаи культур, богатых белком.

Очень важную роль в регуляции активности живых организмов и их развития играет продолжительность воздействия света — фотопериод. В умеренных зонах, севернее и южнее экватора, цикл развития растений и животных приурочен к сезонам года и подготовка к изменению температурных условий осуществляется на основе сигнала — длины дня, которая, в отличие от других сезонных факторов, в определённое время года в данном месте всегда одинакова.

Фотопериодизм — реакция организмов на изменение длины светового дня.

Фотопериод представляет собой «пусковой механизм», включающий физиологические процессы, последовательно приводящие к росту, цветению растений весной, плодоношению летом и сбрасыванию ими листьев осенью (рис. 93), а также к линьке и накоплению жира, миграции и размножению у птиц и млекопитающих, наступлению стадии покоя

у насекомых. Изменение длины дня воспринимается органами зрения у животных или специальными пигментами в листьях растений.

Кроме сезонных изменений смена дня и ночи определяет суточный ритм активности как целых организмов, так и физиологических процессов. Способность организмов ощущать время, наличие у них «биологических часов» — важное приспособление, обеспечивающее выживание особи в данных условиях среды.

Влажность. Вода — необходимый компонент клетки, поэтому количество её в тех или иных местах обитания служит ограничивающим фактором для растений и животных и определяет характер флоры и фауны в данной местности. Избыток воды в почве приводит к развитию болотной растительности (рис. 94), а недостаток — к формированию пустынь. В зависимости от влажности почвы и годового количества осадков в разных природных зонах планеты меняется видовой состав растительных сообществ. Широколиственные леса, например, постепенно переходят в лесостепь. При дальнейшем повышении сухости почвы степное высокотравье уступает место низкотравью (рис. 95). При годовом количестве осадков 250 мм и менее развивается пустынный ландшафт. Неравномерное распределение осадков по временам года также является важным ограничивающим фактором для организмов.



Рис. 93. Листопад

Рис. 94. Болотная растительность

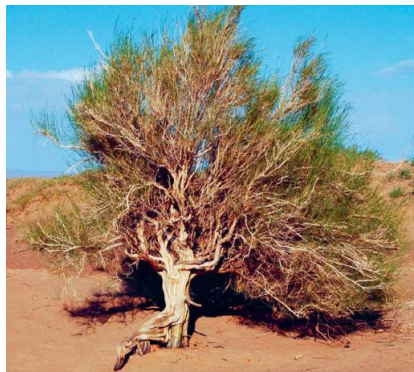


Рис. 95. Степная растительность





Кактусы



Саксаул

Рис. 96. Растения, приспособленные к недостатку влаги

Также в природе происходят суточные колебания влажности воздуха, которые наряду со светом и температурой регулируют активность организмов. Влажность, как экологический фактор, важна и тем, что изменяет эффект температуры. Температура оказывает более выраженное влияние на организм, если влажность очень высока или низка. Точно так же роль влажности повышается, если температура близка к пределам выносливости данного вида. Для видов растений и животных, обитающих в зонах с недостаточной степенью увлажнения, характерно наличие эффективных приспособлений к неблагоприятным условиям засухливости (рис. 96). У растений мощно развита корневая система, повышено осмотическое давление клеточного сока, способствующее удержанию воды в тканях, утолщена кутикула листа, сильно уменьшена или превращена в колючки листовая пластинка. У некоторых растений (саксаул) листья утрачиваются, а фотосинтез осуществляется зелёными стеблями. При отсутствии воды рост пустынных растений прекращается. Кактусы способны запасать большие количества воды в тканях и экономно её расходовать.

У пустынных животных также есть целый ряд физиологических приспособлений, позволяющих переносить недостаток воды. Мелкие животные — грызуны, пресмыкающиеся, членистоногие — извлекают воду из пищи. Источником воды служит и жир, накапливающийся у некоторых животных в больших количествах (горб у верблюдов). В жаркое время года многие животные, например грызуны и черепахи, впадают в спячку, продолжающуюся несколько месяцев.

Давление. Самое высокое давление в биосфере — на дне глубоких океанических впадин. Например, в Марианской впадине оно в 1100 раз больше, чем на земной поверхности. Тем не менее и там обнаружено несколько видов животных из разных групп, таких, как черви, иглокожие и даже



рыбы. В экспериментальных условиях живые клетки размножаются и при ещё более высоких давлениях. Вместе с тем клетки могут размножаться и в разреженном воздухе горных вершин, где давление значительно ниже нормального. Таким образом, этот фактор практически не ограничивает жизнь на Земле.

Радиоактивное излучение. Это один из наиболее опасных для жизни организмов экологических факторов, провоцирующий нарушение наследственного аппарата клеток. Однако чувствительность к нему у представителей разных видов также различна. Наиболее уязвимы виды со сложной организацией, такие, как млекопитающие и птицы. Среди растений наиболее устойчивы высокогорные организмы, которые растут в условиях повышенной радиации. Некоторые одноклеточные (например, инфузории) способны выдерживать без последствий такие дозы облучения, которые в тысячи раз превышают смертельные для человека.

От избытка жёсткого ультрафиолетового излучения Солнца жизнь на поверхности Земли защищена озоновым экраном.

К числу абиотических факторов природы относится и множество других, таких, как содержание кислорода, солевой состав воды и почвы, атмосферное электричество, ветры, течения и т.п. Каждый из них так или иначе влияет на жизнь организмов. Однако в тех пределах, в которых действуют эти факторы, они не ограничивают жизнь на Земле (рис. 97).

Рис. 97. Зависимость растительности от географической широты и высоты местности над уровнем моря





Практически в любых частях биосферы мы обнаруживаем те или иные группы видов, приспособленных, казалось бы, почти к невероятным условиям. Разнообразие экологических факторов влечёт за собой огромное экологическое разнообразие живых организмов.

При ухудшении условий жизни многие виды способны переходить в неактивное состояние. Замедление обмена веществ в клетках существенно увеличивает устойчивость организмов. Такое состояние организмов получило название скрытой жизни. Например, переход растений в состояние зимнего покоя, а животных — в состояние спячки или оцепенения позволяет им с наименьшими потерями переносить зимние холода. У некоторых видов возможна даже полная временная остановка обмена веществ — анабиоз. Явление это обнаружил в начале XVIII в. Антони Ван Левенгук (1632—1723) (рис. 98), один из первых микроскопистов, который с изумлением увидел в микроскоп, что полностью высохшие «маленькие зверушки» (это были коловратки) после добавления воды ожили и перешли к движению. В анабиозе организмы могут длительное время сохранять жизнеспособность. Учёным удалось оживить споры грибов и бактерий, вмёрзших в нижние слои ледового щита Антарктиды 13 тыс. лет назад.

Анабиоз возможен только при глубоком обезвоживании клеток, если при этом не нарушится их внутренняя структура. Поэтому способность к полной приостановке обмена веществ присуща лишь немногим видам с достаточно простым строением клеток. Значительно шире распространено явление скрытой жизни, при которой обмен веществ не прекращается пол-

ностью, но сильно замедляется. В этом состоянии могут долго находиться семена растений, споры растений и грибов, цисты простейших, яйца с плотными оболочками, сохраняя жизнеспособность и почти не проявляя признаков жизни. Оцепенение как способ переживания неблагоприятных условий присуще большинству пойкилотермных организмов, а многие теплокровные виды способны впадать в спячку. В состоянии скрытой жизни организмы очень устойчивы к внешним воздействиям.

Таким образом, жизнь в её многообразии обладает широкими возможностями приспособления ко всему спектру условий биосферы.

Рис. 98. А. Левенгук



Основными абиотическими факторами являются температура, свет и влажность. Однако распространение тех или иных видов зависит и от других факторов неживой природы: ветра, радиации, засоленности, атмосферного давления и т.д.



Запомните!

Абиотические факторы среды: температура, свет, влажность. Животные теплокровные и холоднокровные. Терморегуляция. Растения теневыносливые и светолюбивые. Фотопериодизм.



Проверьте свои знания

1. Перечислите экологические факторы, оказывающие влияние на живые организмы. Какие факторы среды называются абиотическими?
2. Какие животные называются холоднокровными? Приведите примеры.
3. Как теплокровные животные осуществляют терморегуляцию? Какие прогрессивные изменения строения их тела (ароморфозы) этому способствуют?
4. Какие лучи входят в состав солнечного спектра?
5. Какую роль для жизнедеятельности организмов играют ультрафиолетовые лучи?
6. Укажите, какая часть спектра видимого излучения Солнца наиболее активно поглощается хлорофиллом зелёных растений.
7. Перечислите приспособления растений к условиям освещения. Какие растения называются теневыносливыми, а какие светолюбивыми?
8. Какую роль в жизнедеятельности организмов играет продолжительность освещения (фотопериод)?
9. Какую роль играет вода в жизнедеятельности организмов? В формировании видового состава биоценозов?
10. Какие приспособления в условиях недостатка воды развиваются у растений? Какие вы знаете растения, приспособленные к жизни в почти безводных районах? Какие особенности помогают выжить в таких условиях?
11. Какие приспособления в условиях недостатка воды развиваются у животных?



Подумайте!

1. Чем важна температура как экологический фактор в жизни пойкилотермных организмов? Гомойотермных животных?
2. Возможен ли анабиоз у млекопитающих? У человека?
3. Чем интересно явление скрытой жизни для хозяйственной практики? Как его можно использовать?
4. Как по внешнему виду отличить растение, произрастающее в тундре? В пустыне?
5. По каким признакам можно отличить светлюбивое растение от теневыносливого?



§ 23. Общие законы действия факторов среды на организмы

Вспомните. Какие факторы среды называют абиотическими? Что такое фотопериодизм? Какое значение для организмов имеет способность впадать в состояние анабиоза?

Как вы думаете. Какие условия жизни можно назвать оптимальными? Какой фактор среды называется ограничивающим?

Хотя факторов среды можно выделить великое множество и представители разных видов реагируют на каждый из них по-разному, существует ряд общих закономерностей их действия на организмы. Главный из них — закон оптимума.

Закон оптимума отражает реакцию видов на изменение силы действия любого фактора. При определённых значениях каждого фактора жизнеспособность организмов возрастает. Это *зона оптимума*, или зона нормальной жизнедеятельности. При уменьшении или увеличении силы воздействия жизнеспособность снижается (*зона пессимума*, или зона угнетения). Если значение фактора выходит за определённые, минимально

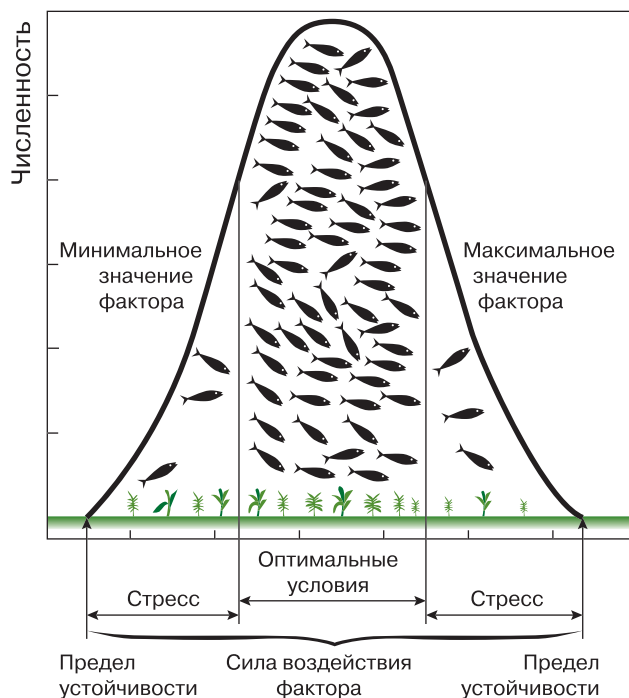


или максимально возможные для вида пределы, организмы погибают. Губительные значения фактора называют *критическими точками* или *летальными* значениями фактора (рис. 99).

Закон оптимума имеет большое практическое значение. Всецело положительных или отрицательных факторов не существует, всё зависит от их дозировки. Форма влияния среды на организмы может иметь сугубо количественное выражение. Чтобы обеспечить благоприятные жизненные условия, прежде всего следует не допускать выхода различных экологических факторов за их критические значения и стараться выдерживать зону оптимума. Это очень важно для растениеводства, животноводства, лесного хозяйства и вообще всех областей взаимоотношения человека с живой природой. Это же правило относится и к самому человеку.

Использование закона оптимума в практике — хозяйственной деятельности человека — осложняется тем, что условия, оптимальные для одного вида, могут стать пессимумом для другого или выйти за критические пределы третьего. Так, при температуре в 20 °С тропическая обезьяна дрожит от холода, а обитатель северных широт — песец — изнывает от жары. Бабочки

Рис. 99. Действие факторов среды на живые организмы



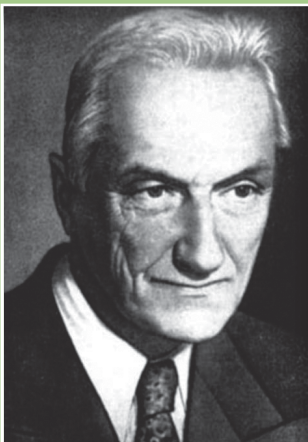


Рис. 100. Л.Г. Раменский

зимние пяденицы ещё летают в ноябре при температуре 5—6 °С, когда большинство других насекомых впадает в оцепенение. Рис выращивают на полях, залитых водой, тогда как пшеница в таких условиях вымокает и погибает.

Правило экологической индивидуальности отражает многообразие живых организмов, в соответствии с которым в природе нет двух видов с полным совпадением оптимумов и критических точек по отношению к условиям среды. Если несколько видов одинаково устойчивы по отношению к одному природному фактору, то они обязательно разойдутся по устойчивости к другим.

Правило экологической индивидуальности видов впервые сформулировал русский ботаник Леонтий Григорьевич Раменский (1884 — 1953) (рис. 100), когда изучал распределение растений на почвах с разной степенью увлажнения и богатства элементами минерального питания. Кривые оптимума разных видов заполнили всю шкалу по градиенту факторов, не совпадая друг с другом.

Кривая оптимума характеризует не только предпочитаемые значения фактора, но и устойчивость вида к его колебаниям. Расстояние между критическими точками может быть или широким, или узким, т.е. одни виды очень выносливы к изменению условий (*эврибионты*), а другие почти не переносят этих изменений (*стенобионты*). Например, тропические неоновые рыбки в аквариумах выдерживают колебания температуры не более чем в 5—6 °С, а золотые рыбки, которые ведут свою родословную от обычного карася наших водоёмов, — в десятки градусов. Виды с узким диапазоном устойчивости к какому-либо фактору относят к разряду *специализированных*, или *стенотопных*. Обычно они живут в таких условиях, где этот фактор варьируется очень слабо. Например, глубоководным рыбам необходима постоянная температура воды, болотным растениям — постоянно высокая влажность и т.д.

Закон ограничивающего фактора тесно связан с законом оптимума и вытекает из него. В окружающей среде нет всецело отрицательных или положительных факторов, всё зависит от силы их действия. На живые существа одновременно действует множество факторов, и к тому же большинство из них переменчиво, но в каждый конкретный период времени обычно можно выделить самый главный ограничивающий фактор. Впервые на существование ограничивающих факторов указал немецкий химик Юстус Либих (1803—1873) (рис. 101).

Ограничивающий фактор — фактор, находящийся в недостатке или избытке по сравнению с оптимальной величиной.

Им чаще всего оказывается тот фактор среды, который дальше всего отклоняется от оптимума. Он и служит фактором, ограничивающим жизнедеятельность организмов в данный период. Например, растения пшеницы на поле в разные сроки могут страдать от засухи, проливных дождей, нехватки азота или фосфора, весенних заморозков и т.п. Следовательно, ограничивающим может стать любой фактор, сила действия которого приближается к критическим точкам.

Закон ограничивающего фактора постоянно используется в практической деятельности человека. Он даёт возможность сосредоточить усилия на самом главном при заботе об урожае, выращивании животных, разработке биотехнологий да и просто в заботе о собственном здоровье.

Другая возможность влиять на жизнедеятельность интересующих нас видов вытекает из экологического *принципа совместного действия факторов*. Он заключается в том, что результат влияния любого экологического фактора на организмы во многом зависит от того, в какой комбинации и с какой силой действуют в данный момент и другие факторы. Так, каждый знает, что переносить мороз в безветренную погоду значительно легче, чем при сильном ветре. Влияние тридцатиградусной жары значительно сильнее при высокой влажности воздуха, чем в сухую погоду, и т.п. Поэтому, если нет возможности изменить ограничивающий фактор, часто можно добиться смягчения его действия, изменяя другие. В сельском хозяйстве это агротехнические приёмы, например, добавочное рыхление почвы в какой-то мере компенсирует отсутствие дождей, потому что снижает испарение почвенной влаги.

Многие экологические беды возникают из-за неосознанного нарушения человеком самых элементарных природных законов. Например, при использовании минеральных или недостаточно переработанных органических удобрений, ядохимикатов эти вещества часто вносят в избыточных количествах, не считаясь с законом оптимума. В результате происходит загрязнение почв, водоёмов, ухудшается состояние природной среды, и в конечном счёте это отрицательно сказывается на здоровье человека.

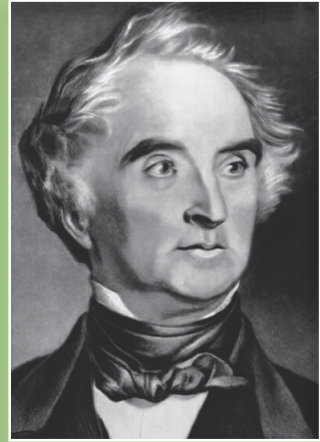


Рис. 101. Ю. Либих



Приспособительные ритмы. В действии экологических факторов на планете наблюдается известная периодичность, связанная со временем суток, сезоном года, морскими приливами и фазами Луны. Эта периодичность обусловлена космическими причинами — движением Земли вокруг своей оси, вокруг Солнца и её взаимодействием с Луной. Жизнь на Земле приспособлена к этой ритмике, что проявляется в изменениях состояния и поведения организмов.

Вегетация растений, листопад, зимний покой, размножение животных, их миграции, спячки, нагуливание жира — примеры явлений, обусловленных сезоном года. Смена дня и ночи вызывает изменение активности у животных, скорости фотосинтеза у растений и т.п.

Приспособленность к периодическим изменениям внешней среды выражается не только в непосредственной реакции на изменение ряда факторов, но и в наследственно закреплённых внутренних ритмах. Человек, например, испытывает суточные изменения самочувствия даже при отсутствии видимого чередования дня и ночи — при работе в подводных лодках, длительных исследованиях пещер и т.п. Ночная работа или ночная подготовка к экзаменам неблагоприятны для здоровья. Настройка организма на новый режим дня при быстрых перелётах через несколько часовых поясов тоже нередко представляет серьёзную медицинскую проблему.

Внутренние сезонные ритмы перестраиваются с ещё большим трудом и часто лишь через несколько поколений. Например, животные Южного полушария, перевезённые в наши зоопарки, размножаются обычно осенью, под зиму, когда на их родине весна.

Внутреннюю ритмику организмов приходится учитывать как в медицине, так и в сельском хозяйстве.

При сезонных перестройках жизнедеятельности у большинства видов проявляется *фотопериодизм*. Так называют реакцию организмов на изменение длины дня. Сами по себе эти изменения не существенны для выживания. Однако в годовом цикле природы они являются единственным точным сигналом приближения зимы или весны, когда изменится весь комплекс факторов внешней среды. Погодные же условия обманчивы. Поэтому растения, например, реагируя на длину дня, не распускают листву в зимние оттепели и не переходят к листопаду при краткосрочных летних заморозках. Зацветают растения, только когда день достигнет определённой длины. Так как на севере летний день более продолжителен, чем на юге, северные виды могут не зацвести в южных широтах, а южные — в северных. С этим часто сталкиваются в сельском хозяйстве при перемещениях сортов. Поэтому важно различать короткодневные и длиннодневные виды или сорта растений.

Анализируя проявления фотопериодизма, мы встречаемся не с непосредственным действием фактора на организмы, а с его сигнальным

значением. *Сигнальный фактор* как бы предупреждает о предстоящих изменениях в природе, подготовка к которым требует времени. В результате животные и растения успевают заранее завершить необходимую физиологическую настройку.

Все экологические факторы действуют взаимосвязанно, поэтому в процессе эволюции организмы приспосабливаются не к каждому фактору в отдельности, а сразу к их комплексу.



Запомните!

Закон оптимума. Правило экологической индивидуальности. Ограничивающий фактор. Принцип совместного действия факторов. Приспособительные ритмы.



Проверьте свои знания

1. Как называют благоприятную для организмов интенсивность действия фактора внешней среды?
2. В чём суть правила экологической индивидуальности?
3. Приведите примеры видов растений с широкой и низкой устойчивостью к влажности. Где растут такие виды?
4. Какой фактор называется ограничивающим?
5. Какие виды считаются специализированными по отношению к факторам среды?
6. Приведите примеры нарушения общих экологических законов в хозяйственной деятельности человека.
7. Как проявляются суточные ритмы у кошки? Совы? Одуванчика?
8. Что такое сигнальный фактор? Чем он отличается от других абиотических факторов среды?



Подумайте!

1. Почему в бане-сауне человек может выдерживать температуру в 100 °С, а в русской бане — нет?
2. Обитатели каких природных зон будут иметь наиболее широкие диапазоны выносливости? Ответ поясните.



§ 24. Биотические связи

Вспомните. Какие факторы называются биотическими? Что такое симбиоз? В чём различие основного и промежуточного хозяина паразита?

Как вы думаете. Какие организмы называют нахлебниками? Квартирантами? Чем отличаются хищники от паразитов?

Ни один вид, ни один организм не могут существовать независимо от других. Вся живая природа — это переплетение сложных систем связей, от которых зависят возможности питания, размножения, распространения видов и свойства их местообитания. Зависимость организмов друг от друга чрезвычайно разнообразна. Рассмотрим некоторые формы этой зависимости, играющие в природе особенно важную роль.

Пищевые связи. Их называют также *трофическими* (от греч. *trophos* — питание, пища). От этих связей напрямую зависит жизнь организмов, обеспеченность их энергией. Они носят всеобщий характер, так как на Земле практически нет видов, которые не служили бы пищей другим или сами не использовали бы для этих целей другие виды.

Трофические отношения образуют в сообществах сложную систему, которую называют *сетью питания* (рис. 102). Её можно схематически изобразить как охватывающую весь органический мир густую паутину, нити которой тянутся от каждого вида. Например, домашние овцы поедают десятки видов растений, сами идут в пищу людям, крупным хищникам и множеству паразитов. Каждый из этих видов связан пищевыми отношениями со своим кругом жертв или потребителей, мёртвые остатки растений и животных также служат источниками пищи для множества других видов. В трофической сети нет ни начала, ни конца, так как каждый вид прямо или косвенно связан со многими другими.

Способы добычи пищи организмами разделяют обычно на хищничество, паразитизм, собирательство и пастьбу. Они различаются по затратам времени и энергии на получение пищи. *Типичные хищники* тратят много сил на поиск живой добычи, которая сопротивляется или убегает, и овладение ею. За свою жизнь они убивают и съедают множество жертв. *Паразиты* живут в условиях избытка пищевых ресурсов, используя хозяина и как место обитания. *Собиратели* и пасущиеся животные тратят энергию в основном



на поиск и сбор добычи, которая не способна сопротивляться. Своеобразными собирателями являются фильтраторы и грунтоеды в водоёмах и почвах.

В одну и ту же экологическую группу по способу питания могут попасть далеко не родственные виды. Например, собирателями являются грифы-падальщики и лесные мыши, воробы и голуби. Отфильтровывают пищу в водоёмах мелкие рачки-дафнии, двусторчатые моллюски, усаые киты, морские лилии. Жуки божьи коровки и их личинки в колониях тлей пасутся так же, как и коровы на лугу, не тратя времени на поиск пищи. А хищные мухи-ктыри на лету догоняют добычу, как это делает, например, птица сокол.

Пищевые связи играют двоякую роль в биоценозах. Во-первых, они обеспечивают передачу вещества от одного организма к другому. В биоценозах, таким образом, сосуществуют виды, поддерживающие жизнь друг друга. Во-вторых, пищевые связи служат механизмом регуляции численности популяций. Хищники, паразиты, собиратели выполняют функцию заслона на пути чрезмерного размножения отдельных видов, что делает видовой состав биологических систем более сбалансированным.

Отношения «хищник — жертва» (хищничество). Это важный фактор естественного отбора для обоих взаимодействующих видов. Выживают те жертвы, которые быстрее реагируют на опасность, лучше бегают или летают, имеют зоркие глаза, чуткие уши, более развитую нервную систему. Хищники, таким образом, ведут отбор на прогрессивную эволюцию жертв, но одновременно и сами эволюционируют в этом направлении. Оставляют потомство те, кто более успешно ловит добычу, более силен и вынослив, более сообразителен и т.п. Встречаются среди хищников и растения, например росянка, непентес, венерина мухоловка (рис. 103) и др., но их биология отличается от хищников-животных.

Собирательство приводит к иному эволюционному результату. У жертв отбор поддерживает все те признаки, которые делают их менее заметными или менее удобными для сбора. Так развивается покровительственная или предупреждающая окраска, подражательное сходство с несъедобными предметами, мимикрия — сходство с защищёнными или несъедобными видами,

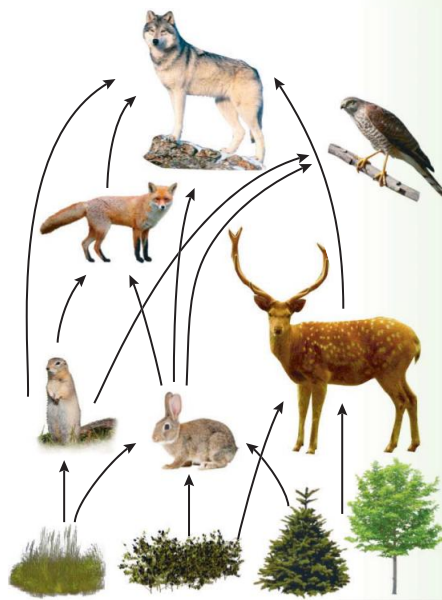


Рис. 102. Сети питания



Рис. 103. Венерина мухоловка

защитные образования — например, особо твёрдые раковины, шипы и колючки. Эволюция таких видов идёт по пути специализации.

Отношения «паразит — хозяин» (паразитизм). Переход к паразитизму резко увеличивает для вида возможность выжить в борьбе за существование. Организм-хозяин служит для паразита источником питания, очень часто — местом обитания, защитой от врагов. Тело хозяина создаёт для живущих в нём организмов благоприятный и относительно ровный микроклимат, не подверженный тем значительным

колебаниям, которые всегда имеют место в природе. Образ жизни приводит к глубоким изменениям в строении и жизнедеятельности паразитов. У них развиваются органы прикрепления — присоски, крючки, коготки и т.п. Многие утрачивают отдельные органы и целые системы — органы зрения, передвижения, пищеварения. Растения-паразиты утрачивают корни и листья. Одновременно с упрощением паразитические формы характеризуются очень высокой продуктивностью. Так, свиной цепень за сутки может выделить до 5 млн яиц. В громадном количестве образуются семена растений-паразитов, к тому же обладающие долговечностью и сохраняющие всхожесть многие годы. Всё это увеличивает вероятность контакта с организмом-хозяином.

В биологических методах борьбы с вредителями сельского хозяйства начинает широко использоваться форма паразитизма, сопровождающаяся обязательной гибелью хозяина. Известны насекомые-наездники (рис. 104), которые откладывают свои яйца в тела других насекомых — капустной совки, клопов-черепашек, тлей или гусениц различных бабочек. Личинки наездников развиваются за счёт тканей своих хозяев, которые при этом погибают.

Рис. 104. Наездник



Конкуренция. Этот тип отношений возникает, когда особи одного или разных видов существуют за счёт общего ресурса — источника питания в условиях его нехватки. В качестве ресурсов выступают те факторы среды, которые используются в процессе жизнедеятельности, в результате их запасы сокращаются (пища, вода, убежища, удобные места для размножения, запасы минеральных солей, солнечный свет для растений и т.п.). Ресурсы, необходимые для жизни, в природе почти всегда ограничены. Если вид встречается в своём местообитании конкурента, ему достаётся меньше ресурсов, и это отражается

на возможностях размножения и на численности популяций. Конкуренция неблагоприятна для обоих взаимодействующих видов, каждый из них выиграл бы в отсутствие другого. К чему же приводят конкурентные отношения? Русский исследователь Георгий Францевич Гаузе (1910—1986) (рис. 105) экспериментально доказал, что конкурирующие виды вместе не уживаются. Это положение получило название *закона конкурентного исключения*.

Опыты Г.Ф. Гаузе были проведены с двумя видами инфузорий-туфелек, которые совместно размножались в пробирках с сенным настоем, где питались одними и теми же видами бактерий. Рано или поздно в пробирках оставался только один вид туфелек. Закон конкурентного исключения подтвердился затем в многочисленных экспериментах с другими видами, наблюдениями в природе и математическими расчётами.

Вытеснение одного вида другим происходит в том случае, если виды не могут избежать конкуренции. При этом они не обязательно прямо влияют друг на друга. Просто при данных условиях один из них размножается успешнее другого и постепенно захватывает все ресурсы. Например, в опытах, проводившихся с жуками-хрущакми, размножающимися в запасах муки, оказалось, что один из видов побеждает при низкой влажности и высокой температуре, а второй — при повышении влажности и снижении температуры. На лугах во влажные годы обычно разрастаются травы с неглубокой корневой системой, а в сухие — господствуют длиннокорневищные растения. Следовательно, победа того или иного вида в конкуренции за ресурсы чаще всего зависит от конкретных экологических условий. Ведь экологические требования даже близких видов всегда чем-то различаются по отношению к разным факторам среды.

Закон конкурентного исключения позволяет понять, как подбираются виды в сообществах и как человеку нужно формировать искусственные биоценозы, чтобы они были устойчивыми. Конкуренция является одним из мощных факторов эволюции, так как приводит к расхождению видов по требованиям и увеличению видового разнообразия в природе.

Аменсализм — форма взаимоотношений, при которой одна популяция отрицательно влияет на другую, но сама не испытывает ни отрицательного, ни положительного воздействия. Типичный пример — высокие кроны деревьев, угнетающие рост низкорослых растений за счёт частичного перекрытия доступа солнечного света.

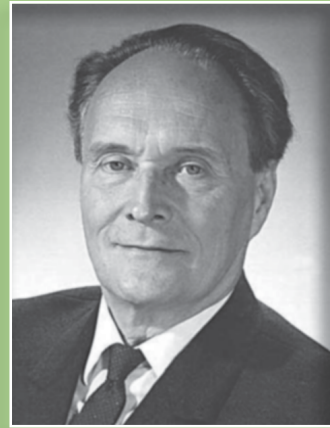


Рис. 105. Г.Ф. Гаузе



Рис. 106. Лишайник

Мутуалистические связи (от лат. *mutuus* — взаимный). Так называют взаимовыгодные отношения, когда совместное существование видов повышает шансы каждого из них выжить в борьбе за существование. Как и без пищевых отношений, без этих связей невозможно формирование устойчивых сообществ.

Взаимоотношения цветковых растений и их опылителей, некоторых видов деревьев и их микоризных грибов, ягодных кустарников и животных — распространителей их семян, жвачных копытных и их желудочной микрофлоры — широко известные примеры таких взаимовыгодных связей. Иногда мутуалистические отношения заходят так далеко, что превращаются в тесное физическое сожительство (*симбиоз*), когда представители разных видов образуют как бы один организм или одну колонию. Например, лишайники, представляющие симбиоз грибов и водорослей (рис. 106); бобовые растения с клубеньковыми бактериями (рис. 107); некоторые светящиеся рыбы и кальмары, у которых органы свечения представляют собой вместилища особых бактерий.

Мутуалистическими можно назвать связи между растениями и многочисленными мелкими и микроскопическими организмами, разлагающими опавшую листву и возвращающими в почву минеральные соединения. Все дышащие кислородом организмы выделяют в атмосферу углекислый газ, необходимый растениям для фотосинтеза, а растения поставляют взамен его кислород — это тоже проявление взаимовыгодных связей, на которых держится живая природа.

Существуют и другие формы симбиотических связей. *Комменсализм* — одна из распространённых форм мутуалистических связей, при которой один вид получает пользу, а другому это безразлично. Выделяют так называемое *нахлебничество* — питание остатками пищи другого вида, использование его выделений, *квартирантство* — обитание в норах или гнёздах без вреда для хозяина и *сотрапезничество*, которое возникает при использовании организмами разных видов различных частей одного и того же ресурса.

Рис. 107. Клубеньки на корнях бобовых растений



Одностороннюю выгоду получают некоторые виды, используя других для расселения. Так, мелкие клещи, которые питаются разлагающимися остатками, расселяются на жуках или мухах, используя их в качестве живого транспорта. Семена многих растений имеют прицепки, что позволяет им путешествовать



на шерсти проходящих мимо животных. Человек, пробравшийся через заросли череды, способствует распространению семян этого растения, обирая их впоследствии со своей одежды.

Существует ещё одна категория взаимосвязей — *нейтрализм*. В этом случае представители разных видов живут в одном местообитании, но непосредственно друг на друга не влияют. Они связаны косвенными отношениями через цепочку других видов. Например, дятлы и лесные мыши не контактируют между собой, но оба вида зависят от состояния древо-стоя и всех тех условий, которые создаёт им лесная растительность.

Наличие и переплетение разнообразных биотических связей в природе вызывает так называемые «цепные реакции», когда в результате уничтожения или, наоборот, внедрения человеком отдельных видов может измениться все сообщество. Поэтому так важно знать и формы этих связей, и их количественные характеристики.

Все известные формы биотических связей между видами служат регуляторами численности животных и растений в биоценозе, определяя его устойчивость.



Запомните!

Биотические факторы среды. Пищевые (трофические) связи. Хищничество. Паразитизм. Собирательство. Конкуренция. Симбиоз. Комменсализм (сотрапезничество, нахлебничество, квартиранство). Нейтрализм.



Проверьте свои знания

1. Какие связи называются биотическими?
2. Опишите трофические связи между организмами. На какие группы делятся живые существа по затратам времени и энергии, которые они тратят на получение пищи?
3. Какие приспособления к хищничеству есть у животных? Можно ли считать, что хищники играют роль санитаров, оздоровителей популяций своих жертв?
4. В чём отличие хищничества от паразитизма?
5. К какому эволюционному результату приводит собирательство как способ получения пищи?
6. Между какими организмами возникает конкуренция?
7. К каким результатам могут привести конкурентные взаимоотношения?
8. Приведите примеры конкурентных отношений между птицами в городе. Как избегают конкуренции птицы, живущие в одном лесу?



9. Объясните, почему выращивание лесополос в степи происходит успешнее, если вместе с саженцами вносят немного лесной почвы.
10. Приведите примеры мутуалистических взаимоотношений между организмами.
11. Чем отличаются комменсалы от паразитов?
12. Какие связи называются нейтрализмом?



Подумайте!

1. Почему очень редко хищники могут полностью уничтожить популяции своих жертв?
2. Чем опасна специализация хищников на одном виде добычи?
3. Почему покровительственная окраска развивается не только у жертв, но и у хищников, которые ими питаются?
4. Какое значение имеют изменения организмов, вызванные их переходом к паразитическому образу жизни?
5. Почему насекомых-наездников относят к паразитам, а не к хищникам?
6. Если конкуренция является неблагоприятной формой отношений для видов, то почему она так широко распространена в природе?

ЗАДАНИЕ

Подготовьте и реализуйте проект «Биотические связи».

Это интересно!

1. Пример необязательной, но взаимовыгодной связи дают взаимоотношения мелких рыбок семейства губановых и крупных хищных рыб. Среди губановых имеются рыбы-чистильщики, освобождающие хищников от наружных паразитов, находящихся на их коже, в жаберной и ротовой полостях.

2. У человека некоторые паразиты не только снижают интенсивность жизнедеятельности, но зачастую приводят к инвалидности. В странах с тропическим и субтропическим климатом широко распространены круглые черви нитчатки, получившие это название благодаря нитевидной форме тела. Они имеют 5—10 см в длину и 0,2—0,36 мм в толщину. Поселяясь в лимфатических сосудах, нитчатки могут закупоривать их просвет и тем самым нарушать отток лимфы. Объем поражённого органа резко увеличивается, достигая громадных размеров. Если закупориваются лимфатические сосуды нижних конечностей, развивается так называемая слоновость.

ГЛАВА 8

ПОПУЛЯЦИИ, СООБЩЕСТВА
И ЭКОСИСТЕМЫ





Ни одна популяция не способна к самостоятельному изолированному существованию. Находясь в постоянном взаимодействии друг с другом и факторами среды, живые организмы формируют устойчивые саморегулирующиеся и самоподдерживающиеся экосистемы.



§ 25. Популяции

Вспомните. Что такое вид? Что означает понятие «элементарная единица эволюции»? Какие существуют взаимоотношения между организмами одного вида? Что изучает демография?

Как вы думаете. Может ли вид состоять из одной популяции? Что такое биологический потенциал популяции? Существуют ли механизмы регулирования численности в популяциях?

Любой вид состоит из популяций, потому что его ареал может занимать значительную площадь и быть неоднородным по условиям существования, в связи с чем вид обычно распределён неравномерно.

Популяция — совокупность особей одного вида, занимающих определённый участок территории внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от других популяций.

Разные популяции одного вида связаны между собой либо постоянно, либо эпизодически перемещением отдельных особей или заносом их зачатков — семян, спор, яиц и т.п.

Осваивая подходящую территорию и размножаясь на ней, члены популяции вступают друг с другом в разнообразные отношения. Между популяциями разных видов проявляются все формы биотических связей, известные для межвидовых отношений, но наиболее распространены конкуренция и мутуализм. Эти прямо противоположные взаимоотношения сложно сочетаются в пределах каждого вида.



Основная характеристика популяции — её **численность**. Она сразу показывает нам, благоприятны или нет условия существования вида на данной территории. Сосчитать абсолютное число особей в каждой популяции (например, число всех мышей на большом поле или окуней в озере) чаще всего бывает нелегко, поэтому обычно используют такой показатель, как **плотность популяции**. Он отражает среднее число особей, приходящихся на условно выбранную единицу пространства, где их легко учесть (на 1 га или 1 м² площади, на 1 л или 1 м³ воды и т.п.).

Соотношение особей по полу или возрасту отражает **демографическую структуру популяций** (от греч. *demos* — народ и *grapho* — пишу). Демография началась с описания человеческих популяций — населения городов и посёлков. Затем стало ясно, что также можно характеризовать и особенности населения множества других видов. Демографические описания важны для предсказания судьбы конкретных популяций. Изменение численности в первую очередь зависит от того, какова в ней доля особей, приступивших к размножению, много или мало молодого пополнения, каков процент закончивших размножаться и т.д. **Возрастная структура популяции** характеризуется соотношением численности или биомассы особей различного возраста. Даже в пределах одной и той же популяции со временем могут происходить значительные изменения возрастной структуры. Такие изменения, однако, как бы автоматически включают механизмы, вновь возвращающие популяцию к некоторому нормальному, свойственному для данной популяции возрастному распределению. Анализ возрастной структуры позволяет прогнозировать численность популяций на ряд ближайших поколений и лет, что применяется, к примеру, для оценки возможностей промысла рыбы, в охотничьем хозяйстве, в некоторых зоологических исследованиях.

Половая структура популяций показывает численное соотношение особей разного пола.

Не меньшее значение имеет **пространственная структура популяций**, особенности использования пространства входящими в них особями и закономерности отношений между ними.

Каждый вид создаёт особую систему пространственных отношений. Для многих животных характерно, например, так называемое **территориальное поведение**. Животное чувствует себя хозяином определённого участка, живёт на нём, добывает корм, выводит потомство и охраняет свой участок от вторжения соседей (рис. 108). При этом соседи могут обмениваться информацией, сигналами об опасности, контактировать друг с другом и время от времени собираться вместе на нейтральных территориях. Подросшая молодёжь ищет новые участки обитания или занимает места, освободившиеся от старших. Вся пригодная для жизни популяции

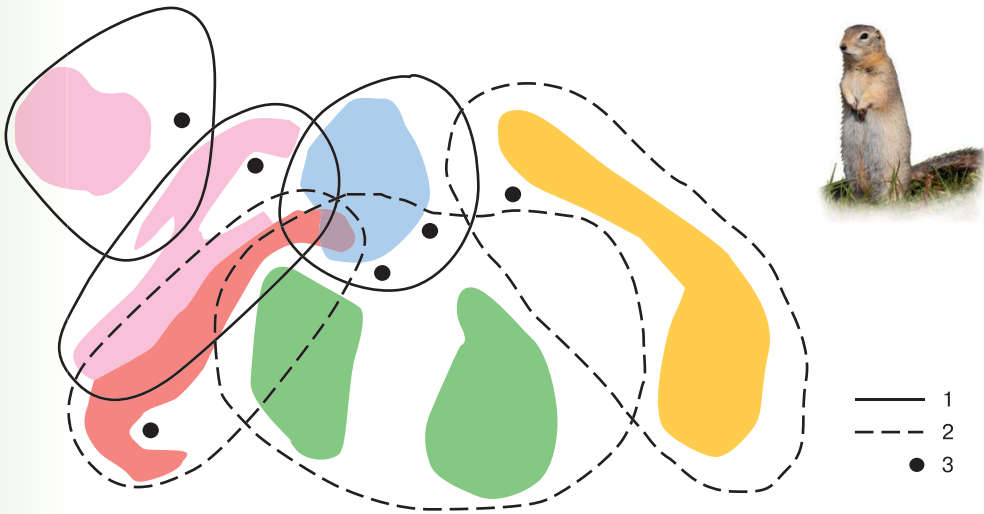


Рис. 108. Границы индивидуальных участков малых сусликов: 1 — у самок; 2 — у самцов; 3 — норы. Выделены цветом места предпочитаемых кормёжек

территория оказывается поделённой, её ресурсы используются полностью и рационально. Эта система использования пространства строится преимущественно на отношениях между особями одной популяции. В её основе лежит как внутривидовая конкуренция, так и взаимопомощь.

Кочующие животные также закономерно используют пространство. Они регулярно мигрируют в пределах обширных территорий и возвращаются на старые места по мере восстановления там использованных ресурсов (например, северные олени, кочующие по тундре).

Растения используют ресурсы только того пространства, которое занимают. Пространственная структура популяций формируется в результате случайного распространения зачатков, особенностей роста и острой конкуренции за площадь питания и солнечный свет в загущенных посевах.

Популяции животных различаются также по характеру взаимоотношений между остальными особями. У некоторых видов все особи живут в одиночку, встречаясь лишь в период размножения. У других популяции включают такие объединения, как семьи, стада, стаи или колонии со своими сложными взаимоотношениями.

Динамика популяции — это процессы изменений её основных биологических показателей во времени. Главное значение в изучении динамики популяции придаётся изменениям численности, биомассы и популяционной структуры. Популяция не может существовать без постоянных измене-



ний, за счёт которых она приспосабливается к изменяющимся условиям жизни. Изменения в популяциях отражают следующие характеристики: рождаемость, смертность, вселение и выселение отдельных особей, а также скорость роста популяций. Эти показатели обычно строго привязаны к определённым временным рамкам. Так, рождаемость — это число молодых особей, появившихся на свет за день, месяц или год, а смертность — число умерших за этот же период.

Рождаемость в популяциях зависит, с одной стороны, от особенностей вида, а с другой — от экологических условий. Максимальное число потомков, которое за жизнь могла бы произвести одна особь, получило название *биотический потенциал вида*.

Значение этого показателя испытывает существенные колебания у разных видов. Слониха рождает за жизнь всего несколько слонят, а треска ежегодно мечет миллионы икринок. Это связано с тем, что слониха заботится о своих детёнышах, всё стадо помогает ей охранять их от врагов и опасностей, а треска откладывает мелкую икру и больше своим потомством не занимается, основную массу икринок съедают хищники, или она погибает, попав в неблагоприятные условия. У видов, характеризующихся высокой смертностью, биотический потенциал всегда выше, иначе они исчезли бы с лица Земли.

Баланс рождаемости и смертности, а также вселения или выселения особей определяет, увеличивается или уменьшается численность и плотность популяции на занимаемой ею территории. В благоприятных условиях, особенно при заселении видом новых, подходящих для размножения мест, происходит рост популяции.

Рост популяции в новом местообитании протекает у всех видов сходным образом. Теоретически популяция может расти неограниченно, а её численность увеличивается в геометрической прогрессии. Такая форма роста в математике описывается кривой, называемой экспонентой (рис. 109). На деле этого никогда не происходит, потому что ресурсы для жизни вида в каждом местообитании ограничены. Сумму этих ресурсов называют *ёмкостью среды*. Например, для лосей, которые питаются молодыми ветками, лиственные леса с обильным подростом и порослью — более ёмкая среда, чем леса хвойные.

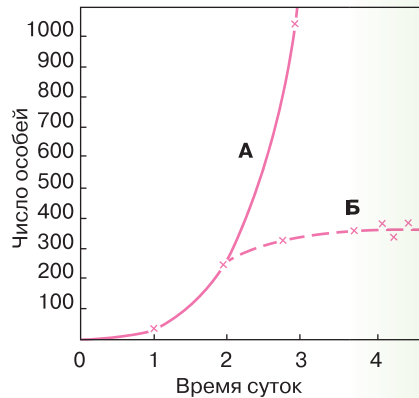


Рис. 109. Кривые роста популяции инфузории-туфельки в пробирке: А — теоретическая; Б — реальная



Если численность популяции достигает такой величины, что ёмкость среды будет для неё недостаточной, начинается массовая гибель особей. Поэтому реальный рост популяции идёт не по экспоненте, а по так называемой логистической кривой. Сначала он ускоряется, а затем начинает замедляться и постепенно прекращается. В стабильном состоянии прирост популяции уравнивается потерями особей за счёт смертности и миграций. Подобная кривая роста характерна для популяций всех организмов — от бактерий до млекопитающих.

Уровень численности популяции, на котором приостанавливается её рост, не всегда достигает той величины, когда ёмкость среды оказывается недостаточной. Многие популяции перестают расти гораздо раньше, до истощения всех пригодных ресурсов. Сигналом приближающейся опасности «перепроизводства» вида в данном местообитании служит рост плотности популяции. Проявляется одна из важнейших и удивительных особенностей живой природы — зависимость состояния популяции от собственной плотности. Эта зависимость отработана естественным отбором у каждого вида по-своему.

У растений с ростом плотности усиливается внутривидовая конкуренция и происходит самоизреживание. Слабым растениям не хватает ресурсов, и они погибают. У подвижных животных прямого подавления соседей не происходит, при повышении плотности популяций усиливаются миграционные процессы, т.е. выселение части особей на другие территории. Это особенно наглядно происходит, например, у белок или тундровых грызунов леммингов. Миграции этих зверьков после успешного размножения приобретают характер массовых нашествий на другие территории. Перелёты огромных туч стадной саранчи — это тоже выселение за пределы мест размножения.

Часть видов способна тормозить рост популяции с помощью продуктов своего обмена веществ (при нарастании концентрации этих метаболитов в окружающей среде). Так происходит, например, в культурах бактерий или у животных — обитателей замкнутых водоёмов — рыб, головастиков, лягушек и т.п. Ещё один способ реагирования на повышение плотности популяции — задержка размножения, вплоть до полного его прекращения. Сигналы о росте численности сначала воспринимают органы чувств животных, затем путём сложного взаимодействия нервной и гормональной систем изменяются поведение и процессы воспроизводства. Если, например, белых мышей или крыс держать в переполненных клетках, то, несмотря на самый тщательный уход за ними и обильный корм, зверьки перестают размножаться. Они становятся нервными и агрессивными и много времени тратят на «выяснение отношений». Размножение восстанавливается, если тех же зверьков перевести в более просторные клетки, снизив тем самым плотность их населения.



Колебания численности особей в популяции. Когда рост популяции завершён, её численность начинает совершать колебания вокруг некоторой более или менее постоянной величины. Часто эти колебания бывают вызваны сезонными или годовыми изменениями условий жизни (например, изменениями температуры, влажности, пищевой обеспеченности). Иногда их можно рассматривать как случайные.

У некоторых популяций колебания численности носят правильный циклический характер. К наиболее известным примерам циклических колебаний можно отнести колебания численности некоторых видов млекопитающих. Так, циклы трёх- и четырёхлетней периодичности характерны для многих мышевидных грызунов (мышей-полевых, леммингов) и их хищников (полярной совы, песцов) (см. рис. 27).

Причинами резких колебаний численности популяций некоторых организмов могут быть различные абиотические и биотические факторы. Иногда эти колебания хорошо согласуются с изменениями климатических условий. Однако в ряде случаев влиянием внешних факторов невозможно объяснить изменения численности той или иной популяции. Известны случаи, когда в условиях перенаселения у ряда млекопитающих происходят резкие изменения физиологического состояния. Такие изменения прежде всего затрагивают органы нервной и эндокринной систем, сказываясь на поведении животных, изменяя их устойчивость к заболеваниям и различного вида стрессам. Иногда это приводит к повышенной смертности особей и снижению плотности популяции. Зайцы-беляки, например, в периоды пика численности часто внезапно погибают от так называемой «шоковой болезни». Такие механизмы, несомненно, могут быть отнесены к внутренним регуляторам численности. Они срабатывают автоматически, как только плотность превысит некоторое пороговое значение.

Таким образом, популяция — не просто сумма особей, а сложная надорганизменная система, которая обладает способностью регулировать свою численность и рационально использовать ресурсы среды.



Запомните!

Популяция. Численность популяции. Плотность популяции. Структура популяции: демографическая (половая, возрастная), пространственная. Динамика популяции. Рост популяции. Колебания численности популяции.



Проверьте свои знания

1. Дайте определение популяции. Почему популяция является единицей эволюции?
2. Приведите примеры конкурентных и мутуалистических отношений в популяциях животных.
3. Перечислите основные характеристики популяций. Какие из них называются динамическими и почему?
4. Каковы преимущества оседлого и кочевого использования территории?
5. Какие общие черты характерны для видов с высоким биотическим потенциалом? Почему не вымирают виды с низкой рождаемостью?
6. Как может измениться состояние животных разных видов с ростом плотности их популяций?
7. Какие свойства популяции определяются особенностями её возрастного состава?
8. Что такое динамика популяции?
9. В чём состоит явление регуляции численности в популяции?
10. Какую роль в изменении плотности популяции играют абиотические и биотические факторы?
11. Расскажите об известных вам сезонных изменениях численности популяций животных и растений. Приведите примеры циклических колебаний численности животных или растений.
12. В чём состоит практическое значение изучения популяций? Приведите примеры.



Подумайте!

1. В одном заповеднике обнаружены только проростки охраняемого вида растений, а в другом — как молодые, так и цветущие взрослые растения. Судьба какой из этих популяций вызывает большее беспокойство?
2. Почему разновозрастные популяции оказываются менее чувствительными к внезапным кратковременным изменениям условий воспроизводства?



§ 26. Сообщества

Вспомните. Какие связи называются трофическими?

Как вы думаете. Какие виды называются эдификаторами? Что такое экологическая ниша?

Биоценоз (сообщество) — совокупность сосуществующих популяций разных видов живых организмов и все взаимодействия между ними.

Биоценоз подразделяют на *фитоценоз* (сообщество растений) и *зооценоз* (сообщество животных). Человек может создавать и искусственные биоценозы, но они бывают устойчивыми только в том случае, если строятся по природным законам.

Место, занимаемое природным биоценозом, носит название *эко-топ*. Условия экотопа во многом определяют подбор видов в биоценозе (рис. 110). Так, по берегам рек селятся одни виды, а в сухой пустыне — совсем другие. Все члены биоценоза должны быть приспособлены к тому комплексу экологических факторов, которые зависят от климата, рельефа местности, характера грунта, течений и т.п.

Взаимодействия между видами в биоценозах. Для членов биоценоза не менее важна и биотическая среда, т.е. условия, которые формируются в результате присутствия других видов. Прежде всего это возможность обеспечения себя пищей через прямые или косвенные связи. Даже условия минерального питания растений зависят от активности почвенной микрофлоры и животных, разлагающих мёртвый опад. Воздействие некоторых организмов на среду может оказаться благоприятным для других видов. Так, дятел может поселиться только в таком лесу, где есть старые деревья, подходящие для устройства дупла, а личинки комаров развиваются в тех участках реки, где течение сильно замедлено густой прибрежной растительностью. Наземные растения создают тень, уменьшают силу ветра, меняют микроклимат, продуцируют слой опада на поверхности почвы. Всё это делает возможным существование тех видов, которые иначе не смогли бы прижиться в данном местообитании.



Рис. 110. Биоценоз пресного водоёма

Особое место в биоценозах занимают такие виды, которые способны влиять на условия жизни других, их называют *эдификаторами* или *видами-средообразователями* (рис. 111). В еловом лесу, например, средообразователем служит ель, на верховом болоте — сфагновые мхи, в степях — плотнодерновинные травы, такие, как ковыль, типчак и др. Иногда в роли средообразователей выступают животные. Сурки и суслики, создавая систему разветвлённых подземных ходов, изменяют состав степной флоры, влажность почв и даже микрорельеф. Микроклимат их нор делает возможным существование в степных сообществах многих видов насекомых, ящериц и других животных, обеспечивая им укрытие от жары.

Формирование состава любого биоценоза в значительной мере определяется пищевыми связями, средообразующей ролью видов, а также конкурентными отношениями между ними. Так как в природе действует закон конкурентного исключения, в сообществах уживаются только те виды, которые по-разному используют сходные ресурсы (рис. 112). Это наглядно проявляется, например, на вертикальном строении лесной растительности (*ярусности*). Листья растений разных видов располагается ярусами, на разных высотах, чтобы успешнее перехватывать солнечные лучи. К числу самых светлюбивых растений относятся деревья первого, верхнего яруса, а самые теневыносливые — мхи и приземные травы, которые способны к фотосинтезу при очень слабой освещённости. Таким образом, растения



Ель



Сфагнум



Ковыль

Рис. 111. Виды-средообразователи

разных видов не мешают друг другу, впрочем, светолюбивые, например степные травы, в тени деревьев расти не могут.

Животные избегают конкуренции, выбирая разные виды пищи, добывая её в разных местах, разными способами или в разное время суток, разграничивая места размножения и т.п. (рис. 113). Биоценоз способен вместить тем больше видов, чем больше способов разграничения ресурсов они используют.

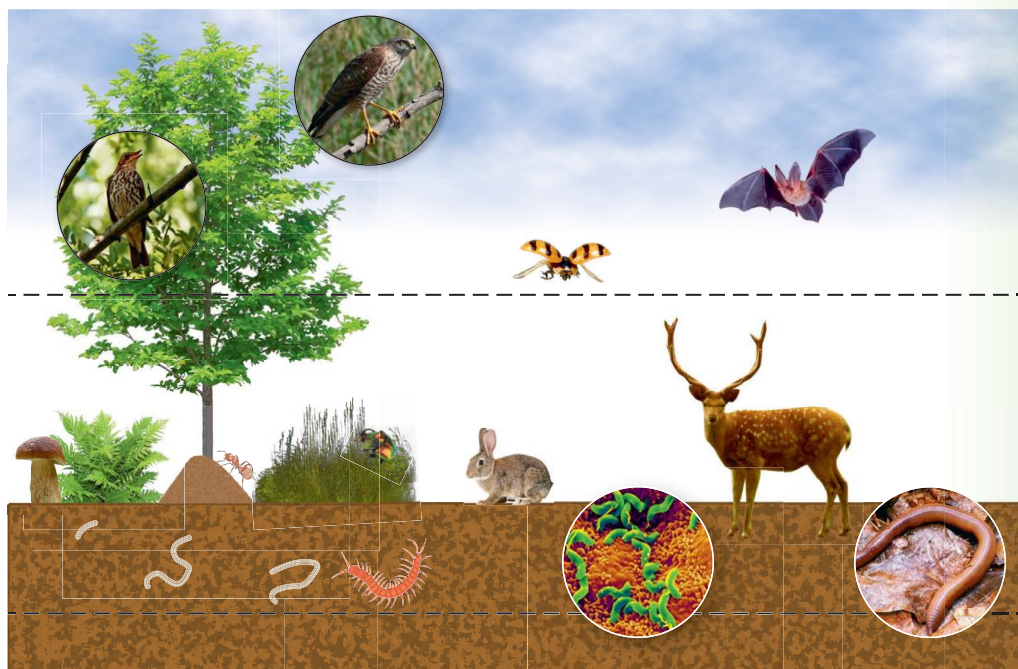
Рис. 112. Распределение организмов по ярусам в лиственном лесу



Рис. 113. Использование растительности копытными в африканской саванне (избегание конкуренции)

Экологическая ниша. Место, которое вид занимает в составе биоценоза, называют его *экологической нишей*. Под этим понимают зависимость популяции от условий биотопа и её связи с организмами других видов. Поэтому закон конкурентного исключения можно сформулировать и таким образом: два вида в одной экологической нише не уживаются. Возможно лишь частичное перекрывание экологических ниш, когда виды разграничиваются по основным ресурсам, но совпадают по некоторым дополнительным.

Живущие вместе виды обычно специализированы (используют ресурсы среды по-своему), но при отсутствии конкурентов способны существенно изменить своё поведение. Так, травянистые растения ельника способны довольствоваться небольшим количеством почвенного азота, который остаётся от перехвата его корнями елей. Однако, если на ограниченной площадке обрубить корни деревьев, условия азотного питания трав улучшатся, и они бурно пойдут в рост, приобретая густо-зелёную окраску. Улучшение условий жизни и увеличение численности какого-либо вида в результате удаления из биоценоза другого, близкого по экологическим требованиям, называется *конкурентным высвобождением*.

Разделение экологических ниш с их частичным перекрыванием — одна из причин устойчивости природных биоценозов. Если численность какого-либо из видов резко снижается или вид выпадает из состава сообщества, его роль берут на себя другие.

Чем больше видов в составе биоценоза, тем ниже численность каждого вида и тем сильнее выражена их *экологическая специализация*.

Устойчивость сообществ. Уменьшение видового разнообразия, как правило, грозит резкой вспышкой численности некоторых из оставшихся видов. Это очень важное экологическое правило имеет непосредственное отношение к деятельности человека. Большая часть видов, которых мы называем вредителями сельского или лесного хозяйства, размножается в большом количестве именно из-за выпадения из состава биоценоза их врагов и конкурентов. Таким образом, нередко к появлению вредителей приводит деятельность самого человека.



Не все виды одинаково важны для биоценозов. Как сложная надорганизменная система, каждый из них имеет вполне закономерную видовую структуру, т.е. численное соотношение отдельных видов. Во всех группах организмов в составе биоценоза — растений, грибов, бактерий, насекомых, червей, птиц, млекопитающих и др. — имеются как массовые, многочисленные виды, так и редкие, малочисленные. Они играют в биоценозах разную роль.

Массовые виды составляют основу, как бы костяк любого биоценоза. Они определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере изменяют местообитание. Такие виды называют *доминантами*. Так, в ельнике зеленомошном, как и следует из его названия, в первом ярусе доминантом является ель, в приземном — зелёные мхи. Среди птиц в таком ельнике преобладают пеночки, синицы, а среди мелких грызунов — рыжая полёвка. Ботаники обычно дают названия типичным природным биоценозам по доминирующим видам растений: сосняк-черничник, ельник-кисличник, березняк волосистоосоковый, степь ковыльная и т.п. В каждом из биоценозов обычно доминируют и определённые виды животных.

Наиболее разнообразны в природных биоценозах, однако, не массовые, а редкие и малочисленные виды. Периодически они могут повышать свою численность. Обычно это происходит тогда, когда складываются неблагоприятные сезонные или погодные условия для основных доминантов. Так поддерживается устойчивость сообществ. Все экологические ниши оказываются заполненными, и ресурсы среды используются полностью.

При выпадении из состава сообщества редких и малочисленных видов биоценоз до определённого времени сохраняет свой внешний облик. Его устойчивость ослабевает постепенно, по мере снижения видового разнообразия. При значительном снижении разнообразия малочисленных видов даже небольшие изменения условий среды, неблагоприятные для доминантов, приводят к разрушению сообществ. Наиболее катастрофичное для биоценозов ослабление или удаление видов эдификаторов происходит, например, при рубке леса.

Типы приспособлений к жизни в сообществах. Выделяют разные типы основных приспособлений видов к жизни в сообществах. Впервые они были подмечены у растений, и ботаники называли их «жизненными стратегиями».

Первый тип — мощная конкурентная способность. Виды занимают в биоценозе основные позиции, используют основные ресурсы, подавляют другие виды, обычно входят в число доминантов.

Второй тип — виды способны довольствоваться малым количеством ресурса, уживаются с доминантами, но при освобождении ресурсов используют их целиком, резко увеличивая свою численность.

Третий тип — виды практически не выдерживают конкуренции с другими, но зато обладают способностью быстро расселяться и первыми



занимают освободившиеся участки. Процвetaют на них до тех пор, пока не появятся более сильные конкуренты. Именно из таких видов в основном формируется сорная флора наших полей и огородов.

Знание законов организации биоценозов даёт возможность поддерживать равновесие в природных сообществах и грамотно создавать искусственные биоценозы.



Запомните!

Сообщество (биоценоз). Фитоценоз. Зооценоз. Биотоп. Виды-эдификаторы. Ярусность. Экологическая ниша. Конкурентное высвобождение. Экологическая специализация. Доминантные виды.



Проверьте свои знания

1. Дайте определение биоценоза. По какому принципу учёные дают названия сообществам?
2. Приведите примеры различных природных биоценозов и биоценозов, создаваемых человеком.
3. Какие виды называются эдификаторами? Какую роль они играют в сообществах? Приведите примеры.
4. В чём биологический смысл ярусности?
5. Объясните понятие «экологическая ниша». Можно ли считать «экологическую нишу» и «местообитание» вида тождественными понятиями?
6. Возможны ли биоценозы, состоящие только из доминирующих видов?
7. Может ли быть устойчивым биоценоз пшеничного поля?
8. Перечислите типы основных приспособлений видов к жизни в сообществах.



Подумайте!

1. Можно ли выделить ярусы в пресном водоёме? Если да, то какие?
2. Почему при увеличении видового разнообразия уменьшается вероятность вспышек численности отдельных видов в биоценозах?
3. Чем опасно пренебрежение человека к тому, что из природных биоценозов исчезают малочисленные виды, ведь основные виды сохраняются?



§ 27. Экосистемы

Вспомните. Какие организмы называются автотрофами? Гетеротрофами?

Как вы думаете. Что такое экосистема? В чём различие понятий «биоценоз» и «биогеоценоз»?

Экологическая система — основная единица экологии, в неё входят компоненты живой и неживой природы. Термин «экосистема» был предложен А. Тенсли (1871—1955) в 1935 г.

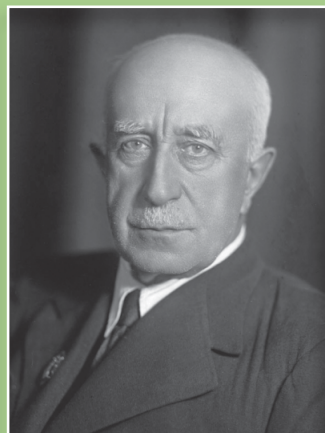
Всю полноту взаимодействий и взаимозависимости живых существ и элементов неживой природы отражает учение о биогеоценозах (экосистемах), разработанное Владимиром Николаевичем Сукачёвым (1880—1967) (рис. 114). Он выявил причинные связи между факторами среды, структурой природных группировок и их биологической продуктивностью.

Под действием абиотических и биотических факторов в природе формируются устойчивые сообщества живых организмов. Все живые организмы связаны с окружающей средой потоками вещества и энергии, проходящими через их тела. В биоценозах же, кроме того, все виды связаны друг с другом сложной пищевой сетью. Таким образом, каждый биоценоз находится в единстве со своим экотопом.

Рис. 114. В.Н. Сукачёв

Экосистема — устойчивое сообщество растений, животных и микроорганизмов, находящихся в постоянном взаимодействии с компонентами атмосферы, гидросферы и литосферы (рис. 115).

Важно отметить, что это понятие очень широкое. Хвойный лес и болото, гниющий пень и лужа на дороге, аквариум и городской парк и даже вся биосфера планеты являются



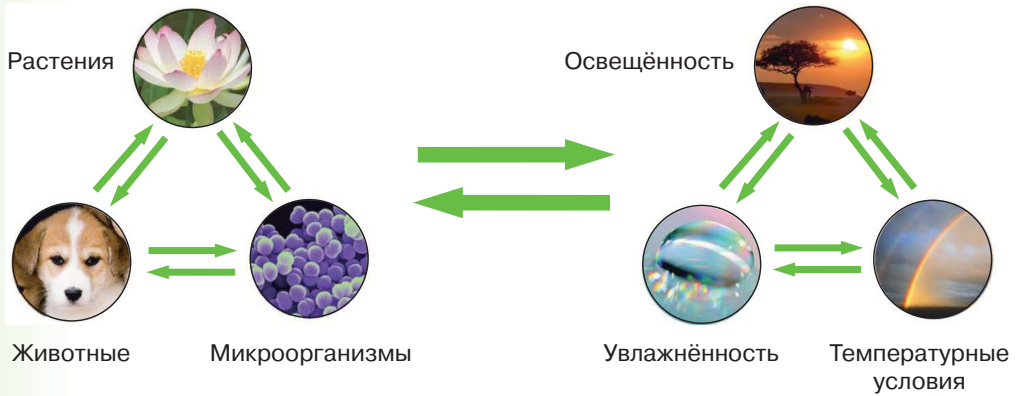


Рис. 115. Структура экосистемы

экосистемами. Они могут быть естественными и искусственно созданными человеком, могут существенно различаться по масштабам и возрасту, но в их состав обязательно будут входить тесно взаимодействующие компоненты живой и неживой природы.

Биогеоценоз — экосистема, границы которой определены растительным сообществом.

Из потоков веществ, поддерживающих жизнь организмов разных видов в экосистемах, складывается биологический круговорот веществ. Главная черта, характеризующая экосистемы, — наличие четырёх составляющих: запаса биогенных веществ, продуцентов, консументов и редуцентов.

Биогенными веществами называют минеральные соединения, пригодные для синтеза органических веществ. *Продуценты* — это организмы, обычно фотосинтезирующие растения, создающие органические вещества, т.е. биологическую продукцию. *Консументы (потребители)* — это в основном животные, перерабатывающие биологическую продукцию. *Редуценты* разлагают мёртвые остатки растений и животных до минеральных соединений. В роли редуцентов преимущественно выступают грибы и бактерии.

Благодаря совместной деятельности этих разных по экологическим функциям групп организмов и происходит биологический круговорот веществ. Экосистемы устойчивы лишь в том случае, когда входящие в их состав биоценозы надёжно поддерживают этот круговорот.

Биологический круговорот веществ и энергии. Биологический круговорот веществ в экосистемах поддерживается постоянным притоком всё новых и новых порций энергии. Хотя по закону сохранения энергии она

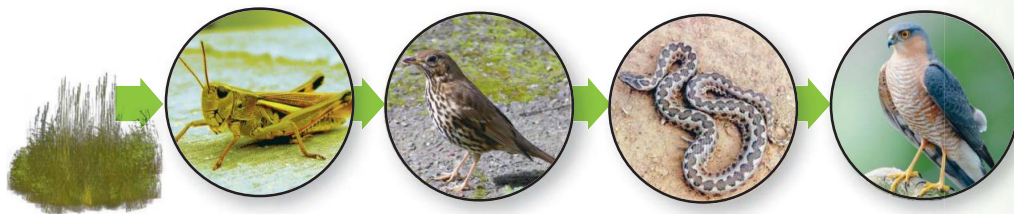


Рис. 116. Пищевая цепь

не исчезает бесследно, а лишь переходит из одной формы в другую, круговорота энергии в экосистемах быть не может. Расходуясь на жизнедеятельность организмов, усвоенная ими энергия постепенно переходит в тепловую форму и рассеивается в окружающем пространстве. Деятельность экосистемы можно сравнить с вращением мельничного колеса (круговорот веществ) в потоке быстро текущей воды (потоки энергии).

Одна и та же порция вещества и заключённой в нём энергии не может бесконечно передаваться по сложной сети питания, связывающей организмы в биоценозе. Обычно такие трофические сети состоят из переплетения коротких цепей питания (рис. 116). Так называют последовательный ряд питающихся друг другом организмов, в котором можно ещё проследить расходование первоначальной порции энергии. Каждое звено такого ряда называют *трофическим уровнем*.

Рассмотрим короткую пищевую цепь: капуста (первый трофический уровень) — коза (второй трофический уровень) — волк (третий трофический уровень). Капуста с экологической точки зрения — продуцент; коза как растительноядное животное — консумент первого порядка, а хищный волк — консумент второго порядка. Проследим, как расходуется в этой цепи солнечная энергия, связанная в кочане капусты.

Известно, что лишь небольшая доля усвоенной животным пищи идёт на рост, т.е. откладывается в его теле. Остальная расходуется на поддержание обмена веществ. Подсчитано, что в среднем на рост идёт около 10% усвоенной энергии. Следовательно, в теле козы задержится даже менее 1/10 энергии, заключённой в кочане капусты, так как часть вещества капусты не усваивается. Когда же козу съест волк, то на прирост его тела пойдёт не более 1% энергии, связанной в капусте.

Таким образом, передача вещества и энергии по цепям питания подчиняется так называемому *правилу десяти процентов*. В каждом последующем звене цепей питания количество задерживаемой энергии уменьшается примерно в 10 раз, и уже через 4—5 звеньев она практически полностью иссякает.

Это экологическое правило имеет огромное практическое значение. Оно позволяет понять, как расходуется продукция, накопленная растениями.

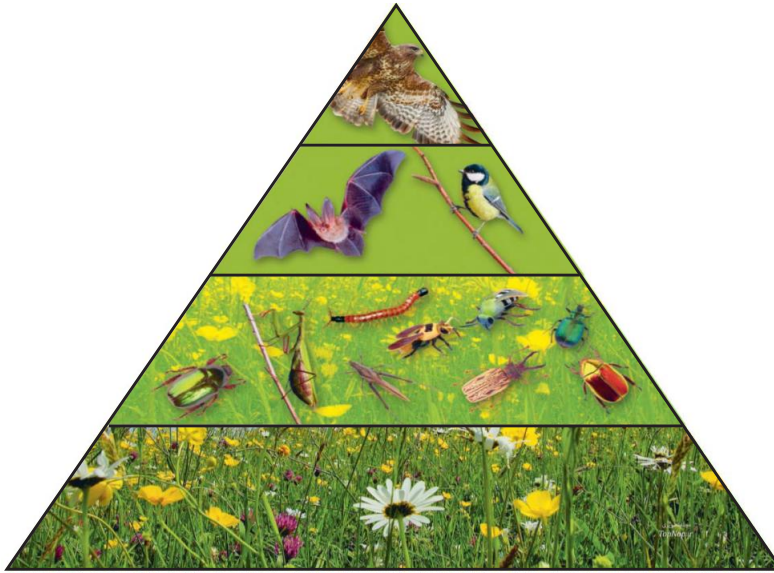


Рис. 117. Экологическая пирамида

Органическое вещество, создаваемое растениями за единицу времени, называется *первичной биологической продукцией*. Её подразделяют на валовую и чистую. Количество валовой продукции определяется скоростью фотосинтеза. Часть созданной валовой продукции растения используют в ходе обмена веществ. Чистая продукция идёт на прирост растений, в дальнейшем она может быть использована в цепях питания. За её счёт создаётся прирост животных, или *вторичная продукция*, которой в 10 раз меньше, чем первичной.

Таким образом, на прибавку 1 кг массы растительноядных животных в природе затрачивается в 10 раз больше солнечной энергии, чем на 1 кг массы растений. Соответственно продукция плотоядных обходится в 100 раз дороже. Таким образом, продукция животных обходится и природе, и людям дороже, чем растительная. Поэтому проблема голода для населения разных стран начинается прежде всего с нехватки вторичной продукции — животных белков, необходимых в рационе человека.

Экологические пирамиды. Обычно размеры организмов с переходом на следующий трофический уровень возрастают, а их численность и биомасса снижаются (рис. 117). В среднем из 1 тыс. кг растений образуется 100 кг тела травоядных животных. Хищники, поедающие травоядных, могут построить из этого количества 10 кг своей биомассы, а вторичные хищники — только 1 кг. Например, человек за определённый промежуток времени

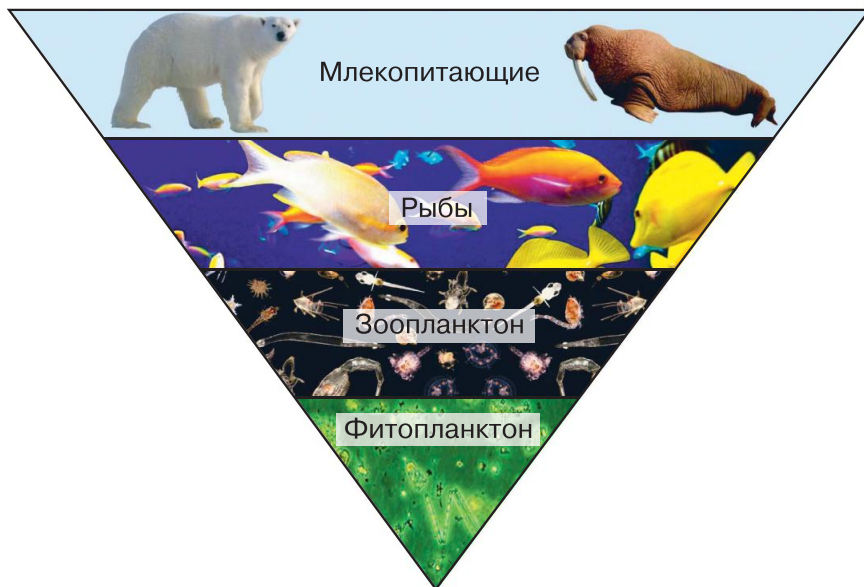


Рис. 118. Перевернутая пирамида биомассы

съедает большую рыбу, массой 10 кг. Пищу этой рыбы составляли мелкие рыбки, потребляющие зоопланктон, который, в свою очередь, жил за счёт фитопланктона, улавливающего солнечную энергию. Таким образом, для построения 1 кг тела человека требуется 10 тыс. кг фитопланктона. Следовательно, масса каждого последующего звена в цепи прогрессивно уменьшается. Эта закономерность носит название *правила экологической пирамиды*. Нижняя, широкая ступень пирамиды отражает скорость создания органического вещества на первом трофическом уровне, каждая последующая ступень оказывается в 10 раз меньше предыдущей. Пищевые взаимоотношения в экосистемах графически изображаются в виде пирамид. Различают *пирамиду чисел*, отражающую число особей на каждом этапе пищевой цепи, *пирамиду биомассы* — количество синтезированного на каждом уровне органического вещества, *пирамиду энергии* — количество энергии в пище. Все они имеют одинаковую направленность, различаясь в абсолютном значении цифровых величин.

Если же мы будем сравнивать не продукцию, а массу организмов каждого трофического уровня в экосистеме (их биомассу), пирамида может оказаться неправильной (перевернутой) (рис. 118). Например, в океане продукция одноклеточных водорослей очень высока. Они создают органическое вещество и размножаются с большой скоростью. Но не менее высока и скорость их поедания консументами, поэтому общая масса



водорослей всё время остаётся невысокой. Она оказывается меньше, чем общий вес животных, выросших за её счёт.

Продуктивность поверхности суши и Мирового океана. Человеческое общество живёт за счёт как первичной, так и вторичной продукции растений и животных. Поэтому так важно было оценить, сколько же первичной продукции может быть создано в разных районах земного шара и в целом по биосфере. Эта работа была проделана в 60—70-е гг. XX в. объединёнными усилиями учёных разных стран, работавших по Международной биологической программе, её результатом стала карта продуктивности суши и океана.

Наиболее высокая первичная продукция на суше отмечена в экосистемах влажных тропических лесов, а в океане — в экосистемах коралловых рифов. Она достигает 25 г сухого органического вещества на 1 м² за сутки. Это предельные возможности природных экосистем в современных условиях. Средняя продуктивность степей, лесов, лугов, озёр составляет от 5 до 15 г на 1 м² за сутки. В этих же пределах варьируется и продукция сельскохозяйственных угодий, и лишь очень интенсивное земледелие с большими дополнительными вложениями средств и энергии может повысить её до величины, близкой к максимальной.

Обширные пространства на суше и в океанах — жаркие или холодные пустыни, скалистые ландшафты, тундры, а также центральные океанические акватории — отличаются крайне низкой продуктивностью — от 0,5 до 3—4 г органического вещества на 1 м² за сутки. Основным фактором, ограничивающим фотосинтез растений, может выступить недостаток тепла, влаги или необходимых биогенных элементов, как, например, вдали от берегов в центральных частях океана.

Разные экосистемы Земли существенно различаются и по интенсивности круговорота веществ. Это во многом определяется скоростью минерализации мёртвых органических остатков, которая зависит от деятельности редуцентов. Там, где мало тепла и влаги, круговороты замедленны. Увеличение их интенсивности — один из путей повышения биологической продуктивности.

Даже в самых устойчивых экосистемах Земли круговорот веществ не может быть полностью замкнут. Часть вещества переносится ветрами и течениями, сносится в понижения рельефа, мигрирует вместе с поверхностным стоком и подземными водами. В результате все экосистемы суши и океана оказываются связанными в глобальную экосистему — биосферу.

Экосистемы — открытые системы. Все их компоненты тесно взаимосвязаны. Все организмы экосистем занимают определённые

трофические уровни и участвуют в круговороте веществ, включаясь в цепи питания. Графически пищевые взаимоотношения изображаются в виде экологических пирамид.



Запомните!

Экосистема. Биогеоценоз. Первичная продукция. Вторичная продукция. Продуценты. Консументы. Редуценты. Круговорот веществ и энергии. Экологические пирамиды.



Проверьте свои знания

1. Как соотносятся между собой биоценозы и экосистемы? Чем отличаются эти понятия?
2. На какие группы делятся живые организмы в зависимости от роли, которую они выполняют, участвуя в круговороте веществ?
3. Перечислите состав основных продуцентов, консументов и редуцентов в озере, на лугу.
4. Может ли один и тот же вид входить в разные цепи питания? Приведите примеры.
5. Какие трофические уровни в цепях питания может занимать человек?
6. Что иллюстрирует пирамида биологической продукции?
7. В чём суть правила 10%?
8. В каких случаях экологическая пирамида оказывается перевёрнутой (неправильной)?
9. Какие факторы служат главными ограничителями биологической продукции в разных районах Земли?



Подумайте!

1. Почему у пищевой сети нет конца и начала, а в пищевых цепях есть? С чего начинаются пищевые цепи?
2. Почему человек выращивает в основном растительных животных? Каких плотоядных животных разводят люди?



§ 28. Причины устойчивости и смены экосистем

Вспомните. Какие взаимоотношения могут возникать между организмами экосистемы? Что такое первичная продукция? Какая энергия поддерживает круговорот веществ в природе?

Как вы думаете. Какое состояние экосистемы называют равновесным? В чём различие молодых и зрелых экосистем?

Причины устойчивости экосистем. Каждая экосистема — целостная саморегулирующаяся и самоподдерживающаяся динамическая структура. Она состоит из большого количества видов продуцентов, консументов и редуцентов. Устойчивость системы зависит от видового разнообразия и сложности пищевых связей. Чем сложнее и разветвлённее пищевые цепи, тем к меньшим последствиям приводят изменения окружающей среды, тем надёжнее система сохраняет свою целостность.

Пищевые отношения — самый важный, но не единственный тип отношений между видами в биоценозе. Один вид может влиять на другой разными путями. Организмы могут поселяться на поверхности или внутри тел особей другого вида, могут формировать среду обитания для одного или нескольких видов, влиять на движение воздуха, температуру, освещённость окружающего пространства. Нередко один вид участвует в распространении другого. Животные переносят семена, споры, пыльцу растений, а также других более мелких животных. При поедании плодов и ягод не поддающиеся полному перевариванию семена выделяются вместе с помётом. Млекопитающие, птицы и насекомые переносят на своём теле многочисленных клещей. Распространению круглых червей — нематод — способствуют мухи.

Все эти многообразные связи обеспечивают возможность существования видов в биоценозе, удерживают их друг возле друга, превращая в стабильные саморегулирующиеся сообщества, находящиеся в состоянии *динамического равновесия* (все показатели системы колеблются около средней величины). Равновесное состояние означает, что то количество



первичной продукции, которое создают продуценты, соответствует потребностям экосистемы. Биомасса при этом остаётся постоянной. Если затраты снизятся (сократится число потребителей), то вещество в экосистеме начнёт накапливаться, а если возрастут, то биомасса начнёт сокращаться. Например, при увеличении копытных животных в степи может произойти полное уничтожение растительности.

Смена экосистем. Экосистемы со сбалансированным круговоротом веществ могут существовать очень долго, до тех пор пока внешние силы не выведут их из равновесия. И действительно, темнохвойная тайга, ковыльные степи, широколиственные дубравы занимали свои места несколько тысячелетий после окончания последнего оледенения, и лишь деятельность человека в последние столетия сильно преобразовала эти ландшафты.

Вместе с тем в природе существует множество нестабильных экосистем, направленно изменяющихся даже без вмешательства извне. Мелеют и зарастают неглубокие озёра (рис. 119), на месте мокрого луга через несколько лет появляются заросли кустарников, лишайники на скалах постепенно заменяются мхами, а затем и травами, и под ними формируется тонкий слой почвы. Всё это — примеры нестабильных, развивающихся экосистем.

Развитие экосистемы отличается от развития отдельного организма. Рост и усложнение каждого организма определяется его наследственностью, т.е. заложенными в оплодотворённой яйцеклетке генами. Биоценозы формируются по другому принципу, на основе самопроизвольного подбора видов, имеющих в окружающей среде, и изменяются до тех пор, пока не установится сообщество, способное поддерживать сбалансированный круговорот.

Процесс саморазвития сообществ называют *экологической сукцессией* (от лат. *succesio* — преемственность). Сукцессии могут быть первичными и вторичными (восстановительными).

Первичные сукцессии начинаются с заселения обнажившихся участков территории — осыпей, отмелей, голых скал, сыпучих песков или отвалов, созданных человеком. Эти безжизненные участки в первую очередь занимают виды, лучше других приспособленные к расселению в новые места обитания — лишайники и мхи. Затем ветер и вода заносят семена и споры, прилетают насекомые, забегают мелкие грызуны и т.п. Часть из них приживается на новом участке. Виды, способные занимать свободные территории, называют *пионерными*. Они, как правило, мало конкурентоспособны, новые вселенцы вскоре их вытесняют, но обычно они успевают частично изменить среду. Один из таких пионерных видов на городских пустырях — растение мать-и-мачеха, которое через два-три года исчезает, уступив место ромашкам, полыни, пижме.

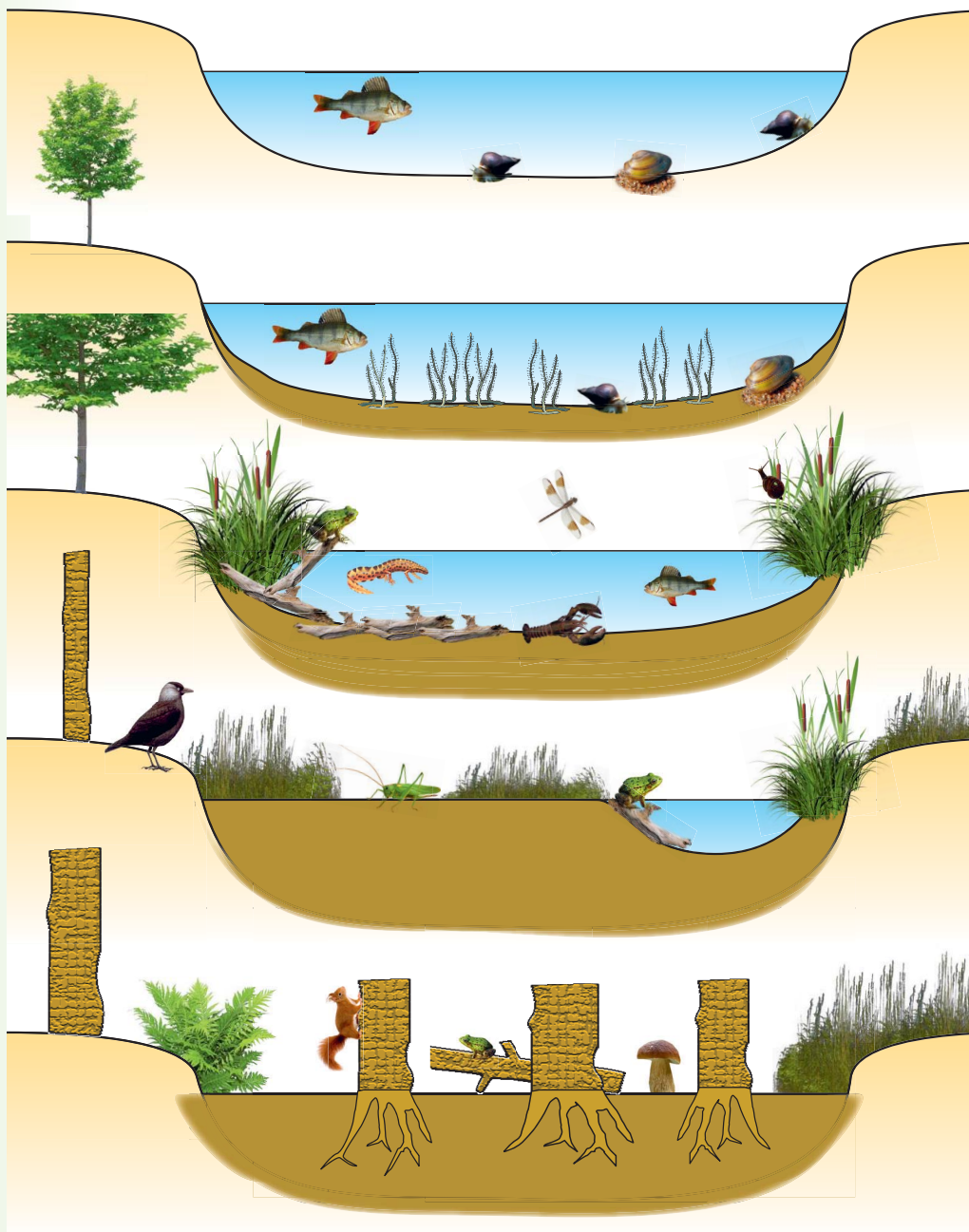


Рис. 119. Постепенное зарастание пресного водоёма



На стадии пионерных видов сообщество не сбалансировано. В нём ещё не сформировались сложные цепи питания, не заняты все экологические ниши, растительная продукция не полностью используется продуцентами и редуцентами, а частично накапливается в экосистеме. Изменяя среду, виды делают её непригодной для собственного существования, и их вытесняют новые конкуренты. Происходит смена сообществ. На этом этапе экосистемы называются *незрелыми*.

Постепенно сообщество становится всё более устойчивым. Увеличивается видовое разнообразие, происходит всё большее расхождение видов по экологическим нишам, ослабляется конкуренция, возрастает роль мутуалистических, взаимовыгодных отношений. В сообществе появляется всё больше видов с длительными циклами развития. Многочисленные паразиты и хищники регулируют численность своих жертв, не допуская её резкого подъёма, взрыва численности. Практически вся продукция, созданная растениями, идёт на поддержание жизни огромной армии животных, грибов и бактерий. В одних цепях питания перерабатываются живые части растений, в других — мёртвая растительная масса. Такие экосистемы называют *зрелыми*. Их сообщества устойчивы, так как изменения среды, вызываемые одними видами, компенсируются деятельностью других. Круговорот веществ в зрелых экосистемах сбалансирован.

Сукцессии, следующие за частичными нарушениями экосистем, называются *вторичными* или *восстановительными*. Они происходят, например, после лесного пожара, рубки леса, вспашки целины. В этих случаях часть элементов экосистемы сохраняется, остаются сформированная живыми организмами почва, семена, споры, выживают некоторые виды животных. Восстановительные сукцессии протекают несколько иначе, чем первичные, но тоже приводят к формированию стабильных, зрелых экосистем. Время, которое занимает первичная сукцессия, исчисляется сотнями лет, вторичные сукцессии завершаются значительно быстрее. Например, ельники в европейской части России после рубок восстанавливаются за 60—80 лет, проходя стадии кустарниковых зарослей и мелколиственных лесов.

Наряду с крупномасштабными и долгосрочными сукцессиями в природе протекает множество мелкомасштабных и краткосрочных. Зарастают также, проходя ряд этапов, выбросы кротов, вывалы деревьев в лесах, сусликовины в степях, днища высохших луж и т.п. Наряду с растительностью на этих участках меняется животное население и состав микроорганизмов. Такие мелкие сукцессии постоянно происходят в крупных стабильных экосистемах, восстанавливая в них локальные нарушения.

Особая категория сукцессий характерна для таких местообитаний, где скапливаются запасы мёртвого органического вещества, — в лесном опа-



де, навозе, компосте, выбросах водорослей на побережьях. Эти богатые энергией запасы привлекают целую армию мелких и микроскопических потребителей — консументов и редуцентов. Благодаря их деятельности субстрат быстро изменяется, происходит смена сообществ, и процесс идёт по всем законам сукцессии, постепенно замедляясь, пока органическое вещество не будет минерализовано и частично превращено в перегной, входящий в состав почвы. Подобные *микросукцессии* можно наблюдать даже в пробирках с санным настоем, где постепенно, волнами, сменяют друг друга массовые виды простейших и мелких многоклеточных животных: жгутиковые, различные инфузории, коловратки и др.

Процессы минерализации органических веществ в биологическом круговороте имеют не меньшее значение, чем создание новой продукции. Разные виды бактерий, грибов, мелких животных, как на конвейере, «передают» друг другу органическое вещество, всё более изменяя его, вплоть до полного разложения. На этих процессах специализируется множество видов. В лесах, степях, на лугах и в болотах — везде с разной скоростью идёт эта гигантская неслышная и невидимая работа, поддерживающая круговорот веществ. Замедление таких сукцессий, сбои в них угрожают устойчивости экосистем. Поэтому здоровая, богатая жизнью почва — это не только источник питательных веществ для растений, но и необходимое условие стабильности наземных сообществ.

Таким образом, экологические сукцессии служат механизмом развития, самоподдержания и восстановления природных экосистем.

Влияние человека на экосистемы. Понимание законов экологических сукцессий важно для многих сторон деятельности человека. Из этих законов вытекает, что экосистема не может одновременно быть высокоустойчивой и накапливать при этом избыток первичной продукции. Этот избыток — урожай — мы собираем на полях, в садах и огородах, при этом формируются крайне неустойчивые экосистемы (агроценозы), требующие постоянной поддержки человека — вспашки, удобрений, посевов, полива и т.п. К числу проявлений неустойчивости можно отнести вспышку численности вредителей, атаки сорняков, эрозию почв и исчерпание в ней запасов минеральных соединений. Если поле не засеяно, начинается сукцессия, и оно преобразуется в луг или кустарниковые заросли.

За получение первичной продукции с сельскохозяйственных угодий, урожая, человек платит необходимостью вложения большого труда, дополнительной энергии и последующей нестабильностью среды. В агроценозах идёт постоянная борьба с природными сукцессиями.

С другой стороны, сукцессии помогают природе «залечивать раны», нанесённые строительной и горнодобывающей деятельностью человека.



В настоящее время огромные площади суши лишены растительности и почвенного покрова, а многие территории стали подобны безжизненным лунным ландшафтам. Очень велика также суммарная площадь местных нарушений почв и экосистем при строительстве, прокладке дорог, газопровода и т.п. Возможности первичных и восстановительных сукцессий во многом подорваны. Чтобы ускорить восстановление почв и растительности, необходимо прежде всего понять природу ограничивающих факторов. Ограничивать сукцессии могут недостаток воды, нехватка семян, насыщенность грунта токсичными соединениями и многие другие причины.

Управление сукцессиями — один из основных путей экологически грамотного сотрудничества с природой. Чтобы не подрывать её стабильности и иметь возможность получать первичную продукцию, люди должны так организовать ландшафты, чтобы они включали как зрелые, так и незрелые экосистемы. Старый лозунг «Превратим всю Землю в цветущий сад» не выдержал экологической проверки. Сад — пионерная и нестабильная экосистема. Сады, поля должны чередоваться в ландшафте с лесами, перелесками, задернованными участками, водоёмами и другими типами экосистем, формируя то разнообразие, на котором строится устойчивость природной среды.

Экосистемы всегда стремятся к сохранению равновесия, количество новой биомассы в зрелой системе равно её общим энергозатратам. Если равновесие нарушается, происходит смена экосистемы.

Агроценозы — искусственно созданные экосистемы, которые характеризуются высокой продуктивностью. Главная их задача — обеспечивать потребности населения в продуктах питания. В отличие от естественных экосистем, они отличаются неустойчивостью и зависимостью от человека.



Запомните!

Динамическое равновесие. Зрелая экосистема. Молодая экосистема. Смена экосистем. Агроценоз.



Проверьте свои знания

1. Какое состояние экосистемы является равновесным?
2. Какое значение для устойчивости экосистемы имеет её видовое разнообразие?



3. Какие связи в экосистемах обеспечивают их устойчивость и способность к саморегуляции?
4. Каковы причины смены экосистем и как она осуществляется?
5. Опишите процесс заселения песчаной дюны.
6. Охарактеризуйте стадии зарастания водоёма. В чём причины этого процесса?
7. Какова роль микросукцессий в природе?
8. Приведите примеры, характеризующие влияние климатических условий на формирование фауны и флоры.
9. Дайте общую характеристику водных экосистем.
10. По каким причинам происходит саморазвитие сообществ?
11. Когда леса восстанавливаются быстрее — при сплошных или при выборочных рубках?
12. Что такое агроценоз? Приведите примеры. Чем агроценоз отличается от естественных экосистем?



Подумайте!

1. Чем различаются молодые и зрелые экосистемы? Почему важно сохранять зрелые сообщества?
2. Как будет происходить восстановление елового леса на месте пожарища? Какие последовательные стадии можно выделить в течение этого процесса?
3. Можно ли назвать саморазвитием постепенное превращение степного пастбища в голые пески под влиянием постоянного чрезмерного выпаса?
4. Приведите примеры экологических сукцессий, которые вы наблюдали своими глазами.

ЗАДАНИЯ

1. Пользуясь текстом учебного пособия и дополнительными источниками информации составьте и заполните таблицу «Сравнительная характеристика искусственных и естественных экосистем».
2. Подготовьте и реализуйте проекты:
 - «Описание и создание искусственной экосистемы»;
 - «Описание естественной экосистемы».



§ 29. Биосфера

Вспомните. Какие функции выполняет вода в природе? Какова максимальная глубина Мирового океана?

Как вы думаете. Что такое биосфера? В чём различие понятий «биогенное вещество» и «биокосное вещество»? На какой высоте находится озоновый экран?

Между сообществами нашей планеты существуют тесные взаимосвязи, они постоянно обмениваются друг с другом веществами и живыми организмами. В разных экосистемах встречаются одни и те же виды живых существ, а некоторые животные совершают миграции между ними (перелётные птицы). Процессы, которые происходят в одной экосистеме, неизбежно затрагивают процессы, протекающие в других. Следовательно, все экосистемы взаимосвязаны. Постоянный обмен веществами и энергией между ними позволяет говорить о единой глобальной экосистеме — биосфере.

Впервые термин «биосфера» был предложен в 1875 г. австрийским учёным Эдуардом Зюссом, который под ним подразумевал тонкую плёнку жизни, влияющую на облик планеты. Около 90 лет назад выдающийся русский учёный Владимир Иванович Вернадский (см. рис. 92) разработал учение о биосфере — оболочке Земли, населённой живыми организмами. Он распространил понятие биосферы не только на организмы, но и на среду их обитания. Определил геологическую роль живых организмов и показал, что их деятельность представляет собой важнейший фактор преобразования минеральных оболочек планеты.

Биосфера — оболочка планеты, состав, структура и энергетика которой определяются совместной деятельностью живых организмов.

Состав биосферы. В составе биосферы различают несколько взаимосвязанных типов вещества:



- *живое вещество* представляет собой совокупность живых обитателей планеты (растения, животные, грибы и бактерии);
- *биогенное вещество* создаётся в процессе жизнедеятельности организмов. Это газы атмосферы, каменный уголь, нефть, известняки и др.;
- *косное вещество* образуется без участия живых организмов. К нему относятся основные горные породы, лава вулканов, метеориты;
- *биокосное вещество* представляет собой совместный результат деятельности живых организмов и протекающих в природе абиогенных процессов. К нему относится верхний плодородный слой суши — почва.

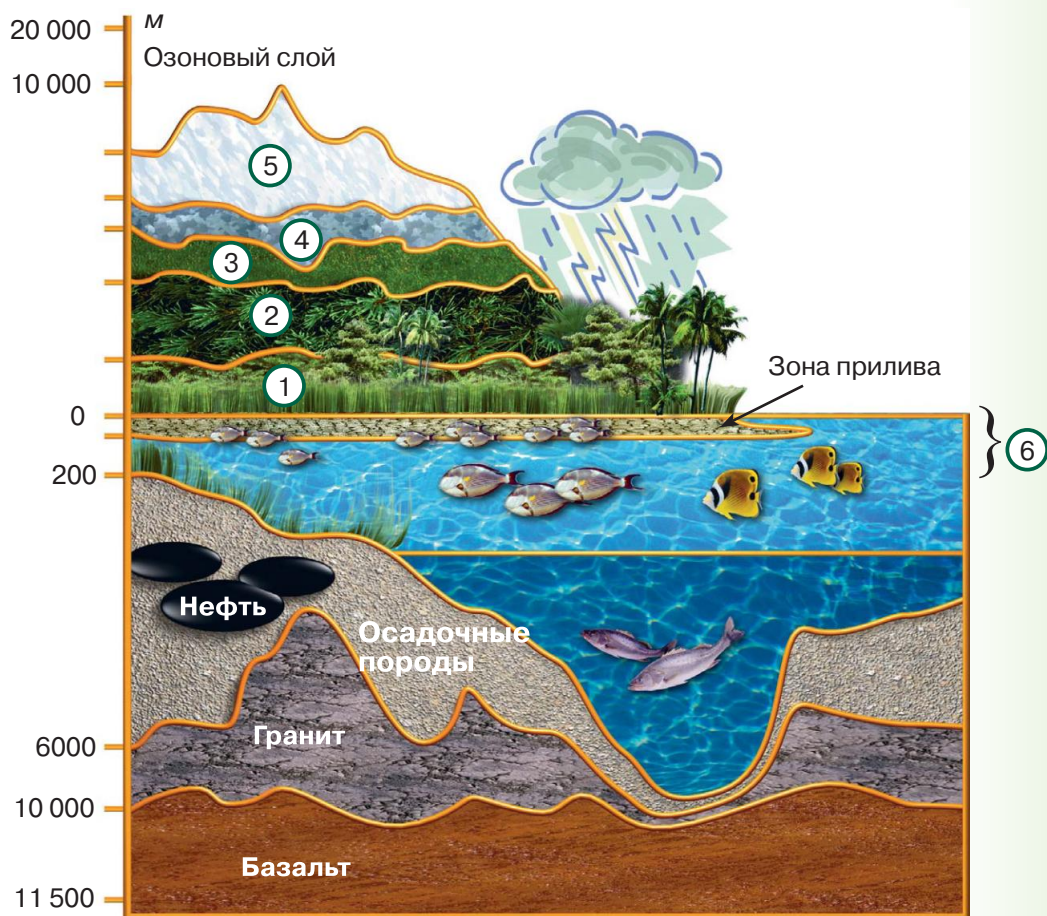
Границы биосферы (рис. 120) определяются факторами среды, которые делают невозможным существование живых организмов. Верхняя граница проходит примерно на высоте 20 км от поверхности планеты и отграничена слоем озона, который задерживает губительную для жизни коротковолновую часть ультрафиолетового излучения Солнца. Так высоко достигают споры грибов и бактерий. Таким образом, живые организмы заселяют только нижний слой атмосферы — *тропосферу*.

В гидросфере организмы проникают на всю глубину Мирового океана, до 10—11 км. На дне скапливаются органические остатки и обитают животные, приспособившиеся к большому давлению и отсутствию света на больших глубинах.

В литосфере жизнь встречается до глубины 3,5—7,5 км, что обусловлено температурой земных недр и уровнем проникновения воды в жидком состоянии. Однако основная масса организмов, обитающих в пределах литосферы, находится в почвенном слое, глубина которого не превышает нескольких метров.

Хотя границы биосферы довольно узки, живые организмы в их пределах распределены очень неравномерно. На большой высоте и в глубинах гидросферы и литосферы организмы встречаются относительно редко. Жизнь сосредоточена главным образом на поверхности земли, в почве и в приповерхностном слое океана. Это связано с наиболее благоприятными условиями, которые сформировались на границах геосфер планеты. Здесь достаточное количество воды, света, минеральных веществ, кислорода, благоприятный температурный режим и т.д.

Геосферы планеты. Газовая оболочка планеты — *атмосфера* — состоит в основном из азота и кислорода. В небольших количествах в ней содержатся диоксид углерода (0,03%) и озон. Её состояние оказывает большое влияние на физические, химические и биологические процессы на поверхности суши и в водной среде. Для живых организмов наибольшее значение имеют: кислород, используемый для дыхания и минерализации мёртвого органического вещества, диоксид углерода, участвующий в фотосинтезе, и озон, экранирующий земную поверхность от жёсткого ультрафиолетового излучения.



- 1 — тропические леса;
- 2 — широколиственные леса;
- 3 — хвойные леса;
- 4 — альпийские луга;
- 5 — льды;
- 6 — зона фотосинтеза

Рис. 120. Границы биосферы



Водная оболочка — *гидросфера* — важнейшая оболочка Земли. Вода — необходимое условие существования живых организмов. Основная её часть (94%) находится в Мировом океане. Он занимает около 70% поверхности земного шара и содержит 1300 млн км³ воды. Поверхностные воды (озёра, реки) включают всего 0,182 млн км³, а количество воды в живых организмах составляет всего 0,001 млн км³. Значительные запасы воды (24 млн км³) содержат ледники. Большое значение для организмов имеют газы, растворённые в воде: кислород и диоксид углерода. Их содержание широко варьируется в зависимости от температуры и присутствия живых организмов. В воде содержится в 60 раз больше диоксида углерода, чем в атмосфере.

Литосфера — твёрдая оболочка планеты. Для живых организмов наиболее значимым является верхний плодородный слой суши — почва, толщина которой не превышает нескольких метров и которая является биокосным веществом биосферы. Общую массу живых организмов планеты оценивают в $2,43 \cdot 10^{12}$ т.

Биомасса организмов, обитающих на суше, на 99,2% представлена зелёными растениями и на 0,8% — животными и микроорганизмами. Суммарная биомасса океана составляет всего 0,13% биомассы всех существ, обитающих на Земле.

В распределении живых организмов по видовому составу наблюдается важная закономерность. Из общего числа видов на растения приходится только 21%, но их вклад в общую биомассу составляет 99%. Среди животных 96% видов беспозвоночные и только 4% позвоночные, из которых только десятая часть — млекопитающие. Можно сделать вывод, что в количественном отношении на планете преобладают формы, стоящие на относительно низком уровне эволюционного развития.

Функции живого вещества в биосфере. Благодаря способности к размножению и расселению, в результате обмена веществ и преобразования энергии живые организмы способствуют миграции химических элементов в биосфере. Различий между химическими элементами, входящими в состав неорганических и органических веществ, не существует, все они неоднократно проходили через тела бесчисленных поколений организмов, населяющих Землю. Главная функция биосферы, таким образом, заключается в обеспечении круговорота химических элементов, который выражается в циркуляции веществ между атмосферой, почвой, гидросферой и живыми организмами.

Живое вещество биосферы выполняет ряд важных функций. Одной из важнейших является *энергетическая функция*. Она заключается в способности живых организмов связывать и запасать солнечную энергию



в виде энергии химических связей. В настоящее время огромное количество энергии Солнца запасено в виде месторождений топливных полезных ископаемых (газа, угля, нефти, торфа). *Газовая функция* живого вещества тесно связана с процессами фотосинтеза и дыхания. Процессы окисления и восстановления элементов с переменной валентностью (сера, азот, железо, марганец), которые осуществляются бактериями, позволяют выполнять живому веществу биосферы *окислительно-восстановительную функцию*. Многие организмы обладают способностью накапливать в себе определённые химические элементы, выполняя тем самым *концентрационную функцию*. Например, морские водоросли накапливают в своих клетках иод, а хвощи — кремний.

Эволюция биосферы обусловлена тесно взаимосвязанными между собой тремя группами факторов: развитием нашей планеты как космического тела и протекающих в её недрах химических преобразований, биологической эволюцией живых организмов и развитием человеческого общества.

Биосфера — живая оболочка планеты. Масса живого вещества составляет всего 0,01—0,02% от косного вещества биосферы, однако в геохимических процессах Земли живые существа играют ведущую роль. Изучение биосферы, её свойств и закономерностей развития становится актуальной задачей нашего времени.



Запомните!

Геосферы планеты: литосфера, атмосфера, гидросфера. Биосфера. Вещество: живое, биогенное, биокосное, косное. Функции живого вещества: энергетическая, газовая, окислительно-восстановительная и концентрационная.



Проверьте свои знания

1. Что такое биосфера? Какие вещества входят в её состав?
2. Где проходят границы биосферы? Чем они определяются?
3. Охарактеризуйте оболочки Земли, в которых обитают живые организмы, — атмосферу, гидросферу, литосферу.



4. Дайте характеристику живого вещества биосферы.
5. Сравните суммарную биомассу суши и океана. Какой вклад в биомассу Земли вносят растения и животные?
6. Какие функции выполняет живое вещество биосферы?



Подумайте!

1. Почему наиболее благоприятные условия для живых организмов формируются на границах геосфер?
2. Почему основную биомассу на суше образуют растительные организмы, а в водной среде животные?



§ 30. Основные законы устойчивости живой природы

Вспомните. Что такое круговорот веществ? Какие группы живых организмов участвуют в круговороте веществ? В чём причины устойчивости экосистем?

Как вы думаете. Что означает понятие «циклическое использование веществ»? Как объяснить понятие «обратная связь»?

Людам необходимо понимать, на чём основана устойчивость популяций, сообществ и экосистем, чтобы соразмерять свою деятельность с законами природы. Среди множества экологических закономерностей можно выделить несколько имеющих особо важное значение.

Принцип цикличности, т.е. многократного использования веществ, лежит в основе биологического круговорота веществ, на котором основывается устойчивость экосистем. Различные биогенные элементы — водород, кислород, углерод, азот, фосфор и др. — совершают в биосфере постоянные миграции между телами организмов и физической средой.



Плоть живущих сейчас людей включает атомы, побывавшие в составе тел древних стегоцефалов, динозавров, первоптиц и мамонтов.

Циклическое использование веществ, запасы которых ограничены, делает их практически неисчерпаемыми. На этом принципе и основано существование жизни на Земле (иначе она давно исчерпала бы все доступные ресурсы).

Принцип цикличности действует в природе не только на уровне экосистем и биосферы, но и на уровне отдельных организмов. Например, в жарких пустынях, где главный ограничивающий фактор — это вода, у многих видов жуков отбор закрепил такие особенности строения, которые позволяют многократно использовать одну и ту же порцию влаги для выведения продуктов обмена. Устройство органов выделения — мальпигиевых сосудов, по которым у всех насекомых продукты обмена веществ в растворённом виде поступают в кишечник и удаляются из тела, у пустынных жуков своеобразно. Их мальпигиевы сосуды образуют петли, в которых вода всасывается назад, а продукты обмена веществ удаляются из кишечника уже в твёрдом виде. Возвращённая вода используется в новом цикле выделения. Сходный принцип применяют для экономии воды и другие виды животных, обитающих в пустынях. Эти анатомические приспособления обусловлены чисто экологическими причинами; у близких видов, живущих в условиях достаточного водообеспечения, они не проявляются.

Принцип отрицательной обратной связи действует на всех уровнях организации жизни — от особи до биосферы. Этот принцип лежит в основе регуляции внутриклеточных процессов, на нём основано самоподдержание всех сложных систем.

Механизм отрицательной обратной связи таков: при возникновении отклонений от нормального состояния системы в самой этой системе начинаются такие изменения, которые противодействуют этим отклонениям, происходит регуляция, т.е. возврат системы к прежней норме.

В технике этот принцип используется очень широко. Так регулируется, например, температура в холодильнике. Повышение температуры вызывает включение мотора, приводящего в действие систему охлаждения. То же происходит и при регуляции температуры организмов. У млекопитающих понижение наружной температуры вызывает усиленное окисление жировых запасов, выделяется дополнительное тепло, которое идёт на поддержание температуры тела. Повышение температуры вызывает усиленную работу потовых желез, а так как испарение — процесс энергоёмкий, организм теряет большое количество тепла.

Проявлением отрицательной обратной связи в популяциях может служить зависимость состояния организмов от плотности популяций. Как мы видели, разнообразные формы реакции популяций разных видов на воз-



растание плотности приводят к сходному результату — торможению дальнейшего роста и даже его снижению. Особенно наглядно это проявляется у животных. В плотных популяциях у них изменяются инстинкты, поведение, гормональное состояние, плодовитость. Например, при низкой численности зверьков в колониях сурки встречают пришельцев дружелюбно, а при высокой — агрессивно прогоняют их. После вспышки массового размножения у животных ослабевают инстинкты воспроизводства, усиливается тяга к миграциям, происходят физиологические изменения, понижающие их сопротивляемость различным болезням, и т.п. В результате, часто с большими потерями для популяций, их численность возвращается к «норме», т.е. соответствию ресурсам местообитания.

Отрицательная обратная связь может также способствовать регуляции численности популяций не через внутривидовые, а через биоценотические, т.е. межвидовые, отношения. Чаще всего это связи «хищник — жертва», «паразит — хозяин». Рост численности жертв, обеспечивая хорошую кормовую базу для хищников, приводит к их успешному размножению и увеличению численности в следующем поколении. При этом влияние хищников на популяции жертв возрастает. Поэтому виды, у которых много природных врагов, т.е. «все их едят», редко достигают численности, опасной для подрыва их собственных ресурсов.

У некоторых видов вспышки массового размножения происходят даже в природных сообществах. Обычно плотность их популяций сдерживается многочисленными потребителями, но если после суровых зим или засушливого лета часть врагов погибает, это может привести к «взрыву» численности вида. Например, у бабочек сибирского шелкопряда в таёжных лесах не менее 60 видов потребителей. Особенно активно сдерживают численность шелкопряда некоторые мелкие перепончатокрылые — яйцееды, личинки которых развиваются в яйцах вредителя. Яйцееды особо чувствительны к сильным морозам, в холодную зиму они нередко массово погибают, яйца же шелкопряда выживают, и начинается «взрыв» численности этого вида. До того как успевает восстановиться численность видов-регуляторов, гусеницы шелкопряда успевают уничтожить хвою в больших массивах хвойных пород, затем вышедшие из них бабочки расселяются в новые места, где благодаря наличию большого комплекса паразитов и хищников их численность нормализуется.

Сходную ситуацию человек создаёт сам, злоупотребляя химическими методами борьбы с вредителями. Обычно хищники и паразиты более чувствительны к ядам, чем потребляемые ими виды, поэтому после кратковременного снижения численности вредитель, освобождённый от врагов, размножается с новой силой. Здесь мы нарушаем ту отрицательную обратную связь, которая лежала в основе взаимодействия видов.



Принцип биологического разнообразия. В разнообразии кроется наиболее мощный механизм устойчивости живой природы. На Земле нет не только двух полностью одинаковых видов или сообществ, но и двух одинаковых особей. Изменчивость особей служит основой действия естественного отбора и эволюции видов, а благодаря разнообразию видов формируются сложные сообщества и экосистемы.

Разнообразие видов позволило живым существам освоить все уголки биосферы, существовать на всех географических широтах, во всех типах климата, в глубинах океанов и толщах грунтов.

В биологическом круговороте веществ участвуют виды с прямо противоположными функциями. Очевидно, что и на заре формирования биосферы существовало большое разнообразие первичных организмов, иначе было бы невозможно возникновение биологического круговорота.

Разнообразие видов позволяет им занимать все экологические ниши и тем самым наиболее полно использовать ресурсы среды. В биоценозах, как мы видели, создаётся своего рода «разделение труда» между видами, они дополняют друг друга, и это стабилизирует сообщества.

Биологическое разнообразие обеспечивает не только взаимное дополнение, но и взаимозаменяемость видов в экосистемах. Отдельные виды могут быть заменены конкурентами без ущерба для общего состояния экосистемы. Выпадение из сообщества каких-либо видов также может пройти почти бесследно, если это не касается основных средообразователей. Экологические ниши близких по требованиям видов могут частично перекрываться, поэтому исчезновение одного из них оказывается неопасным для экосистемы. Его функции по правилу конкурентного высвобождения могут принять на себя сразу несколько видов.

Наиболее важные процессы в экосистемах имеют множественное обеспечение, т.е. к сходному результату может привести деятельность разных видов. Например, в такой важной функции любой экосистемы, как разложение мёртвого органического вещества, одновременно участвует несколько групп организмов с большим видовым разнообразием: бактерии, грибы, простейшие, круглые и кольчатые черви, членистоногие и т.д. В большинстве типов почв важнейшую роль в этих процессах играют дождевые черви. Но на значительной части территории Канады дождевые черви отсутствуют, и тем не менее там формируются экосистемы, по внешнему облику и характеру круговоротов похожие на европейские.

Биологическое разнообразие видов — необходимое условие и для протекания первичных и восстановительных сукцессий. Одна из основных причин торможения сукцессионного процесса в биоценозах, нарушенных человеком, — низкое разнообразие видов на прилегающих территориях, отсутствие семян нужных видов растений и многих видов сопровождающих



их животных — опылителей, разлагателей и т.п. Видовое разнообразие — это необходимое условие смены сообществ, ведущей к формированию устойчивых экосистем.

Устойчивость природы, таким образом, основана на вполне определённых законах формирования и динамики природных систем, не считаться с которыми люди не имеют права, так как это обобщается против их собственного благополучия.



Запомните!

Принцип цикличности. Принцип отрицательной обратной связи. Принцип биологического разнообразия.



Проверьте свои знания

1. Дайте характеристику принципа цикличности.
2. Перечислите, какими путями высокое разнообразие видов поддерживает устойчивость природы.
3. Какие природные факторы зависят от плотности популяций? Как проявляется обратная связь при действии факторов, зависящих от плотности?
4. Возникают ли отрицательные обратные связи на полях? Можно ли их использовать для защиты урожая?
5. Какие биотические связи (межвидовые или внутривидовые) наиболее важны для регуляции численности бабочки-крапивницы? Большой синицы? Волка?



Подумайте!

Экосистем с постоянным соотношением видов не существует, в них всегда происходят разнообразные изменения. Почему же некоторые экосистемы называют стабильными? На чём основана их стабильность?

ГЛАВА 9

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПРИРОДЫ





Человечество возникло на Земле в результате эволюции живой природы. С природой оно связано не только происхождением, но и постоянной зависимостью, которая по мере развития человеческого общества не уменьшается, а скорее даже возрастает.

Условия, необходимые для возникновения и развития человеческой цивилизации, были в значительной степени созданы жизнью на Земле и поддерживаются ею же. Это наличие и состав вод и атмосферного воздуха, почвенное плодородие, озоновый экран над Землёй, горючие ископаемые и биологические круговороты. Живая природа не только кормит человечество, она формирует и всю систему его жизнеобеспечения на планете. Чем интенсивнее человек хозяйничает на Земле, приспособляя природу к своим нуждам, тем более разумно и бережно он должен относиться к ней, чтобы не разрушить собственного благополучия, не подорвать саму возможность своего дальнейшего существования. Поэтому на современном этапе особое значение для выживания человечества приобретает экология — наука о связях организмов с окружающей средой, изучающая законы и механизмы устойчивости жизни на нашей планете.



§ 31. История взаимоотношений человека с природой

Вспомните. Назовите основные этапы антропогенеза. Какие ресурсы планеты относятся к исчерпаемым?

Как вы думаете. Что такое ноосфера? Чем прямое влияние человека на растительный и животный мир планеты отличается от косвенного воздействия?

В самом начале своего эволюционного развития человек оказывал воздействие на окружающую среду не более и не менее других видов живых организмов. Однако воздействие его на природу существенно изменилось, когда люди перешли от собирательства к охоте около 50—40 тыс. лет

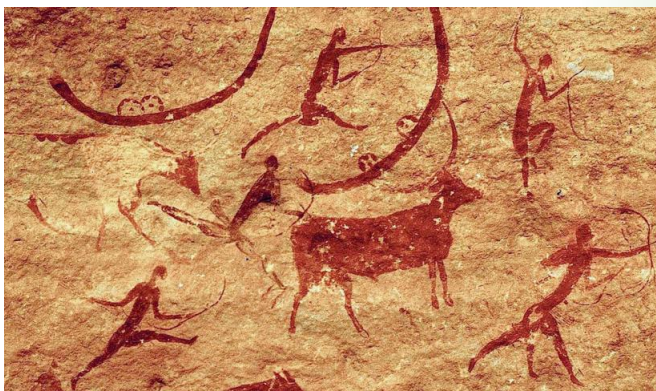
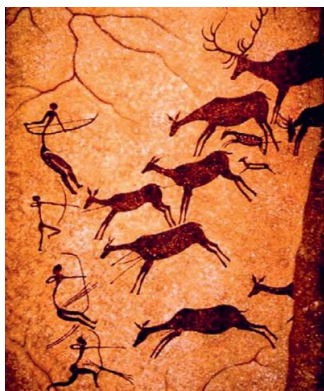


назад, а позднее и к земледелию. С этого момента в эволюции биосферы стал действовать новый фактор — *антропогенный* (от *греч.* anthropos — человек).

Начальные этапы воздействия человека на природу. Первая созданная человеком культура — *палеолит* (каменный век) — продолжалась примерно 20—30 тыс. лет и совпала с длительным периодом оледенения. Экономической основой жизни человеческого общества была охота на крупных животных: благородного и северного оленей, шерстистого носорога, осла, лошадь, мамонта, тура и многих других. На стоянках человека каменного века находят многочисленные кости диких животных — свидетельство успешной охоты. Уже неандертальцы имели много различных каменных орудий, которые они использовали в качестве накопечников для копий и кинжалов. Кроманьонцы научились изготавливать орудия из костей животных (рыболовные крючки, гарпуны), делать силки для птиц и ловушки для зверей. Владели навыками загонной охоты (рис. 121).

Интенсивное истребление крупных травоядных животных привело к сравнительно быстрому сокращению их численности и исчезновению многих видов. Если мелкие травоядные могли восполнять потери от нападений охотников благодаря высокой рождаемости, то крупные животные в силу эволюционной истории были лишены этой возможности. Дополнительные трудности для травоядных животных возникли вследствие изменения природных условий в конце палеолита. 13—10 тыс. лет назад наступило резкое потепление, отступил ледник, а в Европе распространились леса. Многие животные стали вымирать. Это создало новые условия, разрушило сложившуюся экономическую базу человеческого общества. Закончился период его развития, характеризовавшийся только

Рис. 121. Охота кроманьонцев. Наскальные рисунки





использованием пищи, т.е. чисто потребительским отношением к окружающей среде.

В эпоху *неолита*, наряду с охотой (на лошадь, дикую овцу, благородного оленя, кабана, зубра, козла и др.), рыбной ловлей и собирательством (моллюски, плоды, клубни, луковицы и др. части растений), всё большее значение приобретал процесс производства пищи. Осуществлялись первые попытки одомашнивания животных и разведения растений, зарождалось производство керамики. При изучении стоянок кроманьонцев археологами были обнаружены кости домашних животных (коз, овец, свиней), а также найдены свидетельства того, что уже 10—9 тыс. лет назад люди выращивали пшеницу, ячмень и чечевицу.

Позднее началось освоение минеральных ресурсов, зародилась металлургия. В разных местах Передней и Средней Азии, Кавказа, Южной Европы развивались зачатки земледельческого и скотоводческого хозяйства. Стада домашних животных вытаптывали растительность, и на смену степям приходили пустыни. Широко использовавшийся огонь — и для уничтожения растительности в условиях подсечного земледелия, и как средство охоты — приводил к сокращению лесов. Происходили разрушения естественных природных сообществ, и сокращалась численность видов живых организмов. Однако глобального воздействия на биосферу антропогенный фактор на ранних этапах развития человечества ещё не оказывал.

Современный этап воздействия человека на биосферу. Рост населения (рис. 122), качественный скачок в развитии науки и техники за последние два столетия и особенно в наши дни привели к тому, что деятельность человека стала фактором планетарного масштаба, направляющей силой дальнейшей эволюции биосферы. В.И. Вернадский считал, что влияние научной мысли и человеческого труда обусловило переход биосферы в новое состояние — ноосферу (сферу разума).

Ноосфера — новое эволюционное состояние биосферы, при котором разумная деятельность человека становится решающим фактором её развития.

В современных условиях значительная часть поверхности Земли распахана или представляет собой полностью или частично окультуренные пастбища для домашних животных. Развитие промышленности и сельского хозяйства потребовало больших площадей для строительства городов, промышленных предприятий, разработки полезных ископаемых, сооружения коммуникаций. Всего, таким образом, около 20% суши к настоящему времени преобразовано деятельностью человека.

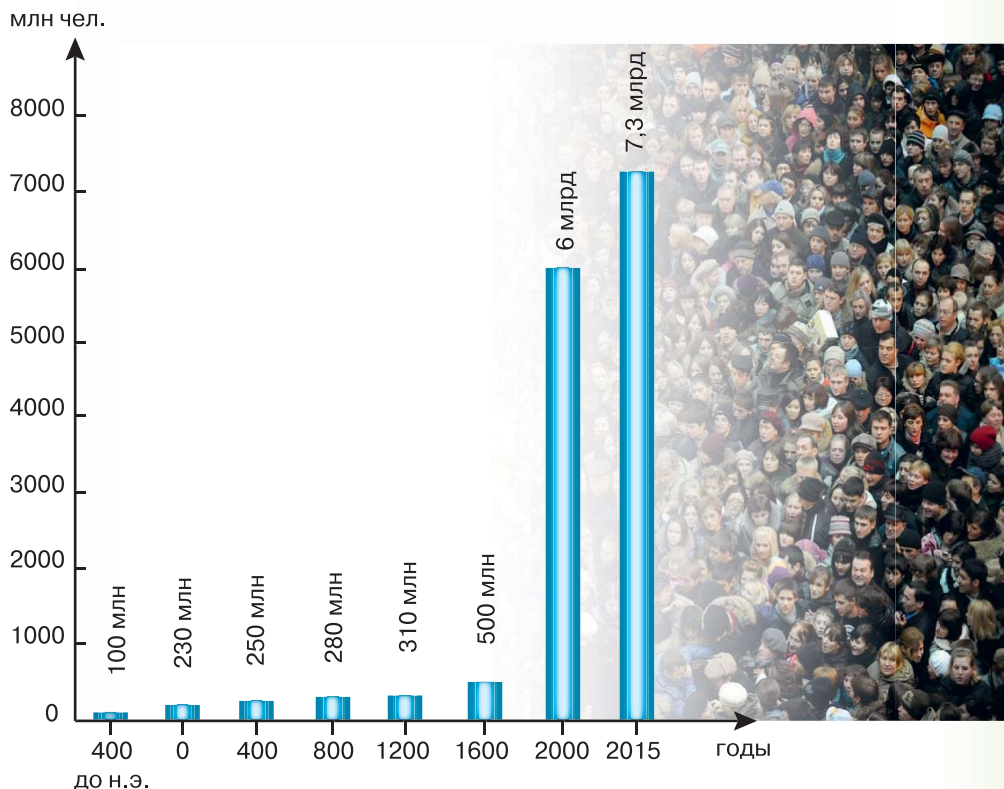


Рис. 122. Рост численности населения Земли

Сейчас люди используют для своих нужд всё большую часть территории планеты и всё большее количество природных ресурсов. Биологические, в том числе пищевые, ресурсы планеты обуславливают возможности жизни человека на Земле, а минеральные и энергетические служат основой материального производства человеческого общества. Среди природных богатств планеты различают неисчерпаемые и исчерпаемые ресурсы.

Неисчерпаемых природных ресурсов не так уж много. Они подразделяются на *космические, климатические* и *водные*. Это энергия солнечной радиации, морских волн, ветра. С учётом огромной массы воздушной и водной среды планеты неисчерпаемыми считают атмосферный воздух и воду. Выделение это относительно. Например, пресную воду можно рассматривать как ресурс исчерпаемый, поскольку во многих регионах земного шара возник острый её дефицит. Уже идёт речь



и о неравномерности её распределения, и о невозможности использования ввиду загрязнения.

Условно считают и кислород атмосферы неисчерпаемым ресурсом. Учёные-экологи полагают, что при современном уровне технологии использования атмосферного воздуха и воды эти ресурсы можно рассматривать как неисчерпаемые только при разработке и реализации крупномасштабных программ, направленных на их восстановление.

Исчерпаемые ресурсы делятся на возобновляемые и невозобновляемые. К *возобновляемым ресурсам* относятся растительный и животный мир, плодородие почв. Большую роль в жизни человека играет лес, который имеет немаловажное значение как географический и экологический фактор. Леса предотвращают эрозию почвы, задерживают поверхностные воды, способствуют поддержанию уровня грунтовых вод. В лесах обитают животные, представляющие материальную и эстетическую ценность для человека: копытные и пушные звери, промысловые и певчие птицы. В нашей стране леса занимают около 760 млн га, или 33% от всей территории, и являются одним из основных её природных богатств.

Несмотря на длительную историю культурного земледелия и животноводства, дикая природа продолжает служить для человека существенным источником продуктов питания, например рыбы. В разных странах мира в белковом рационе человека рыба составляет от 17 до 83%. Из неё, кроме того, получают витамины, кормовую муку для скота, а малоценные сорта рыб перерабатывают на удобрение для полей. Основная доля рыбных богатств (около 90%) сосредоточена в морях. При этом около 9% всего улова приходится на материковый шельф — на прибрежные воды глубиной до 200 м, которые составляют всего лишь 8% всей площади Мирового океана. Важным объектом морского промысла также являются водные млекопитающие. Китообразные и ластоногие служат источником мяса и жира, а некоторые виды добывают ради шкур с прочным и красивым мехом.

Значение диких растений и животных для человека не исчерпывается их пищевой ценностью. Дикорастущие виды растений до сих пор являются исходным материалом для селекции, а среди диких животных есть виды, перспективные для одомашнивания.

К *невозобновляемым ресурсам* относятся полезные ископаемые. Их использование человеком началось в эпоху неолита. Первыми металлами, которым люди нашли применение, были самородное золото и медь. Добывать и плавить руды, содержащие медь, а также олово, серебро, свинец, умели уже за 4 тыс. лет до н.э. В настоящее время человек вовлёл в сферу своей промышленной деятельности преобладающую часть известных минеральных ресурсов. Из земных недр извлекается всё больше различных руд,



каменного угля, нефти и газа. Научно-технический прогресс открывает всё новые области применения чёрных и цветных металлов, различного неметаллического сырья. В результате появляется возможность разработки бедных месторождений, увеличивается добыча нефти со дна моря.

Таким образом, человечество интенсивно потребляет как живые, так и минеральные природные ресурсы. Однако такое использование окружающей среды имеет свои отрицательные последствия.

Отрицательное влияние человека на растительный и животный мир. Воздействие человека на живую природу складывается из прямого влияния и косвенного воздействия путём изменения природной среды.

Прямое влияние. Одна из форм прямого воздействия на растения — рубка леса. Выборочные и санитарные рубки, регулирующие состав и качество леса и необходимые для удаления повреждённых и больных деревьев, существенно не влияют на видовой состав лесных биоценозов. Другое дело — сплошная вырубка древостоя. Оказавшись внезапно в условиях открытого местообитания, растения нижних ярусов леса испытывают неблагоприятное влияние прямого солнечного излучения. У тенелюбивых растений травянистого и кустарничкового ярусов разрушается хлорофилл, угнетается рост, и некоторые виды исчезают. На месте вырубок поселяются светолюбивые растения, устойчивые к повышенной температуре и недостатку влаги. Меняется и животный мир: виды, связанные с древостоем, исчезают или мигрируют в другие места.

Ощутимое воздействие на состояние растительного покрова оказывает массовое посещение лесов отдыхающими и туристами. В этих случаях вредное влияние заключается в вытаптывании, уплотнении почвы и её загрязнении. Угнетение корневой системы приводит к засыханию древесных растений. Вытаптывание трав нарушает существенные этапы круговорота веществ, обрезаая деревья на частичное голодание.

Прямое влияние человека на животный мир заключается в истреблении видов, представляющих для него пищевую или другую пользу. Считается, что с 1600 г. человеком было истреблено более 160 видов и подвидов птиц (рис. 123) и не менее 100 видов млекопитающих. В длинном списке значатся: тур — дикий бык, обитавший когда-то на территории всей Европы; стеллерова корова, водное млекопитающее, относящееся к отряду сиреновых, описанная русским натуралистом Георгом Вильгельмом Стеллером (1709—1746); дикая лошадь тарпан, обитавшая на юге России и исчезнувшая более 100 лет назад, и многие другие.

Некоторые виды современных животных находятся на грани вымирания или сохранились только в заповедниках. Такова судьба бизонов, десятками миллионов особей населявших когда-то прерии Северной Америки, и зубров, прежде широко распространённых в лесах Европы.



Рис. 123. Исчезнувшие виды животных

На Дальнем Востоке в настоящее время почти полностью истреблён пятнистый олень, а промысел китообразных привёл на грань вымирания несколько видов китов: серого, гренландского и голубого.

Косвенное воздействие. На численность животных оказывает влияние и хозяйственная деятельность человека, не связанная с промыслом. Например, резкое снижение численности уссурийского тигра произошло в результате освоения территорий в пределах области его обитания и сокращения кормовой базы, а в Тихом океане ежегодно гибнет несколько десятков тысяч дельфинов, так как в период лова рыбы они попадают в сети и не могут из них выбраться.

Исчезновение сравнительно небольшого числа видов животных и растений может показаться не очень существенным. Однако главная ценность современных видов заключается не только в хозяйственном значении. Каждый из них выполняет определённую роль в биоценозах и занимает место в цепях питания. Исчезновение того или иного вида ведёт к уменьшению устойчивости экосистем. Ещё важнее то, что каждый вид обладает уникальными, присущими только ему свойствами. Утрата генов, определяющих эти свойства и отобранных в ходе длительной эволюции, лишает человека возможности в будущем воспользоваться ими для своих практических целей (например, для селекции).

С момента появления человека около 50—40 тыс. лет назад его влияние на процессы, протекающие в биосфере, постепенно

и неуклонно возрастало. На современном этапе взаимоотношений человеческого общества с природой выделяют ноосферу — новую оболочку планеты, в пределах которой все геосферы планеты объединены деятельностью людей. Потребительское отношение к природе и незнание её основных законов привело к вымиранию многих животных и разрушению многих естественных экосистем.



Запомните!

Палеолит. Неолит. Ноосфера. Природные ресурсы: неисчерпаемые, исчерпаемые (возобновляемые, невозобновляемые). Отрицательное влияние человека на животный и растительный мир: прямое, косвенное.



Проверьте свои знания

1. Как отразилась на окружающей среде деятельность первобытного человека?
2. К какому периоду развития человеческого общества относится зарождение сельскохозяйственного производства?
3. Дайте характеристику современного этапа воздействия человека на природу.
4. Дайте классификацию природных ресурсов планеты.
5. Как человек использует неисчерпаемые ресурсы?
6. Что такое исчерпаемые природные ресурсы? Какие из них являются возобновляемыми?
7. Как в ходе развития человеческого общества изменилось использование невозобновляемых природных ресурсов?
8. Каковы последствия прямого воздействия человека на животный и растительный мир?
9. В чём суть косвенного воздействия человека на организмы?



Подумайте!

1. Прямое или косвенное отрицательное воздействие человека на растительный и животный мир планеты является наиболее опасным для современных видов организмов? Ответ обоснуйте.



2. Что изменится в городской среде, если удалить из города все растения, включая комнатные? Хотели бы вы жить в таком городе?

ЗАДАНИЯ

1. Расспросите близких вам пожилых людей, как за их жизнь изменилось состояние связи и транспорта.
2. Попробуйте подсчитать число видов растений, животных и грибов, используемых в рационе вашей семьи.



§ 32. Последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды

Вспомните. Какие отрасли промышленности наносят наибольший вред окружающей среде? Какое воздействие на организмы оказывает повышенный уровень радиации? На какой высоте находится озоновый слой? Какую функцию он выполняет?

Как вы думаете. Какие экологические проблемы возникли в результате хозяйственной деятельности людей? Чем глобальные экологические проблемы отличаются от региональных?

С увеличением плотности населения Земли растёт и степень воздействия человека на окружающую среду. При современных темпах и уровне развития производительных сил деятельность человеческого общества сказывается на биосфере в целом, т.е. приобретает глобальный характер.

Загрязнение воздуха. В процессе своей деятельности человек загрязняет воздушную среду. Над городами и промышленными районами в атмосфере возрастает концентрация газов, которые обычно в сельской местности содержатся в очень небольших количествах или совсем отсутствуют.



Рис. 124. Загрязнение воздуха

Загрязнённый воздух очень вреден для здоровья. Кроме того, различные газы, соединяясь с атмосферной влагой и выпадая в виде *кислотных дождей*, ухудшают качество почвы и снижают урожай.

Основные причины загрязнения атмосферы — сжигание природного топлива и металлургическое производство. Если в XIX и в начале XX в. поступающие в окружающую среду продукты сгорания угля и жидкого топлива почти полностью ассимилировались растительностью Земли, то в настоящее время содержание вредных продуктов сгорания неуклонно возрастает. Из печей, топок, выхлопных труб автомобилей в воздух попадает целый ряд загрязняющих веществ (рис. 124). Среди них особенно выделяется сернистый ангидрид — ядовитый газ. Его концентрация в атмосфере особенно высока в окрестностях медеплавильных заводов. Сернистый газ вызывает разрушение хлорофилла в листьях растений, недоразвитие пыльцевых зёрен, засыхание и опадание листьев, хвои. Часть сернистого ангидрида окисляется до серного ангидрида, который легко растворяется в воде. Растворы сернистой и серной кислот, выпадая с дождями на поверхность Земли, причиняют вред живым организмам, разрушают здания. Почва приобретает кислую реакцию, из неё вымывается перегной — гумус — органическое вещество, содержащее все компоненты, необходимые для развития растений. Кроме того, в ней снижается количество солей кальция, магния, калия. В кислых почвах уменьшается и число обитающих в ней видов животных, замедлена скорость разложения листового опада. Всё это создаёт неблагоприятные условия для роста растений.

Каждый год в результате сжигания топлива в атмосферу поступают миллиарды тонн диоксида углерода. Половина CO_2 , образующегося при сгорании ископаемого топлива, поглощается океаном и зелёными растениями, а остальное накапливается в воздухе. Содержание диоксида



Рис. 125. Смог

углерода в атмосфере постепенно возрастает и за последние 100 лет увеличилось более чем на 10%. CO_2 препятствует тепловому излучению в космическое пространство, создавая так называемый *парниковый эффект*. Изменение содержания CO_2 в атмосфере в значительной мере влияет на климат Земли. Промышленные предприятия и автомобили служат причиной поступления в атмосферу многих ядовитых соединений — оксидов азота, оксида угле-

рода, соединений свинца (каждый автомобиль выделяет за год 1 кг свинца), различных углеводородов — ацетилена, этилена, метана, пропана, толуола, бензпирена и др. Вместе с капельками воды они образуют ядовитый туман — *смог* (рис. 125), вредно действующий на организм человека и на растительность городов. Жидкие и твёрдые частицы (пыль), взвешенные в воздухе, уменьшают количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. Так, в больших городах солнечной радиации меньше, чем в сельской местности, на 15%, а ультрафиолетовых лучей — на 30%. Вещества, которые используют в качестве компонентов аэрозолей и хладагентов в холодильных установках (хлорфторуглеводороды), попадая в атмосферу, разлагаются с выделением хлора и фтора. Они вызывают превращение озона в кислород, разрушая тем самым защитную оболочку нашей планеты. Происходит *истощение озонового слоя*, и возникают так называемые «озоновые дыры». Чрезмерное количество ультрафиолета вызывает рак кожи.

Загрязнение пресных вод. Масштабы использования водных ресурсов быстро увеличиваются. Это связано с ростом населения и улучшением санитарно-гигиенических условий жизни человека, развитием промышленности и орошаемого земледелия. Суточное потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды в сельской местности составляет 50 л на одного человека, а в городах — 150 л. Огромное количество воды используется в промышленности. На выплавку 1 т стали необходимо 200 м³ воды, 1 т никеля — 4000 м³. На производство 1 т бумаги требуется 100 м³ воды, на изготовление 1 т синтетического волокна — от 2500 до 5000 м³. Промышленность поглощает 85% всей воды, расходуемой в городах, оставляя на хозяйственно-бытовые цели около 15%. Ещё больше воды необходимо для орошения. В нашей стране ежегодно на орошение расходуется более 150 км³ воды, в то время как на все другие нужды — около 50 км³.



Рис. 126. Влияние пестицидов на развитие конечностей древесных лягушек

Использование воды рек Средней Азии на орошение привело к сокращению акватории Аральского моря.

Кроме высокого уровня расхода нехватка воды вызывается её растущим загрязнением вследствие сброса в реки отходов промышленного и особенно химического производства и коммунальных сточных вод. Бактериальное загрязнение и ядовитые химические вещества (например, фенол) приводят к омертвлению водоёмов. Вредные последствия имеет также молевой сплав леса по рекам, который часто сопровождается заторами. При длительном пребывании древесины в воде она теряет деловые качества, а вымываемые из неё вещества губительно действуют на рыб. В реки и озёра поступают и вымываемые из почвы дождями минеральные удобрения — нитраты и фосфаты, которые в больших концентрациях способны резко изменять видовой состав водоёмов, а также различные ядохимикаты — пестициды, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми-вредителями (рис. 126). Для аэробных организмов, обитающих в пресных водах, неблагоприятным фактором служит и сброс предприятиями тёплых вод. В тёплой воде кислород плохо растворяется и его дефицит может приводить многие организмы к гибели.

Постоянный *перерасход воды и загрязнение пресных вод* ведёт к опасности «водного голода», что обуславливает необходимость разработки мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

Загрязнение Мирового океана. Значительному загрязнению подвергаются воды морей и океанов. С речным стоком, а также от морского транспорта в моря поступают отходы: нефтепродукты, соли тяжёлых металлов, ядовитые органические соединения, в том числе пестициды. Памят-на катастрофа — взрыв нефтяной платформы в Мексиканском заливе (апрель 2010 г.), со временем переросшая в техногенную катастрофу сначала локального, а затем и большего масштаба, с негативными последствиями для экосистемы огромного региона на многие десятилетия вперёд.



Загрязнение морей и океанов достигает таких масштабов, что в ряде случаев выловленные рыбы и моллюски оказываются непригодными для употребления в пищу.

Антропогенные изменения почвы. Плодородный слой почвы формируется очень долго. В то же время ежегодно вместе с урожаем из почвы изымаются десятки миллионов тонн азота, калия, фосфора — главных компонентов питания растений. Основной фактор плодородия почвы — перегной (гумус), который содержится в чернозёмах в количестве менее 11% от массы пахотного слоя. На бедных почвах перегной ещё меньше. При отсутствии пополнения почв соединениями азота его запас может быть израсходован за 50—100 лет. Этого не происходит, поскольку культурное земледелие предусматривает внесение в почву органических минеральных удобрений. Азотные удобрения быстро расходуются, поэтому их приходится вносить ежегодно. При недостаточном применении органических и неорганических удобрений происходит *истощение почвы* и урожайность падает.

Неблагоприятные изменения в почве наступают и в результате неправильных севооборотов, т.е. ежегодного посева одних и тех же культур, например картофеля. Включение же в севообороты бобовых культур позволяет обогатить почву азотом. Посевы клевера и люцерны благодаря связыванию N_2 симбиотическими клубеньковыми бактериями задерживают в почве до 300 кг азота на 1 га. К числу антропогенных изменений почвы относится эрозия.

Эрозия — процесс разрушения и снос почвенного слоя потоками воды или ветром.

Широко распространена и наиболее разрушительна *водная эрозия*. Она возникает на склонах и развивается при неправильной обработке земли. Вместе с талыми и дождевыми водами с полей ежегодно уносятся в реки и моря миллионы тонн почвы. *Ветровая эрозия* наиболее сильно проявляется в южных степных областях нашей страны. Она возникает в районах с сухой обнажённой почвой, с изрежённой растительностью. Чрезмерный выпас скота в степях и полупустынях способствует ветровой эрозии и быстрому разрушению травяного покрова. Для восстановления слоя почвы толщиной 1 см в естественных условиях требуется 250—300 лет. Следовательно, пыльные бури приносят невосполнимые потери плодородного слоя почвы.

Значительные территории со сформированными почвами изымаются из сельскохозяйственного оборота вследствие открытого способа разработки полезных ископаемых, залегающих на небольшой глубине. Вырытые глубокие карьеры и отвалы грунта разрушают не только земли, подлежащие обработке, но и окружающие территории, при этом нарушается



гидрологический режим местности, загрязняются воды, почва и атмосфера, снижается урожай сельскохозяйственных культур. В районах подземной добычи полезных ископаемых формируется *провально-терриконовый тип местности*. Эти две особенности рельефа тесно связаны друг с другом. Провалы образуются в результате возникновения пустот под земной поверхностью, а терриконы — в тех местах, где складывается пустая порода.

Радиоактивное загрязнение биосферы. Проблема радиоактивного загрязнения возникла в 1945 г. после взрыва атомных бомб, сброшенных на японские города Хиросиму и Нагасаки. Испытания ядерного оружия, производимые до 1963 г. в атмосфере, вызвали глобальное радиоактивное загрязнение. Чернобыльская авария — разрушение 26 апреля 1986 г. четвёртого энергоблока Чернобыльской атомной электростанции, расположенной на территории Украины, носило взрывной характер, реактор был полностью разрушен, и в окружающую среду было выброшено большое количество радиоактивных веществ. В результате аварии из сельскохозяйственного оборота было выведено около 5 млн га земель, вокруг АЭС создана 30-километровая зона отчуждения, уничтожены и захоронены сотни мелких населённых пунктов. Повреждения АЭС в Японии в марте 2011 г. также привели к большому выбросу радиоактивных веществ.

При взрыве атомных бомб или разрушении ядерных реакторов возникает очень сильное ионизирующее излучение, радиоактивные частицы рассеиваются на большие расстояния, заражая почву, водоёмы, живые организмы. Многие радиоактивные изотопы имеют длительный период полураспада, оставаясь опасными в течение всего времени своего существования. Все эти изотопы включаются в круговорот веществ, попадают в живые организмы и оказывают губительное действие на клетки. Очень опасен стронций-90 вследствие своей близости к кальцию. Накапливаясь в костях скелета, он служит постоянным источником облучения организма. Радиоактивный цезий (Cs_{137}) сходен с калием, его в больших количествах обнаруживают в мышцах поражённых животных. Исследования показали, что в организме эскимосов Аляски, питающихся мясом северных оленей, содержится цезий-137.

У ядерных взрывов любого происхождения есть ещё одна отрицательная сторона. При ядерном взрыве образуется громадное количество мелкой пыли, которая долго держится в атмосфере и поглощает значительную часть солнечной радиации. Расчёты отечественных учёных, подтверждённые специалистами разных стран мира, показывают, что даже при ограниченном, локальном применении ядерного оружия образовавшаяся пыль будет задерживать большую часть солнечного излучения. Наступит длительное похолодание («ядерная зима»), которое неизбежно приведёт к гибели всего живого на Земле.



В настоящее время практически любая территория планеты от Арктики до Антарктиды подвержена многообразным антропогенным влияниям. Очень серьёзный характер приобрели последствия разрушения природных экосистем и загрязнения окружающей среды.

Вся биосфера находится под всё усиливающимся давлением деятельности человека, поэтому актуальной задачей становятся природоохранные мероприятия.



Запомните!

Кислотные дожди. Парниковый эффект. Истощение озонового слоя. Смог. Перерасход воды. Загрязнение пресных вод. Истощение почвы. Эрозия (водная, ветровая). Провально-терриконовый тип местности. Радиоактивное загрязнение.



Проверьте свои знания

1. Каковы причины и последствия загрязнения атмосферы?
2. Как возникают кислотные дожди? Какой вред они наносят природе?
3. В чём суть понятия «парниковый эффект»? Каковы причины его возникновения?
4. Каково значение озонового слоя планеты? Каковы причины его разрушения?
5. На какие нужды человек тратит наибольшее количество пресной воды?
6. Как происходит загрязнение вод Мирового океана?
7. Как сказывается хозяйственная деятельность человека на структуре и плодородии почвы?
8. Что такое эрозия? Какие виды эрозии известны?
9. Каковы основные причины радиационного загрязнения? В чём его опасность для живых организмов?



Подумайте!

1. Каковы причины возможного возникновения «водного голода» в ряде районов мира?
2. Какие предприятия вашей местности оказывают негативное воздействие на окружающую среду?



§ 33. Охрана природы и рациональное природопользование

Вспомните. Какие функции в природе выполняет лес? Какое значение имеют зелёные насаждения в городах? Каких редких животных своего региона вы знаете? В чём суть биологического метода борьбы с вредителями в сельском хозяйстве?

Как вы думаете. Какие существуют пути решения экологических проблем? Чем заповедники отличаются от заказников?

В наши дни проблема рационального использования природных ресурсов, охрана природы от губительных последствий хозяйственной деятельности человека приобрели огромное значение. Поиск альтернативных путей развития природы и общества привели к необходимости разработки концепции устойчивого развития. Общество в интересах настоящих и будущих поколений принимает необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и её недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды. Не будет преувеличением сказать, что охрана среды обитания людей — дело всего человечества.

Охрана природы и рациональное природопользование — проблема комплексная, и её решение зависит как от последовательного осуществления государственных мероприятий, так и от расширения научных знаний. Здесь будут рассмотрены лишь некоторые примеры, показывающие направленность и эффективность природоохранных мер.

Для вредных веществ в атмосфере законодательно установлены *предельно допустимые концентрации (ПДК)*, не вызывающие у человека ощутимых последствий. С целью предотвращения загрязнения атмосферы разработаны мероприятия, обеспечивающие правильное сжигание топлива, переход на газифицированное теплоцентральное отопление, установку на промышленных предприятиях *очистных сооружений*. Помимо предохранения воздуха от загрязнения, очистные сооружения позволяют экономить



Рис. 127. Сооружения по очистке воды

сырьё и возвращать в производство многие ценные продукты. Например, улавливание серы из выделяющихся газов даёт возможность увеличить выпуск серной кислоты, улавливание цемента сберегает продукцию, равную производительности нескольких заводов. На алюминиевых заводах установка фильтров на трубах предотвращает выброс в атмосферу фтора.

Бытовые и промышленные сточные воды подвергаются механической, физико-химической и биологической обработке (рис. 127). Биологическая очистка заключается в разрушении растворённых органических веществ микроорганизмами. Вода пропускается через специальные резервуары, содержащие так называемый активный ил. Активный ил содержит микроорганизмы, окисляющие фенолы, жирные кислоты, спирты, углеводороды, нефть и т.д.

Очистка сточных вод не решает всех проблем. Поэтому всё больше предприятий переходит на новую технологию — *замкнутый цикл*, при котором очищенная вода вновь поступает в производство. Новые технологические процессы позволяют в десятки раз сократить расход воды.

Помимо строительства очистных сооружений, ведутся поиски *безотходных и малоотходных технологий*, при использовании которых образование отходов было бы сведено к минимуму. Этой же цели служат улучшение конструкции автомобилей, переход на другие виды топлива (сжиженный газ, этиловый спирт), при сжигании которого образуется меньше вредных веществ. Разрабатываются автомобили с электрическим двигателем для передвижения в пределах города.

Большое значение имеют правильная планировка городов и *зелёные насаждения*. Деревья очищают воздух от взвешенных в нём жидких



Конский каштан



Клён



Тополь

Рис. 128. Листья растений, хорошо поглощающих сернистый газ

и твёрдых частиц (аэрозолей), поглощают вредные газы. Например, сернистый газ хорошо поглощается листьями тополя, липы, клёна, конского каштана (рис. 128). Фенолы — сиренью, шелковицей и бузиной (рис. 129).

Охрана недр заключается прежде всего в предотвращении непроизводительных трат органических и минеральных ресурсов — их *комплексном использовании*. Например, много каменного угля теряется при подземных пожарах, горючий газ сгорает в факелах на нефтепромыслах. Разработка технологии комплексного извлечения металлов из руд позволяет получать дополнительно такие ценные элементы, как титан, кобальт, вольфрам, молибден и др.

Для повышения продуктивности сельского хозяйства громадное значение имеют *правильная агротехника* и осуществление специальных мероприятий по охране почвы. Например, борьба с оврагами успешно ведётся путём посадки растений — деревьев, кустарников, трав. Растения уменьшают скорость течения воды и защищают почву от смыва. Окультуривание оврагов позволяет использовать их в хозяйственных целях. Посев завезённой из Америки аморфы (рис. 130), имеющей мощную корневую систему, не только эффективно предотвращает смыв почвы:

Рис. 129. Листья растений, хорошо поглощающих фенолы

Бузина



Сирень



Шелковица





Рис. 130. Аморфа кустарниковая

само растение даёт бобы, имеющие высокую кормовую ценность.

Разнообразие посадок и посевов по оврагу способствует образованию стойких биоценозов. В зарослях поселяются птицы, что имеет немаловажное значение для борьбы с вредителями. *Защитные лесонасаждения* в степях препятствуют водной и ветровой эрозии полей. Развитие *биологических методов борьбы с вредителями* позволяет резко сократить использование в сельском хозяйстве пестицидов.

Сохранение животного и растительного мира. В настоящее время в охране нуждаются 2000 видов растений (рис. 131), 236 видов млекопитающих (рис.132), 287 видов птиц (рис. 133). Международным союзом охраны природы (МСОП) учреждена специальная Красная книга, в которой сообщаются сведения об исчезающих видах и даются рекомендации по их сохранению. Многие виды животных, находящиеся под угрозой исчезновения, сейчас восстановили свою численность. К ним относятся лоси, сайгаки, белые цапли, гаги.

Сохранению видов животных и растений способствует организация *заповедников* и *заказников*. Помимо охраны редких и исчезающих видов, заповедники служат базой для одомашнивания диких животных, обладающих ценными хозяйственными свойствами. Они служат также центрами по расселению животных, исчезнувших в данной местности, или целям обогащения местной фауны. В России хорошо прижилась североамериканская ондатра, дающая ценный мех. В суровых условиях Арктики успешно размножается овцебык, завезённый из Канады и Аляски. Восстановлена численность бобров, почти исчезнувших в нашей стране в начале века. Подобные примеры многочисленны. Они показывают,

Рис. 131. Редкие виды растений

Венерин башмачок

Ятрышник шлемоносный

Водяной орех (чилиим)





Обыкновенная кутора



Пятнистый олень



Амурский тигр

Рис. 132. Редкие виды млекопитающих



Розовая чайка



Дрофа



Белощёкая казарка

Рис. 133. Редкие виды птиц

что бережное отношение к природе, основанное на глубоких знаниях биологии растений и животных, не только сохраняет её, но и даёт значительный экономический эффект.

Охрана окружающей среды — поддержание устойчивого состояния биосферы, при котором её абиотические параметры не ухудшаются, а количество видов не сокращается. Развитие современного общества должно происходить без вступления в конфликт с природными законами.



Запомните!

Предельно допустимые концентрации (ПДК). Очистные сооружения. Технологии замкнутого цикла. Безотходные и малоотходные технологии. Комплексное использование ресурсов. Лесонасаждения. Заповедники. Заказники.



Проверьте свои знания

1. Сформулируйте: зачем и почему необходимы бережное отношение к природе и её охрана?
2. В чём значение рационального научно обоснованного природопользования для сохранения многообразия животного и растительного мира?
3. Что такое предельно допустимые концентрации веществ?
4. Каким образом можно сократить выброс вредных веществ предприятий в окружающую среду?
5. Какие древесные породы лучше всего очищают воздух от вредных примесей?
6. Какое значение имеют защитные лесопосадки?
7. Для чего создаются заповедники и заказники? В чём их различие?
8. Какое значение для природоохранных мероприятий имеет список животных и растений Красной книги?



Подумайте!

1. Почему необходимо создавать международные организации по охране природы и заключать международные соглашения по вопросам природопользования?
2. Какой вклад может внести каждый из нас в дело защиты природы?
3. Знание каких экологических законов и закономерностей обеспечивает возможность рационального природопользования?

ЗАДАНИЕ

Подготовьте сообщения об охраняемых территориях нашей страны. Какие редкие растения и животные там обитают?



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очень широк круг вопросов, с которыми мы познакомились в процессе учёбы, и это не случайно. Сложность и многообразие жизни, развивавшейся и усложнявшейся миллиарды лет, столь велики, что одни её явления мы только начинаем понимать, а другие ещё ждут изучения.

Возникновение жизни и функционирование живых организмов обусловлено естественными законами. Познание этих законов позволяет не только составить научную картину мира, но и даёт возможность использовать их для практических целей.

В настоящее время растёт количество непосредственных контактов биологической науки и социальной практики. Биология становится не только средством познания окружающего мира, но и мощной силой влияния на него. Возникают тенденции проектирования, конструирования и даже создания искусственным путём новых биообъектов: рекомбинантных молекул ДНК, генетически измененных вирусов, синтетических продуктов питания, био- и агроценозов. Актуализация генно-инженерных исследований — геновая, хромосомная, клеточная инженерия — позволила говорить о том, что в XXI столетии биология окончательно вступит в новый этап своего развития — биоинженерный.

Комплекс биологических дисциплин становится не только мощной производительной силой общества через развитие биотехнологий, но и выступает в качестве важнейшей основы существования производства и разработки системы рационального природопользования и возобновления природных ресурсов в целом. Подобный процесс принято называть экологизацией современной производственной практики. С другой стороны, основные идеи и принципы биологии, экологии в частности, входят в духовную культуру общества, способствуя формированию новых мировоззренческих установок и принципов, а также выработке концептуально нового фундамента взаимодействия общества и природы.

Настало время, когда от поведения каждого из нас — и на работе, и в часы отдыха — зависит сохранение и процветание окружающего нас мира. Исключительная способность живой природы к восстановлению создала иллюзию её неуязвимости к разрушительным действиям человека, безграничности её ресурсов. Мы показали, что это не так. Вся хозяйственная деятельность человека сейчас должна строиться с учётом принципов организации биосферы. Если убеждённость в этом возникла при работе с данным учебным пособием, значит, его задача выполнена.



УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

Австралопитеки 115

агроценоз 185

адаптации 54, 58, 59

антропология 108

ареал 33, 34

ароморфоз 65

архантропы 118

атавизмы 71

атмосфера 188

анабиоз 144

Биогеоценоз 174

биосфера 187

биомасса 177

биоценоз 129, 167

борьба за существование 24, 25

Вещество

— биокосное 187

— биогенное 187

вид 33

видообразование 50, 51

волны популяционные 40

Гастрея 89

генофонд 40

геохронологическая шкала 88, 89

гидросфера 190

гипотезы возникновения жизни 80

Дегенерация общая 67

дивергенция 26, 69

динамика популяции 162

дожди кислотные 207

дрейф генов 40

дриопитеки 112

«дыра озоновая» 208

Загрязнение 206, 208, 209

закон

— биогенетический 75

— зародышевого сходства 75

— ограничивающего фактора 148

— оптимума 146

Идиоадаптация 65

излучение радиоактивное 143

изменчивость наследственная 38

изоляция 33, 34, 42, 53

Коацерваты 82

конвергенция 70

конкуренция 154

консументы 174

концентрация предельно

допустимая 213

креационизм 6

критерии вида 35

кроманьонцы 120

круговорот веществ и энергии 174

Литосфера 190

люди

— древнейшие 118

— древние 118

— первые современные 120

Макроэволюция 64, 69

маскировка 57

миграция 35

микроэволюция 27, 32, 50

мимикрия 57

мутаулизм 156

Неандертальцы 118

неоантропы 120

ниша экологическая 170

номенклатура бинарная 32

ноосфера 200

Обмен веществ 133

окраска

— покровительственная 55



— предостерегающая 57
онтогенез 76
организмы
— гомойотермные 140
— пойкилотермные 139
органы аналогичные 70
— гомологичные 69
отбор естественный 23, 26, 44
— искусственный 18, 20
— движущий 46
— разрывающий 48
— стабилизирующий 45
Палеантропы 118
паразитизм 154
пирамида экологическая 176
популяция 35, 160
правило
— необратимости эволюции 76
— правило экологической индивидуальности 148
принцип
— биологического разнообразия 195
— корреляции 12
— отрицательной обратной связи 193
— цикличности 192
продуценты 174
прогресс биологический 65
пробионты 85
Равновесие динамическое 180
разнообразие видовое 194
раса 122
регресс биологический 65
редуценты 174
ритм биологический 150
рудименты 72
ряд филогенетический 75
Сеть пищевая 152
симбиоз 156

смог 208
собирательство 153
сообщество 167
структура экосистемы 174
сукцессия 181
Теория эволюции 6, 38
терморегуляция 139
трансформизм 6
Уровни организации 128
уровни трофические 175
учение о биосфере 187
— о естественном отборе 23
— об искусственном отборе 18
Фагоцителла 90
факторы экологические 138
филогенез 76, 87
фитоценоз 167
форма переходная 72
фотопериодизм 140, 150
функции живого вещества 190
Хищничество 153
Цепь пищевая 175
Человек прямоходящий 118
человек умелый 115
человек разумный 119
Эволюция 4, 85
экология 126
экосистема 130, 173
экотоп 167, 173
эрозия 210
эры 86
эффект
— «бутылочного горлышка» 40
— парниковый 208
Ярусность 168, 169



ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Бэр Карл Максимович 11, 25

Вейсман Август 10

Вернадский Владимир Иванович
135

Гаузе Георгий Францевич 155

Геккель Эрнст 75, 126

Дарвин Чарлз Роберт 4, 11, 14,
18, 23, 30, 108, 135

Кювье Жорж 12

Лайель Чарлз 13

Ламарк Жан Батист 7, 108

Левенгук Антони Ван 144

Либих Юстус 148

Линней Карл 32

Мечников Илья Ильич 90

Мюллер Фриц 75

Опарин Александр Иванович 81

Раменский Леонтий Григорьевич
148

Рулье Карл Францевич 13

Северцов Николай Алексеевич 13

Северцов Алексей Николаевич 64

Сукачёв Владимир Николаевич
173

Четвериков Сергей Сергеевич 38

Шванн Теодор 11

Шмальгаузен Иван Иванович 45,
64

Уоллес Альфред 30



ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел I. ЭВОЛЮЦИЯ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Глава 1. Теории эволюции

§ 1. Теория эволюции Жана Батиста Ламарка	6
§ 2. Предпосылки возникновения дарвинизма.....	11
§ 3. Учение Дарвина об искусственном отборе	18
§ 4. Учение Дарвина о естественном отборе	23

Глава 2. Микроэволюция

§ 5. Критерии и структура вида. Популяция	32
§ 6. Факторы эволюции	38
§ 7. Формы естественного отбора	44
§ 8. Образование новых видов	49
§ 9. Приспособленность — результат взаимодействия факторов эволюции	54

Глава 3. Макроэволюция

§ 10. Главные направления эволюционного процесса.....	64
§ 11. Доказательства эволюции органического мира.....	69

Глава 4. Возникновение и развитие жизни на Земле

§ 12. Современные представления о возникновении жизни	80
§ 13. Развитие жизни на Земле в архейскую и протерозойскую эры ...	86
§ 14. Развитие жизни на Земле в палеозойскую эру	93
§ 15. Развитие жизни на Земле в мезозойскую и кайнозойскую эры	100

Глава 5. Происхождение и эволюция человека

§ 16. Положение человека в системе животного мира	108
§ 17. Предшественники человека.....	112
§ 18. Этапы эволюции человека	117
§ 19. Человеческие расы.....	122

Раздел II. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Глава 6. Экологические связи и организация жизни

§ 20. Уровни организации живой материи	128
§ 21. Организмы как открытые системы	133

**Глава 7. Факторы среды и живые организмы**

§ 22. Роль абиотических факторов среды в жизни организмов	138
§ 23. Общие законы действия факторов среды на организмы	146
§ 24. Биотические связи	152

Глава 8. Популяции, сообщества и экосистемы

§ 25. Популяции	160
§ 26. Сообщества	167
§ 27. Экосистемы.....	173
§ 28. Причины устойчивости и смены экосистем	180
§ 29. Биосфера	187
§ 30. Основные законы устойчивости живой природы.....	192

Глава 9. Рациональное природопользование и охрана природы

§ 31. История взаимоотношений человека с природой	198
§ 32. Последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды	206
§ 33. Охрана природы и рациональное природопользование	213

<i>Заключение.....</i>	<i>219</i>
------------------------	------------

<i>Указатель терминов</i>	<i>220</i>
---------------------------------	------------

<i>Именной указатель</i>	<i>222</i>
--------------------------------	------------