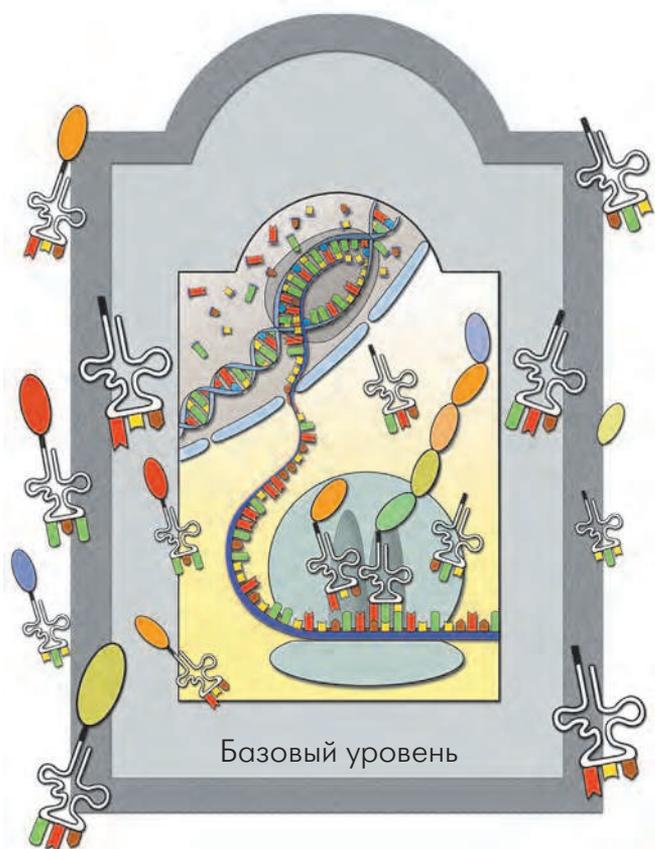


Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»

А.А. Вахрушев, О.В. Бурский, А.С. Раутиан,
Е.И. Родионова, М.Н. Розанов

БИОЛОГИЯ

10–11 классы



Москва
БАЛСС
2015

УДК 373.167.1:57+57(075.3)
ББК 28.я721
В22

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»



Совет координаторов предметных линий Образовательной системы «Школа 2100» –
лауреат премии Правительства РФ в области образования
за теоретическую разработку основ образовательной системы нового поколения
и её практическую реализацию в учебниках

На учебник получены положительные заключения по результатам
научной экспертизы (заключение РАН от 22.01.2014 № 000394),
педагогической экспертизы (заключение РАН от 20.01.2014 № 000395)
и общественной экспертизы (заключение НП «Лига образования» от 30.01.2014 № 219)

Руководитель издательской программы –
чл.-корр. РАО, доктор пед. наук, проф. *Р.Н. Бунеев*

Вахрушев, А.А.
В22 **Биология. 10–11 кл.** : учеб. для организаций, осуществляющих образова-
тельную деятельность. Базовый уровень / А.А. Вахрушев, О.В. Бурский,
А.С. Раутиан, Е.И. Родионова, М.Н. Розанов. – М. : Баласс, 2015. – 400 с. : ил.
(Образовательная система «Школа 2100»).

ISBN 978-5-85939-920-8

Учебник «Биология» («Общие закономерности») предназначен для учащихся 10–11 клас-
сов, изучающих предмет на базовом уровне. Соответствует Федеральному государственному
образовательному стандарту среднего общего образования. Является продолжением непре-
рывного курса биологии и составной частью комплекта учебников развивающей Образова-
тельной системы «Школа 2100».

Учебник для 10–11 классов знакомит учащихся с основами биологических наук и общими
закономерностями живой природы. Методический аппарат учебника ориентирован на про-
блемно-диалогическую технологию. Множество иллюстраций, схем, афористичные назва-
ния параграфов и рубрик создают мотивацию к обучению.

Может использоваться как учебное пособие.

УДК 373.167.1:57+57(075.3)
ББК 28.я721

Данный учебник в целом и никакая его часть не могут быть
скопированы без разрешения владельца авторских прав

ISBN 978-5-85939-920-8

© Вахрушев А.А., Бурский О.В., Раутиан А.С.,
Родионова Е.И., Розанов М.Н., 2012
© ООО «Баласс», 2012

КАК РАБОТАТЬ С УЧЕБНИКОМ

В этом году вы продолжите изучение биологии по учебнику Образовательной системы «Школа 2100». Он поможет вам в развитии умений (действий), которые необходимы в жизни. Эти умения, или действия (они называются **универсальными**), развиваются через специальные задания, обозначенные в учебнике кружками и фоном условных знаков разного цвета. Каждый цвет соответствует определённой группе умений:

-  развивать качества своей личности, формировать мировоззрение: собственные позиции, взгляды, принципы; признавать свои ошибки.
-  организовывать свою деятельность: ставить цель, планировать работу, оценивать результат; осуществлять свою жизненную стратегию;
-  работать с информацией: самостоятельно находить, осмысливать, фиксировать и использовать её;
-  общаться и взаимодействовать с другими людьми, владеть устной и письменной речью, понимать других, договариваться, сотрудничать.



Так обозначены задания, где нужно применить разные группы умений: **жизненные задачи и проекты**.

Ученики и учитель сами могут решить, как работать с учебником. Мы, авторы, лишь объясняем свой замысел.

Зачем нужно знать проблемы биологии

На протяжении нескольких лет вы изучали биологию, знакомились с удивительным разнообразием жизни, пытались понять устройство и функционирование живых организмов, причины их удивительной стойкости и приспособленности. В 10–11-м классах вам предстоит ещё раз вспомнить самые главные законы и закономерности биологии. Может оказаться, что в дальнейшем ваша связь с этой наукой будет не очень значительной. Тем не менее мы уверены, что изучение биологии поможет вам осознать ряд очень важных истин, которые помогут достойно прожить жизнь.

Первым условием счастья и пользы для окружающих является человеческое здоровье. Его сохранение – личное дело каждого и его моральный долг. Общество и государство призваны обеспечить социальные условия сохранения здоровья населения. Биологические знания – научная основа организации здорового образа жизни всего общества и каждого человека в отдельности.

Могущество современного человечества, а нередко и отдельного человека настолько велико, что может представлять реальную угрозу окружающей природе, являющейся источником благополучия и удовлетворения потребностей людей. Поэтому вся деятельность людей должна быть ограничена экологическим требованием (императивом) сохранения основных функций живой оболочки планеты – биосферы. Только его соблюдение может устранить угрозу самоистребления человечества.

С помощью этого учебника вы научитесь:

- 1) объяснять, как устроены и как функционируют живые организмы;
- 2) понимать, что все живые организмы вносят свой вклад в существование биосферы;

- 3) рассматривать природные процессы в развитии;
- 4) использовать в быту элементарные биологические сведения;
- 5) оценивать поведение человека с точки зрения здорового образа жизни;
- 6) оценивать возможные последствия хозяйственных и иных воздействий человека на окружающую среду.

Как мы рекомендуем учиться

Если вы занимались по учебникам Образовательной системы «Школа 2100», то уже знаете, что проблемный диалог – одна из наших ведущих образовательных технологий. Для тех, кто впервые с ней столкнётся, покажем её основные особенности. Этот алгоритм будет полезен вам также и в самостоятельной работе.

Обсуждение проблемы делит урок открытия нового знания на пять частей, обозначенных на плашках оранжевого цвета.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Ученики вместе с учителем формулируют проблему.

В начале каждого параграфа приведены факты или высказывания на общую тему. Их сравнение вызывает удивление, затруднение, разброс мнений, противоречие взглядов на одно и то же явление – то есть *проблемную ситуацию*. Учитель помогает ученикам осознать и сформулировать проблему: вопрос для исследования, или тему урока. Авторские варианты проблемных вопросов помещены на с. 396–397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

Ученики кратко повторяют базовые знания и вместе с учителем ищут пути решения проблемы.

Ученики предлагают свои *версии* (гипотезы) решения проблемы; определяют совместный *план* её решения; привлекают имеющиеся у них *знания* для решения проблемы.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Ученики под руководством учителя добывают знания для разрешения проблемы.

Познакомившись с заголовками рубрик текста, ученики получают представление об элементах проблемы. Затем они, индивидуально или группами, ищут в каждой рубрике ответы на проблемный вопрос и частные вопросы, имеющие отношение к проблеме. Учитель с помощью диалога подводит учеников к открытию новых закономерностей. Ученики сами формулируют выводы, понятия и правила.

Особое внимание стоит обратить на важные слова, которые выделены *курсивом* и **жирным** шрифтом.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Ученики формулируют новое знание и подводят итоги.

После того как ученики познакомились с материалом и сформулировали новое знание, полезно попытаться представить его в иной форме (символ,

схема, таблица, рисунок, вопрос, афоризм, ключевое слово, текст и т.д.). Затем ученики сверяют правильность своего открытия с выводом учебника и констатируют, что проблема решена.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

Вы применяете новые знания.

Получив новые знания, нужно попытаться применить их, выполняя задания индивидуально, в парах или группах. В учебнике предлагается много заданий на выбор, все их выполнять необязательно.

- – Так помечены задания, результат выполнения которых можно найти в тексте. Эти задания помогут освоить предметные знания и умения.

Остальные задания – продуктивные. Вы не найдёте ответов в учебнике в готовом виде, но в тексте и иллюстрациях есть подсказки, помогающие выполнить задание. Такие задания проверяют, сможете ли вы в жизни воспользоваться полученными знаниями, и поэтому могут оказаться более интересными.

Алгоритм самостоятельного выполнения продуктивного задания

1. *Осмыслите* задание (объясните своими словами, что требуется).
2. *Найдите* в тексте информацию, нужную для выполнения задания.
3. *Преобразуйте* информацию так, чтобы получить ответ.
4. *Запишите*, если необходимо, свой ответ в виде таблицы, текста, схемы и т. д. или подготовьте устный ответ, используя слова: «я считаю, что...», «потому что...», «во-первых...», «во-вторых...» и т.д.

Помимо обычных учебных заданий, применять новые знания учат **жизненные задачи** и **проекты**. Они могут выполняться как на уроках, так и во внеурочной деятельности.

Что такое жизненные задачи?

Это проблемы, с которыми вы можете столкнуться в жизни и для решения которых вам понадобятся разные знания и умения. В учебнике они оформлены следующим образом.

Название.

Ситуация. Условия, в которых возникла проблема.

Роль. Человек, в роли которого вы должны себя представить, решая проблему.

Результат. То, что нужно получить в итоге.

Что такое проект?

Это любое самостоятельное дело, которое предполагает:

- 1) оригинальный замысел (цель);
- 2) выполнение работы за определённый отрезок времени;
- 3) конкретный результат, представленный в итоге (предмет, сделанный своими руками; мероприятие, при условии, что оно подготовлено самими учениками; решение общественно значимой проблемы; результат самостоятельных исследований и др.).

Правила проектной деятельности:

1. Каждый может начать собственный проект.
2. Каждый может объединиться с другими в ходе работы над проектом.
3. Каждый может выйти из проекта, при этом не подводя других.
4. Каждый может не участвовать ни в одном проекте.

Как оценить свои учебные достижения?

Для этого надо освоить алгоритм самооценки:

1. Какова была цель задания (что нужно было получить в результате)?
2. Получен ли результат (достигнута ли цель)?
3. Выполнено верно или с ошибкой?
4. Выполнено самостоятельно или с чьей-то помощью (какой)?
5. Какую отметку можно поставить?

Что надо обязательно запомнить?

Ни один человек не может знать всё. Поэтому мы учимся добывать те знания, которые нужны для решения той или иной задачи. В учебнике много интересных сведений и заданий, но это предложенный **максимум** – то, что вы можете узнать и выполнить, если захотите. **Обязательный минимум** знаний, который необходим каждому, выделен особо.

В начале каждой главы перечислено то, чему необходимо научиться.

Главный вывод помещён в рамке. Этот вывод, как и весь текст учебника, не нужно пересказывать и тем более заучивать наизусть. Надо понять его смысл, чтобы выполнить задания.

В конце текста перечислены новые понятия:

Эти слова нужно понять и запомнить.
Эти слова достаточно понимать.

ДЛЯ САМЫХ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Текст, помеченный таким значком, читать необязательно. Об этом на уроке не спросят, а если спросят, то только самых любознательных.

Ориентироваться в учебнике вам помогут условные обозначения



– Работа в группе (паре).

МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

– Самостоятельная исследовательская работа.



– Задания, которые могут быть выполнены с использованием информационных технологий.

ВВЕДЕНИЕ



Во введении вы научитесь

характеризовать важнейшие черты и свойства живых организмов.

Для этого вы должны уметь:

- объяснять специфику биологии как науки;
- находить в проявлениях жизнедеятельности организмов общие свойства живого и объяснять их;
- характеризовать основные уровни организации живого;
- объяснять специфику методов, используемых при изучении живой природы.

Проверьте себя!

- Перечислите свойства, отличающие живые организмы от неживой природы.

§ 1. Предмет и отрасли биологии

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Лена: Мой брат собрался поступать на биологический факультет.

Подруга: Хочет стать ботаником?

Лена: Да нет. Говорит, что его интересует транскрипция и трансдукция.

Подруга: Да-а? А я думала, это что-то из лингвистики. Или из физики?..

Лена: Это из генетики. Не то из вирусологии...

- Какая проблема затронута в разговоре? Какие вопросы и знания имеют к ней отношение? Попробуйте

сформулировать эту проблему в общем виде, чтобы рассмотреть её на уроке. Сравните с вариантом авторов (с. 396).

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что изучает биология? (5–9 класс)
- Как она может накормить, защитить от болезней и нарушений окружающей среды? Вспомните с помощью схемы из учебника 9 класса.



1.1. Схема основных потребностей человека как живого существа

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Биология – наука о жизни

- Чем биология отличается от других наук?

Название биологии происходит от сочетания двух греческих слов: *bios* – жизнь и *logos* – слово, учение. Биология изучает все проявления

жизни: разнообразие, строение и функции, распространение, происхождение и развитие (индивидуальное и историческое) организмов, их связи друг с другом и с неживым окружением.

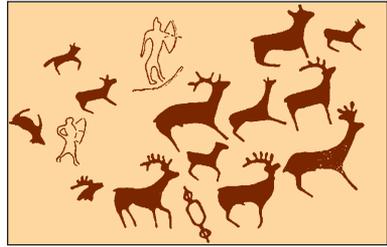
Начальные знания о живой природе восходят к опыту первобытных охотников и собирателей. Им необходимо было знать, какие растения, животные, грибы опасны или ядовиты, а какие – можно использовать в пищу, чем лечиться, из чего изготовить одежду, охотничьи снасти, орудия труда, из чего и где лучше строить жильё. Они учились отличать полезные растения и животных, запоминали их свойства, места обитания, особенности использования, способы возделывания или разведения. Эти знания передавались из поколения в поколение. Принято считать, что Аристотель (384–322 гг. до н.э.) и его ученик Теофраст (372–285 гг. до н.э.) впервые научно обобщили знания и заложили фундамент будущей биологии.

Жизнь на Земле чрезвычайно разнообразна. Известно около 350 тыс. видов растений и более 1,5 млн видов животных. Разнообразие грибов и прокариот плохо поддаётся оценке, так как наши знания о них далеко не полны. Учёные ежегодно описывают новые виды организмов, как ныне живущих, так и вымерших в минувшие геологические эпохи. Виды слагаются в многовидовые сообщества, составляющие самую активную часть биосферы Земли. Вместе с тем каждый вид представлен множеством отдельных особей. Многоклеточные организмы состоят из органов и тканей. Те, в свою очередь, состоят из множества клеток со сложным строением, обеспечивающим взаимодействие тысяч биологически активных веществ. Живые существа – самые высокоорганизованные (сложно устроенные) объекты из известных во Вселенной.

Отрасли биологической науки

- В чём причина подразделения биологии на частные отрасли?

Из-за необычайной сложности и многообразия объектов исследования биология в наше время превратилась в широкую, разветвлённую область науки. Невозможно представить себе специалиста, который одинаково хорошо ориентировался бы во всём массиве биологических знаний – от биосферных закономерностей до молекулярных тонкостей биосинтеза. Поэтому современная биология включает в себя сотни специализированных отраслей. Каждая из них посвящена углублённому изучению определённых биосистем, их строения и функций (табл. 1). Они взаимодействуют, перекрываются и дополняют друг друга.



1.2. Наскальная живопись первобытных охотников, изображающая успешную охоту

- Ознакомьтесь с отраслями биологии и способами их выделения. Какие отрасли, на ваш взгляд, не включены в таблицу?

Таблица 1

**Структура биологии как комплекса частных наук о живой природе.
Классификация по нескольким критериям**

Название	Предмет изучения
1. По объектам исследования	
Систематика	Многообразие организмов
Вирусология	Вирусы
Микробиология (бактериология)	Прокариоты (бактерии)
Микология	Грибы
Ботаника	Растения
Зоология	Животные
Протистология	Простейшие
Гельминтология	Паразитические черви
Энтомология	Насекомые
Арахнология	Паукообразные
Ихтиология	Рыбы
Герпетология	Земноводные и пресмыкающиеся
Орнитология	Птицы
Териология	Млекопитающие
Антропология	Человек
Палеонтология	Органический мир прошлых геологических эпох, изучаемый по ископаемым остаткам
2. По изучаемым свойствам живого	
Морфология	Форма и внешнее строение организмов
Анатомия	Внутреннее строение организмов, строение органов
Физиология	Процессы жизнедеятельности, функции организма, его органов и тканей
Эмбриология	Зародышевое развитие организмов
Экология	Взаимоотношение организмов друг с другом и с окружающей средой
Генетика	Наследственность и изменчивость организмов
Систематика	Классификация живых организмов
Биохимия	Химические процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организмов
Биофизика	Физические и физико-химические процессы в живых организмах

Название	Предмет изучения
3. По уровню организации исследуемых объектов	
Молекулярная биология	Молекулярный уровень организации
Цитология	Клеточный уровень организации
Гистология	Тканевый уровень организации
Анатомия и морфология	Организменный и органный уровни организации
Популяционная биология	Популяционный уровень организации
Биоценология	Биоценотический уровень организации
4. По областям практического применения	
Растениеводство	Разведение культурных растений
Животноводство	Разведение домашних животных
Селекция	Создание новых сортов растений, пород животных, штаммов микроорганизмов
Ветеринария	Лечение животных
Лесное хозяйство	Разведение лесов
Рыбоводство	Разведение рыб
Медицина	Профилактика и лечение болезней человека
Биотехнология	Получение полезных для человека продуктов биологическим способом

Существуют фундаментальные и прикладные биологические науки. Знание биологии необходимо экологам, агрономам, животноводам, врачам. Они также нужны и художникам-анималистам, и любителям птичьего пения, аквариумистам, голубеводам, кинологам, садоводам, слушателям и волонтерам зоопарков, заповедников, национальных и городских парков.

Роль биологии в создании научной картины мира

- Почему предмет, методы и теории биологии особенно важны для философского понимания мироустройства?

Биология изучает объекты наиболее сложные как по структуре, так и по числу одновременно влияющих на них факторов среды. Это послужило основой для совершенного развития сравнительного метода в биологии. Он позволил находить замаскированные закономерности и доказывать неочевидные взаимосвязи, открыв дорогу к рациональному объяснению таинственных явлений, составляющих чудо жизни. Тем самым биология, как никакая другая наука, расширила философские представления о познаваемости мира.

Создание Ч. Дарвином и А. Уоллесом теории биологической эволюции стало одним из важнейших открытий науки в целом. Теория эво-

люции не только стала ядром всех современных биологических наук, но и подтолкнула исследователей, работающих в других областях естественных наук, к поиску закономерностей развития материи. Так, во второй половине XX века была создана теория Большого взрыва и эволюции Вселенной в целом.

Наконец, биология соединила системы естественных и гуманитарных наук, ибо человек принадлежит одновременно и миру живой природы, и миру общественных отношений.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Биология – наука, изучающая жизнь во всех её проявлениях. Разнообразие и сложность организации живого привели к разделению биологии на множество специализированных отраслей, различающихся предметом исследования. Развитие биологии внесло определяющий вклад в создание научной картины мира.

Биология

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Должен ли биолог стесняться того, что на любой вопрос по биологии он не всегда может дать исчерпывающий ответ?
2. ● Как влияют на нашу жизнь достижения различных биологических наук?
3. ● Каков вклад биологии в создание научной картины мира?
4. ● Биолог, физик и химик поспорили о том, какая из наук самая важная для человечества. Приведите доводы каждого из них.

§ 2. Научное познание в биологии

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Обыватель: Я знаю, какими методами пользуются биологи. Они считают пестики и тычинки, определяют бабочек и смотрят в микроскоп.

Биолог: Это поверхностное мнение. Биологи используют все основные научные методы, видоизменяя их для решения своих специальных задач.

- Попробуйте определить проблему урока. Сравните свой вариант с авторским на с. 396.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое наука? Чем занимается биология? (§ 1)
- Какие методы научного познания вам известны? (Биология, 5–9 класс, жизненный опыт)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Что изучает наука

- Какие особенности отличают научный взгляд на окружающий мир?

Каждый предмет, каждое явление имеют объективное (рациональное) и субъективное (эмоциональное) содержание. Наука занимается только объективной стороной окружающего мира, в котором события объединены причинно-следственными связями. Поскольку одна причина всегда ведёт к одному и тому же последствию (в одинаковых условиях, разумеется), критерием истинности выявленных взаимосвязей служит их повторяемость. Поэтому учёных интересуют только воспроизводимые явления. По отношению к уникальным событиям (таким, как чудо Воскресения Христа) наука бессильна. Они познаются субъективно – через этику, религию, искусство.



Наука беспристрастна. Она исследует мир, открывает его законы и находит им применение. Благодаря ей человек занял особое место в биосфере, его численность измеряется миллиардами. Он создал всё: от эффективных лекарств и мобильного телефона до ядерной бомбы. Однако наш мир до сих пор не взорван и не отравлен только из-за высокого духовного развития человека, которое не позволяет ему использовать открытия науки во вред.

В науке каждый факт должен быть тщательно изучен, результаты исследований неоднократно проверены, а предположения доказаны. Важнейшая черта научных знаний – их воспроизводимость, т.е. то, что открыл один исследователь, может быть воспроизведено и проверено

другими. Это требование налагает строгие ограничения на методы получения научных знаний.

Метод наблюдения

- При каких условиях наблюдение обладает научной ценностью?

В основе научного знания лежит **наблюдение**. Основной его принцип – «смотреть и видеть». Смотрят все, но нужен опытный глаз учёного, чтобы выделить воспроизводимое явление и условия его осуществления.



Многие путешественники смотрели на коралловые острова, но только Ч. Дарвин «увидел» механизм их образования, который выдержал проверку временем.

Наблюдение само по себе ещё не метод. Оно становится методом тогда, когда сопровождается описанием всех существенных черт объекта. Поэтому метод наблюдения иначе называют *описательным*.



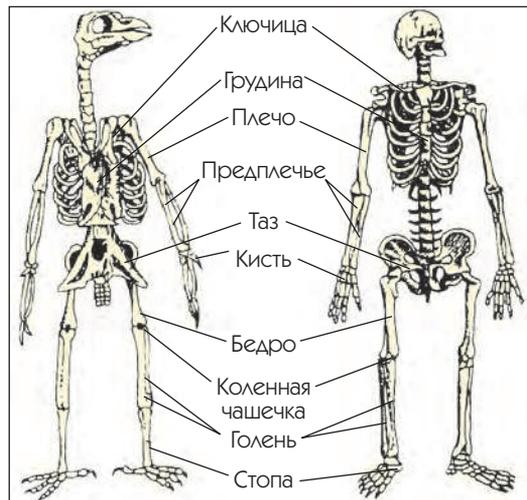
Первые учёные, получившие возможность использовать электронный микроскоп, увидели мир, в котором нет ни одного известного объекта. Только после многократного наблюдения и тщательного описания повторяющихся геометрических фигур они смогли соотнести увиденное со своими представлениями о микромире.

Как видим, описание должно быть настолько точным, чтобы с его помощью при повторном наблюдении можно было отличить тот же самый объект от другого. Только тогда наблюдение обладает научной ценностью.

Сравнительный метод

- Почему ни один биолог не может обойтись без сравнительного метода?

Сравнением называют такое сопоставление двух объектов, при котором выявляются черты их сходства и различия по качественным и количественным признакам. Сходство – это не что иное, как повторяемость признака (хотя бы у двух объектов). Наука занимается только повторяющимися явлениями, поэтому сравнение – это, как ни удивительно, основной метод исследования.



2.1. На этом рис. XVII века видно, что большая часть скелета птицы и человека состоит из гомологичных костей



Особое развитие этот метод получил благодаря сравнительной анатомии. Блестящий палеонтолог Ж. Кювье, убеждённый сторонник Божественного сотворения мира, в начале XIX в. путём научного сравнения ископаемых животных, сам того не желая, пришёл к выводу об изменяемости организмов.

Исторический метод

- Как этот метод позволяет изучать прошлое?

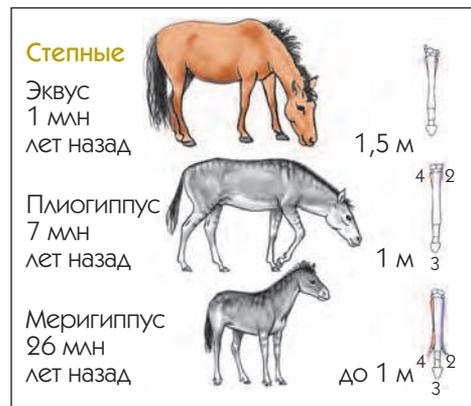
Этот метод (его также называют сравнительно-историческим) с помощью сравнения позволяет выявлять общее и особенное в исторических явлениях, определять этапы и направления их развития. По существу, это метод реконструкции событий прошлого, свидетелем которых не мог быть исследователь, а в естественных науках – как правило, никто из людей. В космологии, геологии и палеонтологии это часто события, свидетелями которых не мог быть никто из людей.

Реконструкция осуществляется по следам (остаткам) событий прошлого и их предполагаемым современным следствиям. В самом деле, если прошлое не имело ничего общего с настоящим, то оно не может быть реконструировано. Создавая реконструкцию, учёные исходят из допущения, что раньше действовали те же законы природы, что и сейчас. Это допущение известно как принцип актуализма: «Настоящее – ключ к познанию прошлого». Оно сформулировано английским геологом Ч. Лайелом (1797–1875).



Основываясь на ископаемых остатках скелетов, местах находок и данных о распространении природных зон в прошлом, российский зоолог В.О. Ковалевский (1842–1883) реконструировал эволюционный путь целого семейства млекопитающих. Впоследствии его методы получили широкое применение.

События далёкого прошлого (например, происхождение жизни) реконструировать труднее, поскольку современные условия сильно отличаются от условий, существовавших тогда. Невольно напрашивается вопрос: зачем нам знать прошлое, которого нынче нет и на которое мы даже повлиять не можем? Ответ даёт принцип причинности: причина предшествует следствию. Прошлое надо знать, чтобы иметь возможность влиять на следствия этого прошлого в современности и в будущем.



2.2. Палеонтологический ряд лошадей

Экспериментальный метод

- В чём преимущество экспериментального метода по сравнению с другими?

Эксперимент используют для подтверждения *гипотезы* – предположения, основанного на косвенных наблюдениях. Тщательно спланированный эксперимент включает две серии испытаний, которые различаются только одним: в опытной серии есть причина для проявления закономерности, а в контрольной – нет.



Например, на основании того, что большинство гусениц окрашено под цвет листьев, можно предполагать, что покровительственная окраска спасает их от поедания птицами. Предложим птице найти среди зелёных листьев гусениц с различной окраской: да, зелёные гусеницы дольше остаются не съеденными. Гипотеза получила подтверждение, но означает ли это, что она доказана? Пока ещё нет: возможно, зелёные гусеницы для этой птицы уступают по пищевым качествам. Возможно, в прошлом опыте она привыкла к пище другого цвета.

Прежде чем *гипотеза* будет доказана и превратится в *теорию*, экспериментатор должен много раз повторить испытания и убедиться, что опыт отличается от контроля только по одному признаку. Наконец, он должен провести новые эксперименты, чтобы распространить свой вывод на все классы объектов, связанных закономерностью (например, различные виды птиц и гусениц на различном фоне). Разнообразие биологических объектов очень велико, поэтому выявленные биологические закономерности обычно называют не законами, а *правилами*. Несмотря на это, многие из них имеют весьма устойчивый характер и пригодны для обоснованных предположений.

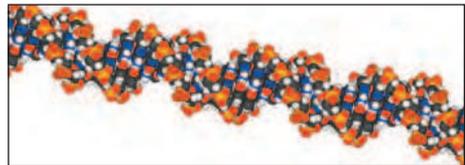
Метод моделирования

- Когда моделирование становится необходимым для исследователя?

Этот метод особенно важен в тех случаях, когда непосредственное исследование объекта затруднено его недоступностью: удалённостью, слишком крупными или микроскопическими размерами, слишком большой или малой длительностью. Особенно часто **моделирование** применяется тогда, когда изучаемый объект, процесс или явление невозможно отделить от других, взаимосвязанных и происходящих одновременно с ним, природных процессов.



Примерами моделей могут служить вещественные модели макромолекул; логические модели экологических кризисов прошлого; расчёты биохимических превращений, изменения численности популяций, поведения животных и многие другие.



2.3. Модель структуры ДНК

Идеальная модель должна содержать все существенные свойства моделируемых объектов и процессов, которыми они обладают в соответствии с теоретическими представлениями. Такая модель фактически представляет собой мысленный эксперимент, который должен показать правдоподобие выдвигаемой гипотезы о взаимодействии природных объектов не на них самих, а на искусственных копиях, обладающих теми же свойствами.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Наука изучает повторяющиеся события и причинно-следственные связи между ними. Только тот метод, который позволяет повторить любое исследование и получить объективный результат, не зависящий от личности исследователя, является научным. Биология использует все основные методы научного познания с учётом особенностей изучения свойств живого. Основные из них – разнообразие и сложность объектов; не последовательное, а одновременное действие многих закономерностей. Сравнение, выделение общего и наиболее существенного – характерная черта биологических исследований. Применение научных методов в биологии привело к господству идеи развития в естествознании.

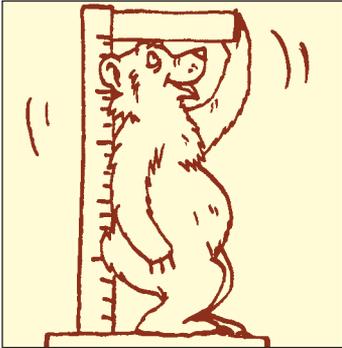
Методы: наблюдение, сравнение, исторический метод, эксперимент, моделирование. **Гипотеза.** Теория. **Правило**

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Какие методы научного познания используют биологи?
2. • В чём преимущества и недостатки каждого метода науки?
3. • Какие методы науки применяются в биологии чаще, чем в других естественных и общественных науках?
4. • Можно ли считать экспериментальный метод самым важным методом познания?

§ 3. Свойства живого

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Живой организм – проточная система: она поглощает и выделяет вещества. Однако это наблюдается и у работающего автомобиля.

Факт 2. Организм растёт, но растут и кристаллы.

Факт 3. Организм реагирует на внешние воздействия, но на это способна и лакмусовая бумага.

- Попробуйте определить предмет изучения биологических наук и опишите возникающие трудности. Сформулируйте эту проблему как тему урока и сравните с предложенной на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какими свойствами обладает любой живой организм? (9 класс)
- С помощью таблицы приведите примеры биологических явлений, относящихся к проявлению различных свойств живого.

Обмен веществ и превращение энергии	Жизнедеятельность организмов обеспечивается за счёт поступления вещества и энергии из внешней среды и их преобразования.
Особый химический состав	Углеводы, белки, жиры и нуклеиновые кислоты – основные химические компоненты живых организмов.
Клеточное строение	Клетка – элементарная единица структуры и функции подавляющего большинства живых организмов.
Самовоспроизведение	Непрерывность и преемственность жизни обеспечиваются размножением организмов.
Рост и развитие	С момента зарождения организму свойственны закономерные изменения: как правило, увеличение размера и усложнение структуры.
Раздражимость	Организм активно реагирует на факторы внешней среды изменением структуры и функций.
Приспособленность	Организмы обладают рядом свойств, благоприятных в определённой среде обитания.

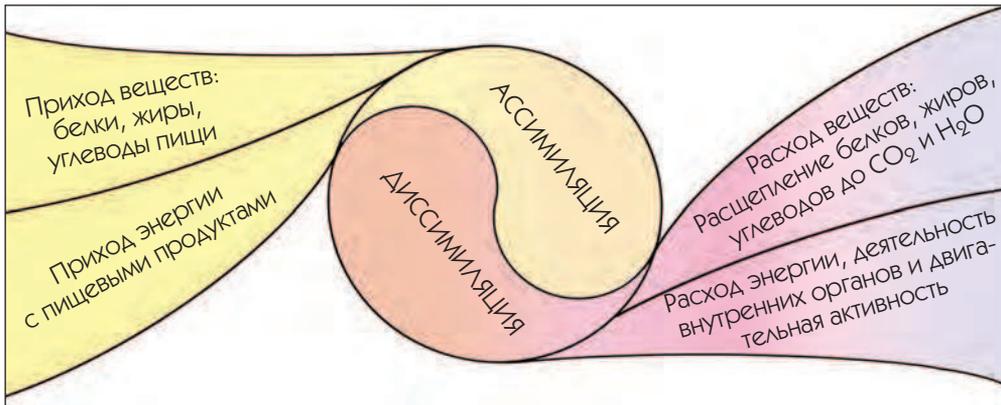
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Обмен веществ и превращение энергии

- Что происходит с веществом и энергией в живом организме?

Все живые организмы являются *проточными* системами: в них из окружающей среды непрерывно поступают вещества, содержащие

строительный материал и энергию. В результате жизнедеятельности они выделяют в окружающую среду отходы: конечные продукты распада веществ и рассеянную энергию.



3.1. Обмен веществ и превращение энергии на уровне организма

Способность к превращению веществ и энергии – один из характерных признаков живого. В природе существуют и другие проточные системы: река, морские течения, ветер, волны. Искусственные системы – от закипающего чайника до робота – тоже проточные. Они существуют за счёт потока энергии через систему, но живыми не являются. Важнейшее различие заключается в том, что в неживых системах почти вся энергия направлена на разрушение тел, а в живых значительная доля её используется для созидания. В живых организмах за счёт энергии поддерживается обмен веществ, направленный на усложнение структуры и необходимый для поддержания жизни.

Химический состав

- Обладают ли живые организмы уникальным химическим составом?

В прошлом учёные искали специфику живой природы в её особом химическом составе. Но нет, исследования показали, что она состоит из тех же элементов, что и неживая природа. Правда, оказалось, что по массе в живых организмах преобладают всего четыре элемента: углерод, кислород, азот и водород.

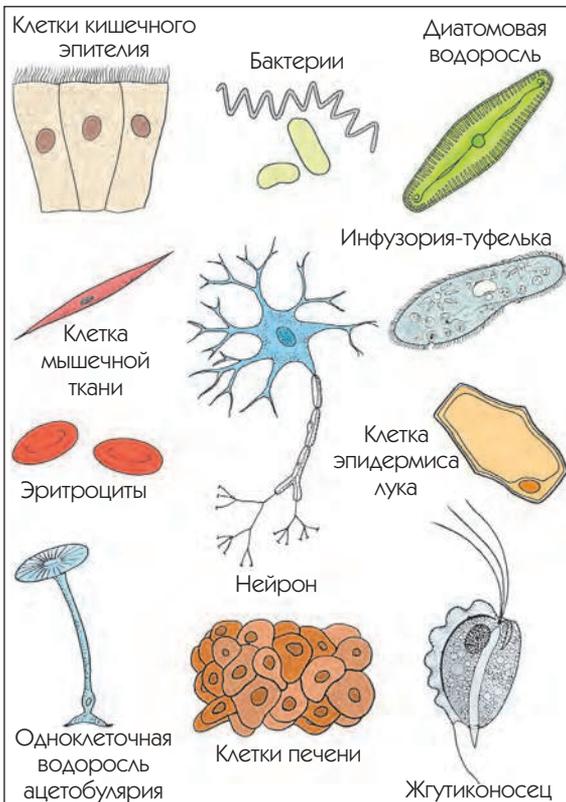
Следующим было предположение, что жизни свойственны особые химические соединения. Действительно, в составе организмов большинство веществ имеет в основе строения четырёхвалентный углерод. Они были названы органическими веществами, но в дальнейшем оказалось, что такие вещества встречаются и в неживой природе, хотя по происхождению они обычно соответствуют названию.

Выяснилось, что организмам свойственны очень крупные макромолекулы, с атомной массой 10 000 у.е. и много более. Но искусственные молекулы полимерных углеводов тоже могут иметь гигантскую атомную массу. Однако огромные макромолекулы белков (полипептиды) и нуклеиновых кислот (полинуклеотиды) в современном мире производятся только живыми существами, а вне организма быстро распадаются.

Клеточное строение

- В чём смысл клеточного строения организмов? Могут ли быть иные принципы их строения?

Все организмы представлены либо отдельными клетками (бактерии, одноклеточные водоросли, простейшие), либо сами состоят из клеток. Клетка – основная структурная и функциональная единица всего живого. Исключение составляют лишь вирусы, но и эти внутриклеточные парази-



ты могут воспроизводиться только внутри клетки-хозяина. Вне клетки нет жизни.

Клетка – это всеобщий способ ограничить и изолировать объём, в котором протекают определённые химические реакции, поддерживающие жизнь. Скорость пассивного передвижения химических реагентов (молекул, атомов, ионов) ограничена скоростью диффузии. Поэтому клетки малы: в организме человека, например, их средний размер составляет около 10 мкм (микрометров), т.е. 10^{-5} м, а вес – 1 нг (нанোগраммы), т.е. 10^{-9} г. Специализированные клетки могут быть и крупнее. Длина проводящих клеток в составе нервного волокна может измеряться метрами. Самая тяжёлая клетка – яйцо страуса – достигает полутора килограммов.

3.2. Разные формы клеток

- С чем связано различие в строении этих клеток?

Кроме того, клетка является единицей размножения и развития всех живых организмов.

Самовоспроизведение

- Можно ли представить жизнь без воспроизведения? Почему?

Это свойство важнее всех остальных. Оно объединяет регулярное самовоспроизведение различных живых систем, начиная макромолекулами и кончая целыми организмами. В основе самовоспроизведения лежит матричное копирование (воспроизведение по образцу) макромолекул ДНК и РНК. В строгом соответствии с кодом, заложенным в этих нуклеиновых кислотах, воспроизводятся белковые молекулы. Эти же процессы служат и основой для размножения. Размножение путём клеточного деления обеспечивает потенциальное бессмертие (превращение в потомков) одноклеточных форм жизни и потенциально безграничное воспроизведение смертных организмов.

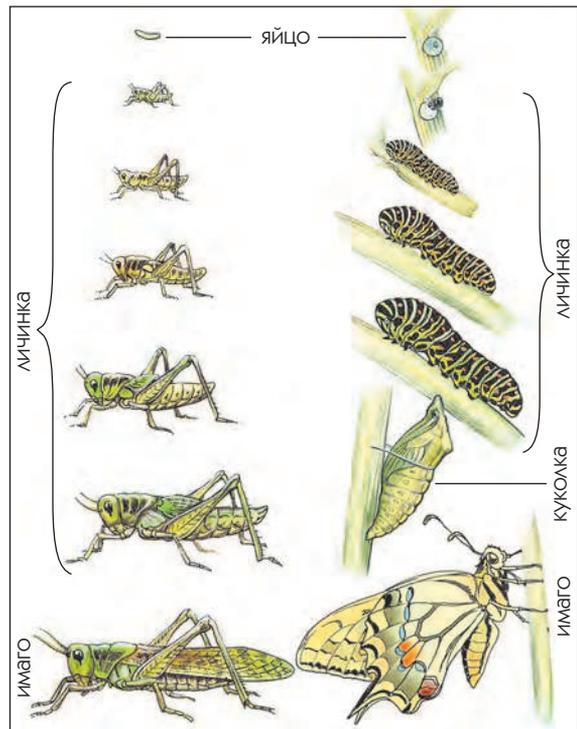
Однако не следует забывать, что способностью самовоспроизведения обладают и кристаллы.

Рост и развитие

- Объясните необходимость этих свойств для любого организма.

Рост и развитие любого организма основаны на способности клетки делиться. Перед делением обычно происходит удвоение ДНК и увеличение массы родительской клетки – иначе дочерние клетки не получились бы идентичными исходной.

С одной клетки начинается любой новый организм. Рост многоклеточных организмов происходит в результате увеличения числа клеток. Рост сопровождается развитием, в результате которого происходят качественные изменения организма. Эти изменения возникли не вдруг, а в результате постепенного усложнения



3.3. Насекомые с неполным (саранча) и полным (бабочка) превращением

- В чём различие роста и развития этих насекомых?

в долгом ряду поколений, т.е. в процессе эволюции. Следовательно, сходство индивидуального и исторического развития не случайно и отражает общее свойство живого. Разветвление путей исторического развития породило всё разнообразие органического мира.

Внешне похожие изменения иногда наблюдаются и в неживой природе: растут кристаллы, развиваются горные системы.

Саморегуляция

- Каким образом биологические структуры и процессы сохраняют своё постоянство?

Все живые системы обладают саморегуляцией – способностью поддерживать свои основные свойства и восстанавливать их в определённом диапазоне нарушений. Это свойство совершенно необходимо для таких сложных систем: ведь чем больше элементов они содержат, тем более вероятны неполадки хотя бы в одном из них. К счастью, все биологические процессы на том или ином уровне контролируются отрицательной обратной связью. Именно она удерживает ход процесса в определённых, достаточно узких пределах, сохраняя существенные свойства системы.

Однако саморегуляцией в более простой форме обладают и неживые системы. Пример этого – поддержание химического равновесия.

Раздражимость

- В каких ответных реакциях может выражаться раздражимость организмов?

Любая живая система, будь то клетка, организм или сообщество организмов, способна избирательно реагировать на различные воздействия. Это свойство получило название **раздражимости**. Ответные реакции на воздействия приспособительны: они повышают вероятность выживания в постоянно меняющихся условиях окружающей среды.

Конечно, объекты неживой природы тоже реагируют на воздействия, но их реакция пассивна. Она сводится к нарушению структуры и потере энергии.

Приспособленность

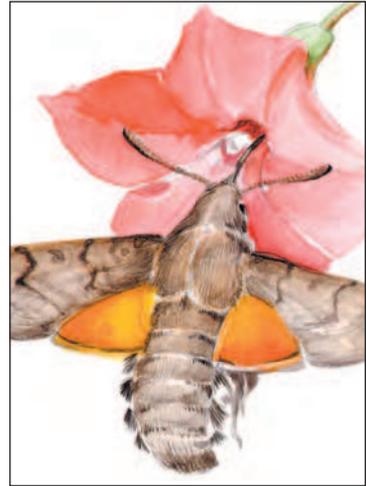
- Почему дикие растения и животные не нуждаются в уходе за ними?

Приспособленность организмов выражается в том, что особенности их строения, функций и поведения соответствуют их образу жизни и условиям среды обитания. Они используют эту среду с учётом присущих только ей конкретных свойств. Достаточно взглянуть на червя, рыбу или бабочку, чтобы понять в общих чертах, где и как они живут. Мало того, все части живого организма приспособлены

друг к другу, что обеспечивает им согласованную работу, а организму – целостность в реакциях на внешние воздействия.

Неживые системы инертны: их приспособление к условиям может выразиться лишь изменением положения, формы и потенциальной энергии. Так река приспособливает своё русло.

- Вспомните, какие жизненно важные функции растения и насекомого обеспечивают их взаимные приспособления друг к другу.



3.4. Бабочка-бражник пьёт нектар и одновременно опыляет цветок вьюнка

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Каждое отдельное свойство жизни – и даже некоторые их сочетания – можно найти и в неживой природе. Жизнь можно определить лишь множеством свойств. Тот факт, что каждое свойство живых систем можно встретить и в неживой природе, указывает на возможность происхождения живого из неживого.

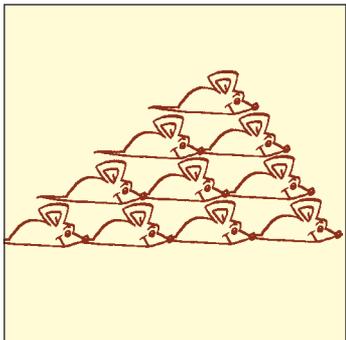
Свойства жизни: обмен веществ и превращение энергии, особый химический состав, клеточное строение, самовоспроизведение, рост и развитие, саморегуляция, раздражимость, приспособленность

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Какие свойства характерны для живых систем?
- Какая главная особенность химического состава живых организмов?
- Какое свойство живого, на ваш взгляд, наиболее важно?
- Какие другие свойства, характерные для живого, вы можете назвать?
- Приведите примеры объектов неживой природы, обладающих теми или иными свойствами живого.
- Ж. Кювье сформулировал принцип условий существования. Он гласит: всякое тело соединяет в себе свойства, обеспечивающие его существование. Как рассмотренные свойства подтверждают этот принцип?

§ 4. Уровни организации живой природы

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Молекулярный биолог: Мы занимаемся расшифровкой структуры белков в клетках опухоли лабораторных мышей...

Цитолог: Мы изучаем воздействие радиации на стволовые клетки доменной мыши...

Физиолог: Мы выявили особые функциональные возможности лёгких у эндемичного рода мышинных...

Популяционный эколог: В основе динамики численности мышевидных грызунов лежат популяционные циклы...

Системный эколог: Используя меченый азот, мы установили, что трофический уровень мышевидных более высок в лесных экосистемах...

- Найдите сходство и различие предмета исследования этих специалистов. Определите тему урока, объясняющую различие их взглядов на общий объект исследования. Сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие уровни организации выделяют биологи? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Размеры биологических систем

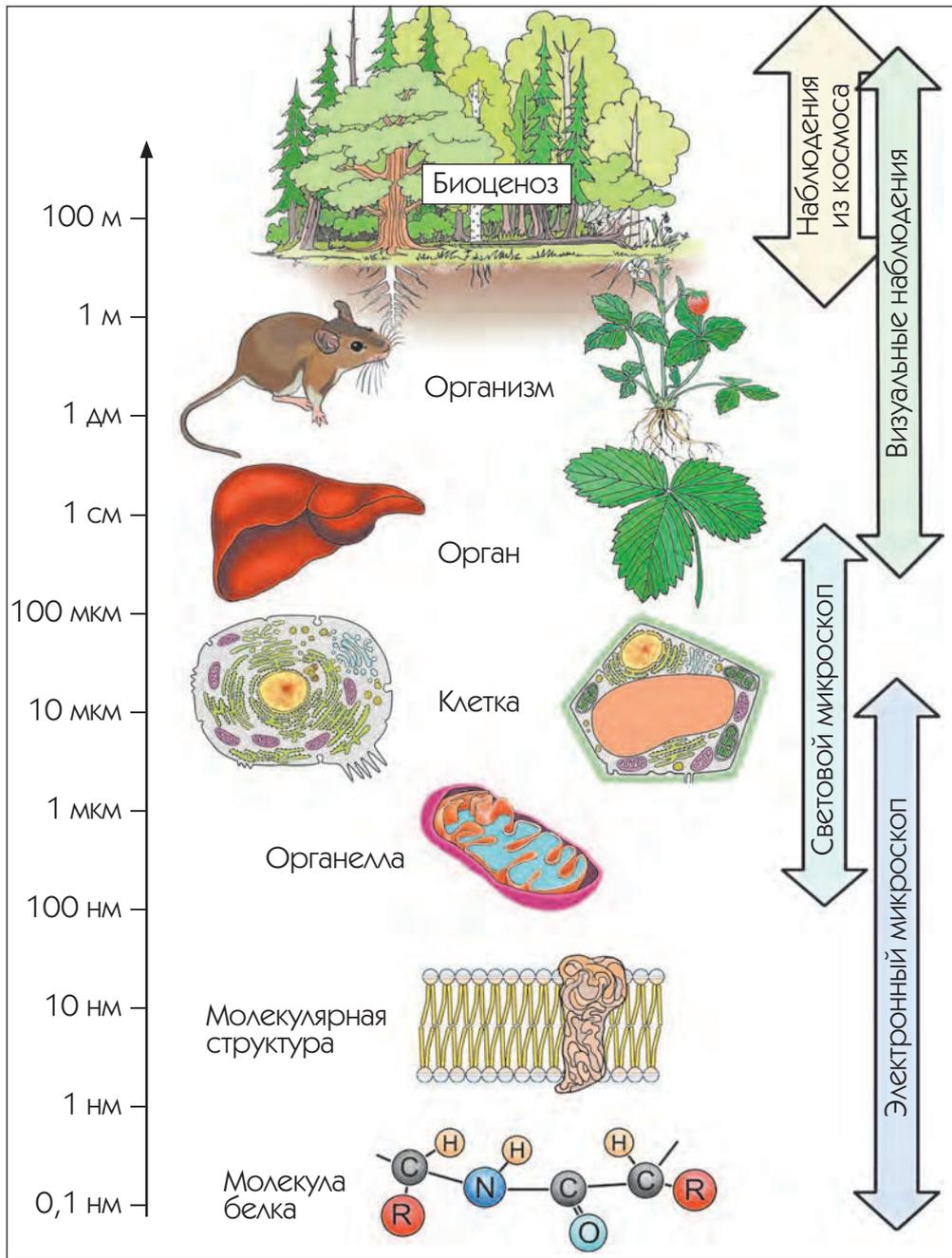
- По тексту и рисунку определите размеры биологических объектов. Почему однородные объекты различаются не более чем на три порядка? Какие физические законы для одних размеров важнее, чем для других?

Всё разнообразие и сложность природных объектов невозможно охватить взглядом. Размеры самого крупного из них (биосфера, около $1,5 \cdot 10^7$ м) и самого малого (вирион, около $1,5 \cdot 10^{-8}$ м) различаются в 10^{15} раз. Естественно, что их существование определяется различными физическими законами. На организм влияет всё – от космических лучей, гравитации и параметров вращения планеты до полярности молекул и прочности химических связей между отдельными их частями (рис. 4.1).

Закономерности зависят от масштаба

- Что такое уровень организации? Какие уровни существуют?

Наиболее тесные взаимосвязи и зависимости наблюдаются между объектами одного и того же или ближайших размерных классов. Зако-



4.1. Размеры природных объектов и способы их изучения

номерности взаимодействия между ними также распространяются в пределах определённого масштаба. В связи с этим биологические объекты подразделяют на несколько уровней организации.

Уровень организации – это размерный класс объектов, взаимодействия между которыми подчиняются общим закономерностям, зависящим от масштаба.

- По таблице определите, какие биологические процессы идут на каждом уровне организации и как они влияют друг на друга.

Уровни организации живой природы

Уровень организации		Объекты	Характерные процессы
Молекулярный		Биологические макромолекулы (нуклеиновые кислоты, белки, углеводы) и другие вещества (липиды, АТФ и т.п.).	Распад и синтез макромолекул в клетке, сборка и матричное копирование макромолекул.
Клеточный		Клетка – структурная и функциональная единица живого. Самый низший уровень организации, которому присущи все свойства живого.	Внутриклеточный обмен веществ и превращение энергии, деление клетки (митоз и мейоз), передача наследственной информации.
Организменный		Организм – целостная одноклеточная или многоклеточная живая система, способная к самостоятельному существованию. Многоклеточный организм образован совокупностью тканей и органов.	Проявление наследственных признаков. Обмен веществ, онтогенез, размножение. Поведение как взаимодействие со средой обитания.
Популяционно-видовой		Популяция – одновидовое сообщество организмов, способное к самовоспроизведению в течение многих поколений.	Поддержание непрерывной связи поколений. Микроэволюция. Формирование приспособлений к среде обитания.

Уровень организации		Объекты	Характерные процессы
Биогеоцено- тический		Биогеоценоз – совокупность всех живых и неживых природных компонентов на однородном участке суши или воды.	Регуляция круговорота веществ. Межвидовые взаимоотношения: хищничество, паразитизм, мутуализм.
Биосферный		Биосфера – самая большая экосистема, объединяющая в единый планетарный круговорот отдельные круговороты веществ каждой из экосистем.	Замкнутый глобальный круговорот веществ и превращение энергии. Глобальное воздействие человека на природу.

Иерархическая организация биологических систем

- Как связаны друг с другом различные уровни организации?

Крупные объекты включают в себя более мелкие элементы и являются выражением их общих свойств, возникших в результате их взаимодействия. Вместе с тем свойства элементов также зависят от того, к какой общности они принадлежат. В этом проявляется *иерархическая организация* – соподчинённость живых систем, их «вложенность» друг в друга.

Биосфера как населённая жизнью оболочка Земли охватывает всё множество биогеоценозов. Биогеоценоз, в свою очередь, складывается из местных популяций разных, экологически дополняющих друг друга видов. Популяция состоит из отдельных особей, сменяющих друг друга в ряду поколений. Элементарной системой, обладающей всеми основными свойствами живого, является клетка, которая может быть как отдельным организмом, так и частью многоклеточного организма. Но жизнь клетки основана на взаимодействии макромолекул – обязательных элементов проявления жизни на самом дробном уровне организации.

Таким образом, природные объекты и взаимосвязи между ними весьма различны по размеру и области действия. Для их изучения требуются специальные подходы и методы, разработкой которых занимаются различные разделы биологической науки. Вместе с тем свойства каждого объекта зависят от свойств его элементов и от принадлежности к системам более высокого уровня.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

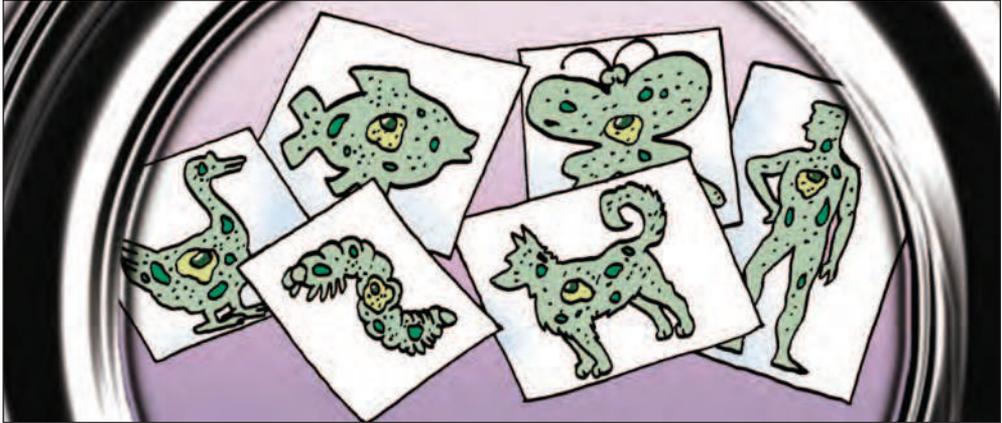
Живые системы принадлежат различным, иерархически соподчинённым уровням организации. Взаимодействия в пределах каждого уровня подчиняются общим закономерностям, зависящим от масштаба. Каждый организм, с одной стороны, состоит из множества элементов, с другой – является частью более крупных биологических систем. Поэтому он оказывается вовлечённым во множество биологических процессов одновременно и находится под их влиянием.

Уровни организации: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • На каких уровнях организации биологи изучают явление жизни?
2. • Как связаны друг с другом уровни организации?
3. • Используя содержание учебника (с. 26), определите, к какому уровню организации относятся рассматриваемые закономерности.
4. • Какие методы изучения применимы на различных уровнях? Какие отрасли биологии этим занимаются?
5. • К какому уровню организации можно отнести корову, в желудке которой обитают микроорганизмы, переваривающие растительную пищу?

ГЛАВА 1. КЛЕТКА КАК СТРУКТУРНАЯ ЕДИНИЦА ОРГАНИЗМА



В этой главе вы научитесь

объяснять строение и жизнедеятельность всего организма на основе изучения строения и функционирования клеток.

Для этого вы должны уметь:

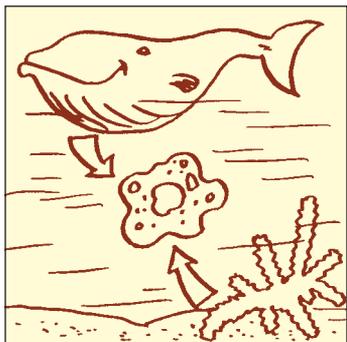
- характеризовать основные положения клеточной теории;
- перечислять основные органеллы клетки, характеризовать их функции и роль в жизнедеятельности целого организма, объяснять особенности строения клеток разных царств живых организмов;
- характеризовать обмен веществ в клетке: важнейшие особенности фотосинтеза, энергетического обмена и биосинтеза белка;
- характеризовать материальные основы наследственности и способы деления клеток;
- уметь пользоваться микроскопом, готовить и рассматривать простейшие микропрепараты.

Проверьте себя!

- В чём главная суть клеточной теории?

§ 5. Клеточная теория

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Обыватель: Что общего между китом и кораллом? Я уже не говорю о животных, растениях и бактериях – они же совершенно разные!

Биолог: Есть множество фактов, доказывающих общность устройства и происхождения всего живого на Земле, и один из главных можно увидеть с помощью простого микроскопа!

- Что имеет в виду биолог? Что микроскоп позволил учёным увидеть и изучить?
- На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Вспомните строение клетки.
- Что общего и какие различия у клеток прокариот и эукариот?
- Что общего и какие различия в строении клеток растений и животных?

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Цитология – наука о клетке

- Что изучает цитология?

Все живые существа на Земле состоят из клеток – микроскопических объёмных образований, отделённых от внешней среды полупроницаемой мембраной и заполненных вязким раствором органических и неорганических веществ. Тело простейших существ состоит из одной клетки. В многоклеточном организме каждая группа специализированных клеток выполняет особую функцию.

Наука о клетке – **цитология** (от греческих «цитос» – ячейка, клетка и «логос» – учение). Цитология изучает строение клеток как живых систем, функции отдельных компонентов клетки, процессы деления, приспособления к меняющимся условиям среды.

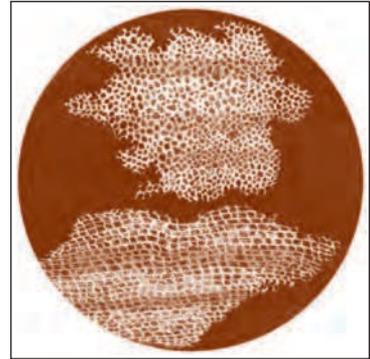
То и дело мы слышим в рекламе, что такое-то средство «обеспечит оздоровление организма на клеточном уровне». Зачастую это обман, но почему производители так хотят, чтобы им верили? Потому что все основные процессы обмена веществ действительно идут в клетках, и умение правильно влиять на них – залог управления здоровьем, продолжительностью жизни, свойствами живых существ. Учёные исследуют молекулярное строение клеток; проходящие в них химические реакции; закономерности взаимодействия клеток для того, чтобы

понять, каким образом из этих маленьких живых «кирпичиков» складываются очень сложные по устройству, но надёжные в работе организмы растений, животных и человека.

Становление клеточной теории

- Какими путями наука постигала единство клеточного строения всех организмов?

В 1663 году английский учёный Роберт Гук (1635–1703), пытаясь найти ответ на вопрос, почему кора пробкового дуба так хорошо держится на поверхности воды и не тонет, рассмотрел тонкие срезы этой ткани с помощью сделанного им микроскопа (рис. 5.1). Гук впервые употребил слово «клетка» для обозначения мелких, правильно расположенных пустот, на которые поделена пробка. Такое строение он счёл присущим только пробке.



5.1. Клетки коры дуба.
Рисунок Р. Гука

В 70-х годах XVII в. итальянский натуралист Марчелло Мальпиги и английский исследователь Неемия Грю описали «мешочки», или «пузырьки», в различных органах многих растений. Примерно в это же время голландский исследователь Антони ван Левенгук обнаружил клетки в тканях животных, описал сперматозоиды и одноклеточные организмы – инфузории и бактерии.

Микроскоп постепенно совершенствовался, и данные о клеточном строении живых организмов накапливались. В 1826 году российский исследователь Карл Бэр (1792–1876) описал яйцеклетку животных и показал, что все многоклеточные организмы развиваются из единственной клетки – зиготы, т.е. клетка не только *единица строения*, но и *единица развития* всех живых организмов. В 1831 году Роберт Браун описал клеточное ядро.

В 1838 году Маттиас Шлейден (1804–1881) предположил, что все растения состоят из клеток. А на следующий год Теодор Шванн (1810–1882) опубликовал труд, в котором показал сходство строения клеток животных и растений. Это была основа *клеточной теории*, ставшей фундаментом биологии.

Работы Рудольфа Вирхова (1821–1902), открывшего способ образования новых клеток путём деления, завершают формирование одной из важнейших теорий в биологии. Вирхов заключил, что *«всякая клетка – из другой клетки»*, и определил основные функции клеточного ядра и цитоплазмы.

Современная клеточная теория

- Пользуясь текстом, сформулируйте основные положения клеточной теории.

1. Клетка – *элементарная единица всего живого*: основа строения, функционирования, размножения и развития всех живых организмов.

2. Клетки всех организмов *сходны между собой в принципиальных чертах строения, использования и реализации генетического материала и передачи его в ряду поколений, по набору ключевых биополимеров и химическому составу, по способам хранения и использования энергии и основным проявлениям жизнедеятельности*.

3. Новые клетки образуются *только из клеток*, путём их деления.

4. *Взаимодействие* дифференцированных клеток обеспечивает целостность многоклеточного организма.

5. Клеточное строение свидетельствует о *единстве законов происхождения и развития* всего живого.

Многоклеточный организм – это сложная система функционирующих и взаимодействующих клеток. Связь их друг с другом сообщает целому организму новые свойства, не сводимые к сумме свойств составляющих его клеток. Все основные типы макромолекул и другие органические вещества клеток универсальны для всех живых организмов. Учёные предположили, что все они произошли от первобытной клетки, которая могла возникнуть около четырёх миллиардов лет назад. Этому гипотетическому одноклеточному организму даже дали имя – ЛУКА (от английской аббревиатуры LUCA, Last Universal Common Ancestor, что означает «последний универсальный общий предок»).

Методы цитологии

- Что можно разглядеть в световой микроскоп? Какие способы используют для изучения функций отдельных органелл?



5.2. Микроскоп Р. Гука

Диаметр клетки животных в среднем не превышает 10–20 мкм. Это примерно в пять раз меньше мельчайшей видимой частицы. Поэтому изучение клеток долгое время напрямую зависело от развития оптики. Вначале использовались микроскопы с одной линзой, т.е. просто лупы. Затем были созданы более сложные двухлинзовые приборы с окуляром и объективом. К первой половине XIX в. усовершенствования микроскопов позволили увеличивать изображение до 1000 раз. К этому времени цитология уже сложилась как новая отрасль биологии.

В 40-х годах прошлого столетия были разработаны мощные *электронные микроскопы*. Принцип действия электронного микроскопа тот же, что и светового, но вместо светового излучения в нём используется пучок электронов. Электронный микроскоп даёт возможность получить увеличение до 10^6 раз.



5.3. Конструкция светового микроскопа со временем видоизменилась

Метод *радиоактивного мечения* основан на введении в клетку радиоизотопов, излучение которых улавливают приборы или фотоэмульсия. Чтобы проследить в клетке за каким-либо веществом, можно включить в состав его предшественников радиоактивный изотоп, который по химическим свойствам не отличается от других изотопов того же элемента. По радиоактивному излучению можно установить местонахождение радиоактивного изотопа, что позволяет следить за помеченными им клеточными структурами.

Компоненты клетки разделяют методом *центрифугирования*. Мембраны клеток разрушают, полученную смесь помещают в специальную прочную пробирку и очень быстро вращают в специальном приборе – центрифуге. При этом более тяжёлые, или плотные, компоненты перемещаются ко дну пробирки быстрее, чем лёгкие. Разделяя слои после центрифугирования, учёные получают отдельные органоиды и детально изучают их.

Некоторые типы клеток, в том числе опухолевые, можно выращивать *в культуре* – в жидкой или полужидкой питательной среде, что существенно облегчает их изучение.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Цитология изучает строение и функции клеток и их частей. Клеточная теория определяет клетку как элементарную единицу всего живого. Тем самым она предполагает единство происхождения организмов и лежит в основе биологических знаний. Исследования клетки углублялись по мере совершенствования микроскопии и других методов цитологии.

Цитология. Клеточная теория

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Почему о клеточной теории можно сказать, что она лежит в основе биологических знаний?
2. ● Расскажите историю создания клеточной теории.
3. ● Назовите пять основных положений современной клеточной теории.
4. ● Как исследование клеточного строения живых организмов связано с развитием техники микроскопии?
5. ● Приведите примеры влияния усовершенствования техники исследований на развитие науки.
6. ● Какова связь клеточной теории с современной теорией эволюции?



● ● МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приготовление и описание микропрепаратов клеток растений

Положите в каплю воды на предметном стекле небольшой кусочек кожицы лука, снятой с внутренней поверхности сочной чешуи. Сверху накройте покровным стеклом и рассмотрите под микроскопом. Зарисуйте живые клетки. Найдите ядро.

При наличии цифрового микроскопа сделайте снимки результатов своей работы. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения.

§ 6. Неорганические вещества в клетке

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

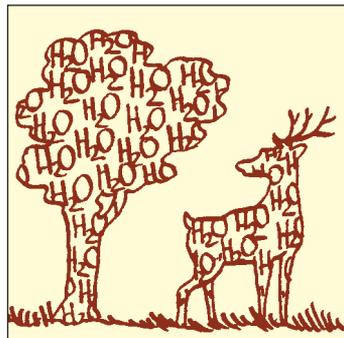
Обыватель: Все физические тела построены из одних и тех же химических элементов.

Биолог: Да, но я легко могу отличить останки живых организмов от неживых тел.

Обыватель: Какой-то фокус?

Биолог: Нет, это не фокус. Элементы одни и те же, а их соотношение другое.

- В чём противоречие? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.



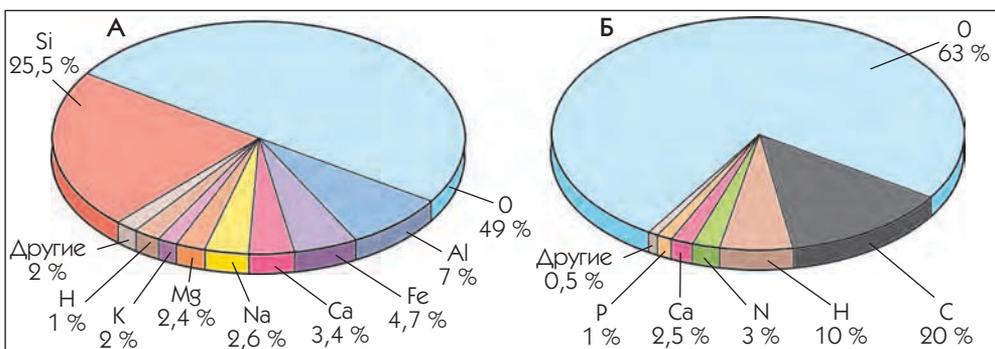
НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие элементы составляют основу живых организмов? (9 класс)
- Чем отличаются молекулы органических веществ от неорганических? (Химия)
- Почему в составе живых организмов преобладают кислород, углерод, водород и азот? (9 класс)
- Что такое теплоёмкость воды? (Физика)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Химический состав клетки

- Какие химические элементы среды накапливаются в организмах?



6.1. Распространение элементов в земной коре (А) и в организмах (Б)

- Почему соотношение химических элементов в живой и неживой природе различно?

Живая и неживая природа едины. Химических элементов, свойственных исключительно живой природе, не обнаружено. В составе живых организмов выявлено около 80 элементов – все химические элементы,

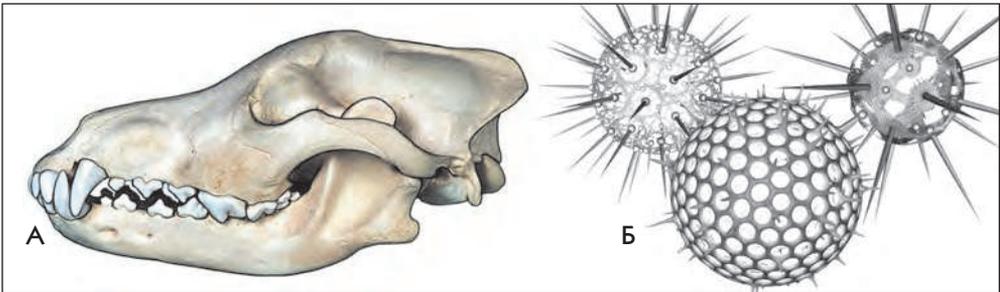
присутствующие на планете в сколько-нибудь значительном количестве. Около 20 из них необходимы для жизни и встречаются практически в каждой клетке.

Элементы, постоянно входящие в состав живых организмов, называются **биогенными**. Кроме кислорода и водорода, наиболее важны углерод, азот, кальций, калий, фосфор, магний, сера, хлор, натрий – *универсальные* составляющие всех организмов. Некоторые элементы важны лишь для отдельных групп организмов: бор – для растений, ванадий – для асцидий (низших хордовых) и т.п.

Макроэлементы

- Какую роль в организме играют макроэлементы?

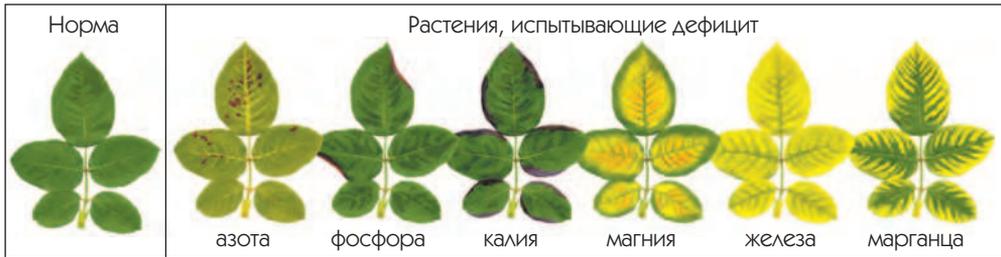
Все элементы, входящие в состав живых организмов, по их количеству можно условно разделить на три группы. Содержание **макроэлементов** составляет примерно 99% живой массы. При этом 96% приходится всего на 4 элемента: **О, Н, С, N**. Кислород и водород в составе воды образуют все растворы в организме. Вместе с углеродом они составляют структурную основу молекул жиров и углеводов. В сочетании с азотом и фосфором они необходимы для белков и нуклеиновых кислот.



6.2. Части живых организмов, образованных минеральными веществами: А – череп позвоночного животного, состоящий из карбоната и фосфата кальция; Б – раковины морских простейших радиолярий, построенных из сульфата стронция

- Нерастворимые соли каких элементов образуют скелеты животных и механические элементы тканей растений?

Другие макроэлементы, хотя и менее значительны по массе (приблизительно 3%), входят в состав большинства молекул. Это фосфор, сера, калий, магний, натрий, кальций, железо и другие. Их роль в обмене веществ велика, и они, как правило, участвуют в выполнении нескольких функций. Например, ионы кальция регулируют реакции, протекающие в цитоплазме клеток, а его нерастворимые соли входят в состав механических тканей (костей и др.). Потребность в макроэлементах велика: например, человеку необходимо получать их в количестве нескольких граммов в сутки.



6.3. Листья розы с признаками недостатка минеральных веществ

- Почему недостаток какого-либо элемента может привести к заболеванию и даже гибели организма?

Микроэлементы

- Почему микроэлементы так же необходимы, как макроэлементы?

К **микроэлементам** относят элементы, содержание которых в живом веществе мало, но они необходимы для жизнедеятельности. Для человека обязательны около 30 микроэлементов как металлов (алюминий, медь, марганец, цинк, молибден, кобальт и др.), так и неметаллов (иод, селен, бром и др.).

Микроэлементы входят в состав многих ферментов. Медь участвует в катализе окислительно-восстановительных процессов, а у моллюсков, кроме того, – в переносе кислорода в составе белка гемоцианина. Последний является функциональным аналогом нашего гемоглобина, который содержит железо. Значительное число ферментов с разнообразным механизмом действия содержат ионы цинка, марганца, кобальта и молибдена.

Бор влияет на рост растений, кобальт входит в состав витамина В₁₂, иод – в состав гормонов щитовидной железы, а фтор входит в состав костей и эмали зубов. Недостаток этих элементов ведёт к нарушениям обмена веществ и может сказываться на росте организмов (марганец, цинк, иод), цветении (железо, медь, кобальт), процессах тканевого дыхания (медь, цинк). Суммарная суточная доза микроэлементов для человека – менее 200 мг.

Таблица 1

Содержание некоторых химических элементов в клетке (в % на сухую массу)

Элемент	Количество
Кислород	65–75
Углерод	15–18
Водород	8–10
Азот	1,5–3,0
Фосфор	0,2–1,0
Натрий	0,02–0,03
Калий	0,15–0,4
Кальций	0,04–2
Магний	0,02–0,03
Сера	0,15–0,2
Хлор	0,05–0,1
Железо	0,01–0,015
Иод	0,0001

Присутствуют в организме и элементы, чья концентрация не превышает 0,000001%, поэтому их называют **ультрамикроэлементами**. Человек потребляет только несколько микрограммов этих веществ в сутки. К ним относятся уран, радий, золото, ртуть, бериллий, цезий и другие. К числу важных относят, например, ванадий, который, по-видимому, участвует в некоторых окислительных процессах. Фиксацию атмосферного азота бобовыми растениями стимулирует присутствие трёх ультрамикроэлементов: молибдена, кобальта и ванадия. Глобальное значение этого процесса трудно переоценить, поскольку именно таким путём неорганический азот становится доступным для большинства животных и растений на Земле.

Как видим, необходимость элемента не всегда отражается количеством, в котором он присутствует в организме. Так, содержание иода в клетках ничтожно мало, но его ничем нельзя заменить. При недостатке иода в продуктах питания задерживается рост и развитие детей.

В растения и микроорганизмы химические элементы поступают из почвы и воды, в организм животных и человека – с водой и пищей. Это преимущественно те элементы, которые находятся в окружающей среде в форме подвижных, легкоусвояемых (водорастворимых) соединений. На развитие и жизнедеятельность организмов негативно влияет как недостаток, так и избыток микроэлементов. Эти нарушения приводят к заболеваниям у растений и животных. Например, недостаток меди ведёт к высыханию вершин у плодовых деревьев; нарушению образования плодов у злаков, цитрусовых и других растений; расстройствам координации движений у овец. Избыток меди может вызвать у человека цирроз печени.

- Пользуясь таблицей, попробуйте объяснить различия в химическом составе морских и наземных животных и растений.

Таблица 2

**Содержание химических элементов в организмах
(в мг на 100 г сухого вещества)**

Химический элемент	Растения		Животные		Бактерии
	морские	наземные	морские	наземные	
C	34500	45400	40000	46500	54000
O	47000	41000	40000	18600	23000
N	1500	3000	7500	10000	7400
H	4100	5500	5200	7000	7400
Ca	1000	1800	150–2000	20–8500	510
Na	3300	120	400–4800	400	460
K	5200	1400	500–3000	740	11500
P	350	230	400–1800	1700–4400	3000
Cu	1	1,4	0,4–5	0,24	4,2

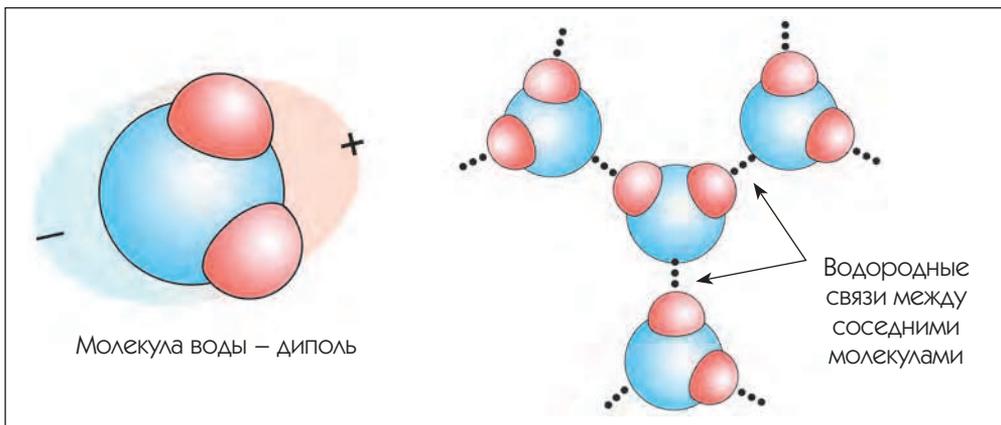
Многие элементы присутствуют в клетке в виде ионов, причём ионный состав внутри клетки и снаружи значительно различается. Так, в тканях человека концентрация ионов K^+ внутри клетки очень высока, а Na^+ низка. В межклеточном пространстве, наоборот, низка концентрация K^+ и высока – Na^+ . Образуется разность потенциалов, благодаря которой нервная или мышечная клетка может передавать элетрический сигнал (возбуждение). В погибшей клетке концентрация ионов по обе стороны мембраны выравнивается.

Вода

- Какие уникальные свойства воды превращают её в источник жизни?

Неорганическое соединение, которое живая клетка содержит в наибольшем количестве и без которого немисливо само существование жизни, – это вода. Её уникальные свойства определяются строением молекулы. Атом кислорода оттягивает на себя электронную плотность, и на нём образуется частичный отрицательный заряд, в то время как на атомах водорода – частичный положительный заряд. Неравномерное распределение зарядов делает молекулу полярной. Такую молекулу называют диполем.

Между положительным и отрицательным зарядами соседних молекул возникает электростатическое притяжение. Так образуется водородная связь, с помощью которой молекулы воды объединяются в пространственную решетку. Эти связи, более слабые, чем ионные или ковалентные, постоянно образуются и рвутся. Несмотря на слабость, они во многом определяют биологические свойства воды.



6.4. Образование водородных связей в воде

- Какие свойства приобретает вода благодаря водородным связям между молекулами?

Если в воду попадают другие молекулы, также несущие частичные заряды, молекулы воды взаимодействуют с ними. Эти вещества называются *гидрофильными*. Так, кристаллы поваренной соли «растаскиваются» в воде на ионы и растворяются. В других веществах связи между атомами оказываются более сильными, и молекулы воды растворяют их, «облепляя» их поляризованные участки, но не нарушая структуры молекул. Таким образом, вода – превосходный растворитель для веществ, содержащих заряженные или полярные группы (зачастую наряду с неполярными). Таковы аминокислоты, АТФ, ДНК, РНК, многие белки. Большинство биохимических реакций клетки протекает в водном растворе, например в цитоплазме. Участвующие в реакциях низкомолекулярные вещества свободно перемещаются (диффундируют) и взаимодействуют между собой, с биополимерами и структурами клетки.

Гидрофобные вещества, в противоположность гидрофильным, не имеют зарядов на поверхности молекулы и не взаимодействуют с молекулами воды. Образую водородные связи между собственными молекулами, вода как бы отторгает их. Поэтому, оказавшись в воде, молекулы неполярных веществ (например, липиды и в том числе жиры) притягиваются друг к другу, образуя плёнки или капли. Такие свойства воды обеспечивают возможность сборки клеточных мембран, формирования пространственных структур биополимеров и осуществления многих других процессов жизнедеятельности.

Другая важная роль воды – *транспортная*. Достаточно вспомнить движение соков по проводящей системе растений, кровеносную и лимфатическую системы животных.

Взаимодействия между молекулами воды определяют её высокую *теплоёмкость*. На разрыв связей между молекулами требуются большие затраты энергии. В результате на нагревание воды расходуется значительное количество тепла, но и охладить её не легче, чем нагреть. Поэтому вода предотвращает резкие колебания температуры, т.е. поддерживает тепловое равновесие в клетке и в организме в целом, а её текучесть обеспечивает равномерное распределение тепла между тканями организма.

Те же силы молекулярного взаимодействия определяют значительные затраты энергии на испарение. Поэтому испарение небольшого объёма воды способствует значительному охлаждению организма. Именно поэтому потоотделение, испарение воды со слизистых оболочек у собак и рептилий при дыхании с открытым ртом в жаркие дни значительно охлаждает организм.

Вода практически не сжимается. Она создаёт внутреннее гидростатическое (тургорное) давление в живой клетке, вызывающее растяжение клеточной оболочки и тем самым поддерживающее объём и *упру-*

гость клеток и тканей. Кроме того, вода принимает участие во многих химических процессах в клетке, например реакциях гидролиза; служит источником ионов водорода при фотосинтезе и смазочным материалом, например, в суставах.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Большая часть химических элементов входит в состав живых организмов, но их соотношение изменено характерным образом. Макроэлементы образуют основу: внутри- и межклеточные растворы, биополимеры и другие органические вещества клетки. Микроэлементы присутствуют в малых количествах; они обычно входят в состав ферментов. Вода – уникальное неорганическое вещество, обеспечивающее возможность «построения» клетки и протекания в ней биохимических процессов.

Биогенные элементы. Макроэлементы, микроэлементы

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Чем определяются существенные различия в химическом строении живых и неживых тел?
2. • Чем обусловлено повышенное содержание в организмах отдельных элементов?
3. • Чем определяются свойства воды?
4. • Каковы биологические функции воды?
5. • Почему стойко удерживается ионный состав внутри клетки?
6. • Приведите примеры заболеваний, связанных с нехваткой тех или иных химических элементов.
7. • Как связаны строение молекулы воды и её биологические функции?

§ 7. Углеводы и липиды – строительный материал и источник энергии клетки

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Обыватель: Основа клетки построена всего из четырёх химических элементов – как скудно! Каким же образом обеспечивается сложность её функций? Неужели за счёт разнообразия других, «неосновных» элементов?

Биолог: Дело не в разнообразии элементов, а в способах образования сложных веществ. Из небольшого числа элементов природа создала универсальный «конструктор» с неограниченным числом «игр» и «моделей»!

- В чём противоречие? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Почему углерод занимает особое место в живой природе? (9 класс)
- Какие основные классы органических соединений, входящих в состав организмов, вы знаете? (9 класс)
- Что такое полимер? (Химия)
- Что вы знаете о нуклеиновых кислотах? (9 класс; Химия)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Принципы строения органических веществ

- Какие особенности строения органических веществ обеспечивают разнообразие их структуры и функций?

Почти все молекулы клетки, исключая воду и небольшое число других молекул, представляют собой соединения углерода. Такой факт не может быть случайным. Действительно, углерод отличается от других элементов тем, что обладает исключительной способностью к образованию больших, даже огромных молекул. Небольшой по размеру атом углерода способен образовать четыре прочные ковалентные связи. Соединяясь друг с другом, атомы углерода образуют простые и разветвлённые цепи и кольца с различным числом звеньев. К ним присоединяются другие атомы, способные образовывать ковалентные связи. Основное число атомов, присоединяющихся к углероду, составляют водород, кислород и азот.

Такой способ построения молекул допускает существование огромного их разнообразия. Ещё более замечательно, что природой создан «молекулярный конструктор»: огромные молекулы не собираются каждый раз полностью заново, а распадаются на структурные блоки.

Существует ограниченный набор таких «деталей», используя которые в том или ином сочетании можно собирать макромолекулы с разнообразными свойствами.

Молекулы, построенные из одинаковых или очень похожих «деталей», называются полимерами, а звенья, из которых они состоят, – мономерами. В живых организмах известны три главных типа макромолекул: углеводы (полисахариды), белки и нуклеиновые кислоты. Мономерами для них, соответственно, служат простые сахара (моносахариды), аминокислоты и нуклеотиды. Макромолекулы составляют около 90% сухой массы клеток. Четвёртый тип органических молекул – это липиды.

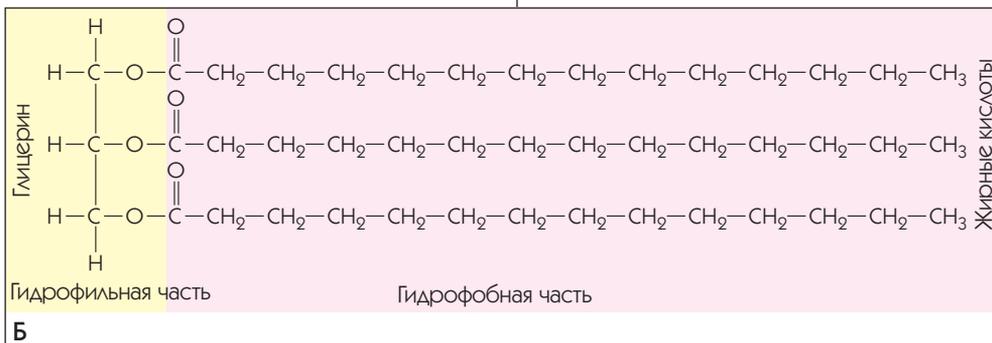
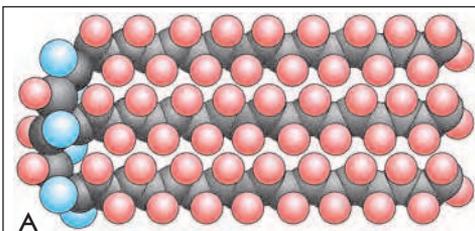
Липиды

- Какие функции в организме выполняют липиды?

Липиды – это сборная группа, объединяющая разнообразные гидрофобные соединения – жиры, воски, стероиды, витамины А, Д, Е, К и некоторые другие, которые могут быть выделены из живых тканей неполярными растворителями – эфиром, бензолом, но не водой.

Жиры – это эфиры глицерина и, как правило, трёх жирных кислот, каждая из которых обычно содержит длинную углеводородную цепь с чётным количеством углеродных атомов.

В воде молекулы жиров собираются вместе и образуют капельки. Такая капелька в клетке не может раствориться без участия специфических ферментов, поэтому жиры могут долго храниться в форме однородной массы как энергетический резерв. При расщеплении жирных кислот образуется вдвое больше энергии, чем при расщеплении такой же массы глюкозы.



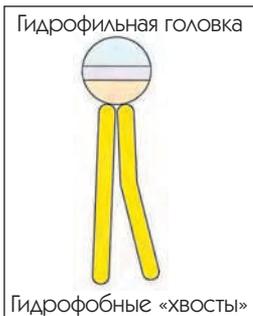
7.1. Молекула нейтрального жира: А – модель; Б – структурная формула

Когда в организм поступает избыток питательных веществ, они преобразуются в жир и откладываются на случай непредвиденных обстоятельств.

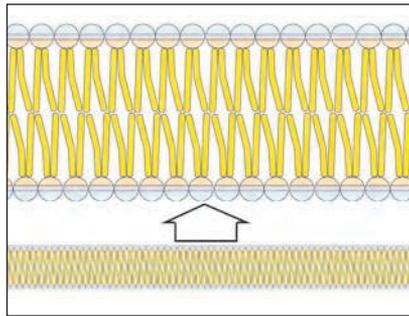
У позвоночных жир откладывается в клетках подкожной клетчатки, которая для обитателей холодных областей и водной среды играет также роль теплоизолятора. В воде жир обеспечивает ещё и высокую плавучесть. У сухопутных животных жировые телá (околопочечная капсула, жировая подушка около глаза) защищают органы от сотрясения. При метаболическом окислении жиров образуется вода, которая очень важна для обитателей пустыни – песчанок, тушканчиков, верблюдов.

Растения запасают энергию в виде масел – жиров, которые при обычной температуре (20°C) имеют жидкую консистенцию. Семена и плоды (например, семена сои и подсолнечника) очень богаты маслами. Листья растений покрыты слоем воска, который помогает сохранять воду в засушливые периоды.

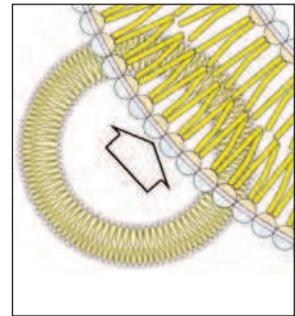
В фосфолипидах глицерин связан не с тремя, а с двумя цепями жирных кислот. Оставшееся свободное место занимает фосфатная группа, из-за которой один конец молекулы становится гидрофильным, а другой остаётся гидрофобным. При соприкосновении с водой все молекулы поворачиваются к её поверхности гидрофильным концом и образуют тонкую плёнку. Если такую плёнку погрузить в воду, она становится двухслойной: молекулы в ней обращены к воде гидрофильным полюсом, а друг к другу – гидрофобным. Это – почти готовая клеточная мембрана: тонкая плёнка, которой одеты все клетки и внутриклеточные органоиды.



7.2. Молекула липида



7.3. В воде молекулы липидов образуют двухслойную плёнку



7.4. Липидный пузырёк

Углеводы

- Какие функции в организме выполняют углеводы? Почему липиды не годятся на их роль?

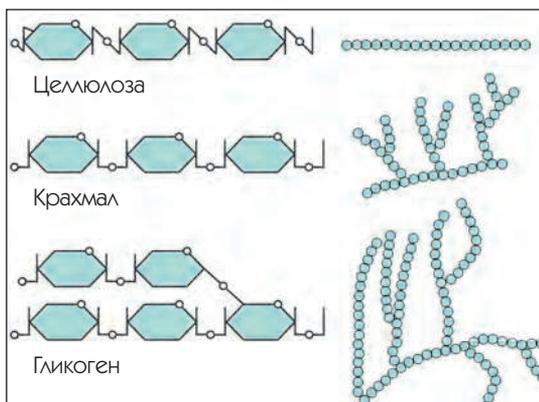
Название «углеводы» говорит само за себя: в их составе на один атом углерода приходится одна молекула воды, т.е. углеводы содержат кислород, водород и углерод в соотношении 1:2:1. Углеводы делят на две

группы: простые (моносахариды, дисахариды) и сложные (олигосахариды и полисахариды). Молекулы простых сахаров могут существовать либо в форме кольца, либо в виде цепи.

Простые углеводы (глюкоза, фруктоза, дисахариды) в большинстве клеток образуют легкодоступный запас энергии. Один из важнейших углеводов – сахар глюкоза, содержащий шесть атомов углерода ($C_6H_{12}O_6$). Это – конечный продукт фотосинтеза, источник энергии, высвобождаемой в процессе дыхания живых организмов, и, следовательно, начальное звено всей пищевой цепи в биосфере.

Соединяясь как основные строительные модули, молекулы простых сахаров, в основном той же глюкозы, образуют *сложные углеводы*: крахмал, гликоген. Большие молекулы практически нерастворимы в воде и, следовательно, не оказывают на клетку ни осмотического, ни химического воздействия. Их цепи могут компактно свертываться, а при необходимости – быстро и легко превращаться в простые сахара в результате гидролиза. Все это позволяет использовать их как резерв питательных веществ и легкодоступной энергии.

Другие полимерные углеводы (целлюлоза, хитин) используются как прочный строительный материал. Цепочки, состоящие из простых сахаров, могут присоединяться к молекулам других веществ, меняя их свойства: к белкам, образуя гликопротеиды, или к липидам, образуя гликолипиды. Молекулы простых сахаров (рибозы и дезоксирибозы) участвуют как блоки в построении крупных молекул нуклеиновых кислот.



7.5. Построение сложных углеводов из простых

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Большие и сложные органические молекулы, различные по строению и составу, складываются из небольших мономеров, общих для всех живых организмов. Сахара и липиды – источник строительного материала и энергии для клеток. Гидрофобные свойства липидов используются в структуре мембран и в создании долгосрочных энергетических запасов. Наоборот, растворимость сахаров в воде удобна для краткосрочных и мобильных запасов энергии. Длинные цепи сложных углеводов создают основу клеточных стенок и опорных структур клетки.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Охарактеризуйте понятия «полимер» и «мономер». Приведите примеры.
2. ● В чём отличие органических веществ от неорганических?
3. ● Назовите функции липидов.
4. ● Назовите функции углеводов.
5. ● Как вы думаете, какова роль липидов в формировании клетки в процессе эволюции?
6. ● вспомните, какую роль играют углеводы в организме человека.
7. ● вспомните, какую роль играют липиды в организме человека.
8. ● Подумайте, по какому признаку различаются моносахариды пентозы и гексозы.



7.6. Продукты, содержащие углеводы

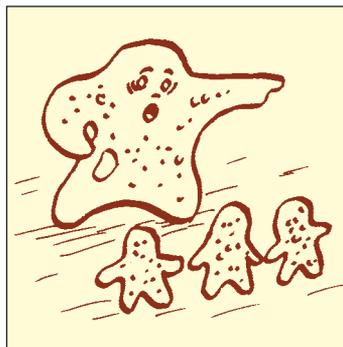
§ 8–9. Белки и нуклеиновые кислоты – главные макромолекулы

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Обыватель: Разве можно информацию о свойствах всего организма поместить в каждую клетку?

Биолог: Так оно и есть: в каждой клетке находятся молекулы, в которых «зашифрованы» все свойства организма. Вопрос в том, как организовать хранение и использование этой информации.

- В чём противоречие? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое наследственная информация? (9 класс)
- Что такое заменимые и незаменимые аминокислоты? (9 класс)
- Вспомните, какие белки участвуют в транспорте кислорода по телу, в пищеварении, регуляции функций организма и т.д. (8, 9 класс)
- Откуда живые организмы получают энергию? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

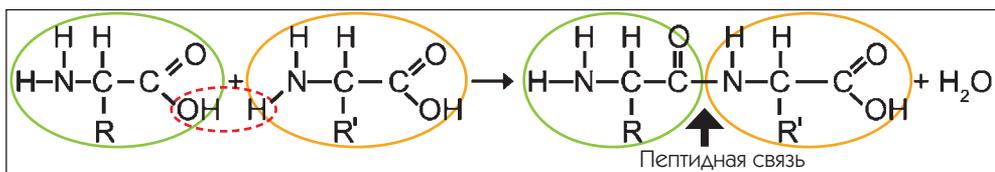
Белки: строение и уровни структуры

- Какие уровни структуры имеет молекула белка?

Полимерные макромолекулы белков построены из небольших мономеров – **аминокислот**. Как следует из их названия, все аминокислоты имеют аминогруппу NH_2 и карбоксильную (кислотную) группу COOH . Между ними располагается радикал (некая группа атомов – R), отличающий аминокислоту каждого вида от всех других. Среди радикалов – основные, кислотные, спиртовые (OH) или тиоловые (SH) группы и некоторые их комбинации, различные углеводороды.

Аминокислот, участвующих в построении большинства белков, всего 20 видов. Ковалентная связь, образуемая в результате химической реакции между аминогруппой одной аминокислоты и карбоксильной группой другой (с выделением одной молекулы воды, без участия радикала), называется *пептидной* связью. Аминокислотные остатки, т.е. аминокислоты, израсходовавшие аминогруппу и (или) карбоксильную группу, скреплены этими связями в длинные неветвящиеся цепочки – полипептиды. Наиболее часто встречающиеся полипептиды могут состоять из нескольких сотен, а иногда и тысяч аминокислотных остатков.

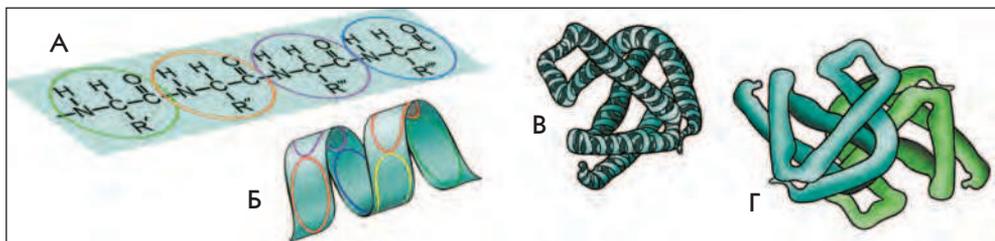
Соединяясь в различной последовательности, аминокислоты образовали бы бесконечное множество сочетаний, но только немногие случайные комбинации могли бы оказаться функциональными в организме. Например, далеко не все сочетания букв образуют осмысленные слова в каждом языке. К счастью, аминокислотные остатки в живой клетке соединяются в строго определённом порядке, что и определяет их функциональные свойства. Этот порядок – последовательность аминокислотных остатков в полипептидной цепи – называется **первичной структурой** белка.



8.1. Схема образования пептидной связи

Участки полипептидной цепи, в зависимости от расположения радикалов на аминокислотных остатках, изгибаются, принимают заданную форму и скрепляются водородными связями между NH- и CO-группами пептидного остова. Одни участки свиваются в спираль (рис. 8.2) или образуют складчатые слои, имеющие вид «гармошек». Другие участки плавно изгибаются или сохраняют линейную форму. Всё это – элементы **вторичной структуры** белковой молекулы. Она определяется первичной структурой.

Боковые радикалы некоторых аминокислот полярны: они несут на себе частичные заряды. Эти радикалы взаимодействуют друг с другом и с молекулами воды. В то же время гидрофобные (т.е. «стремящиеся прочь от воды») радикалы группируются вместе с себе подобными, образуя «гидрофобное ядро» внутри белковой молекулы. Если же гидрофобные радикалы окажутся снаружи, то такой белок будет избегать контактов с водой и «прятаться» среди других молекул, например в клеточных мембранах. В итоге из элементов вторичной структуры формируются более



8.2. Строение белковой молекулы: А – первичная структура; Б – вторичная; В – третичная; Г – четвертичная

крупные части (субъединицы) белковой молекулы: глобулы (комочки), фибриллы (волокна). Они составляют **третичную структуру**.

Многие зрелые белки состоят из нескольких субъединиц. Их укладка в пространстве называется **четвертичной структурой**.

Свойства белков

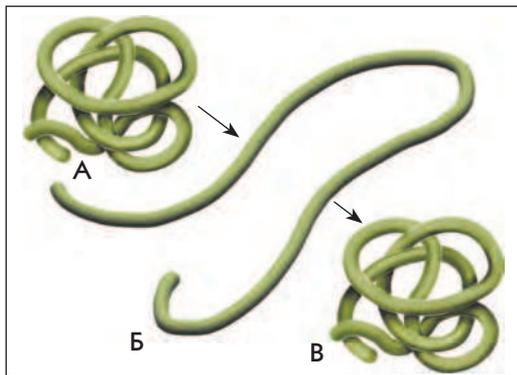
- Как свойства белка связаны с его структурой?

Сложная пространственная организация молекулы белка позволяет ей распознавать и связывать только определённые молекулы. Молекулы должны подходить друг другу, как ключ к замку.

Функция белка, таким образом, полностью зависит от формы молекулы. Эта уникальная форма определяется первичной структурой, значит, последовательность соединения аминокислот содержит полную информацию не только о структуре, но также и о функциях белка. Образно говоря, такая «информационная» молекула содержит в себе инструкцию по самосборке и всем дальнейшим действиям. Совместные действия различных белков обеспечивают обмен веществ – то, что, собственно, и называется жизнью.

Замена даже одной аминокислоты может привести к весьма значительным изменениям свойств белковой молекулы, в то время как замены многих других аминокислот могут не оказать существенного влияния на её функции.

Так как заряд радикалов на боках аминокислотной цепочки зависит от кислотности среды (рН), воздействие на белок кислотой приводит к нарушению сложной структуры молекулы. Цепь разворачивается несмотря на то, что последовательность аминокислот не нарушена. Этот процесс называется *денатурацией*. Денатурацию молочного белка казеина мы наблюдаем при скисании молока. Молоко сворачивается, так как рвутся нековалентные связи, стабилизирующие нормальную структуру казеина, и он становится нерастворимым. Денатурация может быть вызвана и другими факторами, например нагреванием. Если фактор, вызвавший денатурацию белка, не был слишком жёстким, при прекращении его воздействия белок может восстановить свою структуру. Обратимая денатурация



8.3. Обратимая денатурация белков:

А – молекула до денатурации; Б – денатурированный белок; В – восстановленная молекула



8.4. Биологические функции белков

белков лежит в основе большинства обратимых функций организма, например утомляемости мышц, раздражимости.

Белки выполняют разнообразные функции. Некоторые белки служат строительным материалом клетки, но большинство – ускоряют протекание химических реакций (и даже управляют их последовательностью), т.е. являются биологическими катализаторами, или *ферментами*. В конечном счёте белки обуславливают всё разнообразие свойств живых организмов.

Ферменты

- Каким образом фермент обеспечивает протекание биохимической реакции?

Ферменты – это биологические катализаторы, которые ускоряют химические реакции в тысячи раз. Каждый фермент катализирует определённую реакцию, поэтому даже в отдельной клетке содержатся сотни различных ферментов – столько, сколько требуется для обеспечения всех протекающих в ней процессов.

Чтобы крупные органические молекулы вступили в реакцию друг с другом, необходимо, чтобы функциональные группы этих молекул были обращены друг к другу и никакие другие молекулы не мешали их взаимодействию. Вероятность того, что молекулы сами сориентируются нужным образом, ничтожно мала. Фермент же присоединяет к себе

обе молекулы в нужном положении, снижает порог энергии, необходимой для начала реакции, и освобождает готовый продукт. Таким образом, фермент создаёт «режим наибольшего благоприятствования» для прохождения конкретной реакции.

Уникальная трёхмерная структура молекулы фермента не только позволяет соединять исходные продукты реакции и освобождать конечные. В определённом месте молекулы, как правило, имеется *активный центр*, где расположены аминокислотные радикалы, непосредственно участвующие в катализе. Подобно другим химическим катализаторам, они изменяются в ходе реакции, но мгновенно восстанавливаются. Например, фермент отдаёт свой ион водорода одному реагенту, но тут же получает взамен другой от следующего реагента. Так, фермент выполняет свою работу снова и снова, как станок на конвейере.

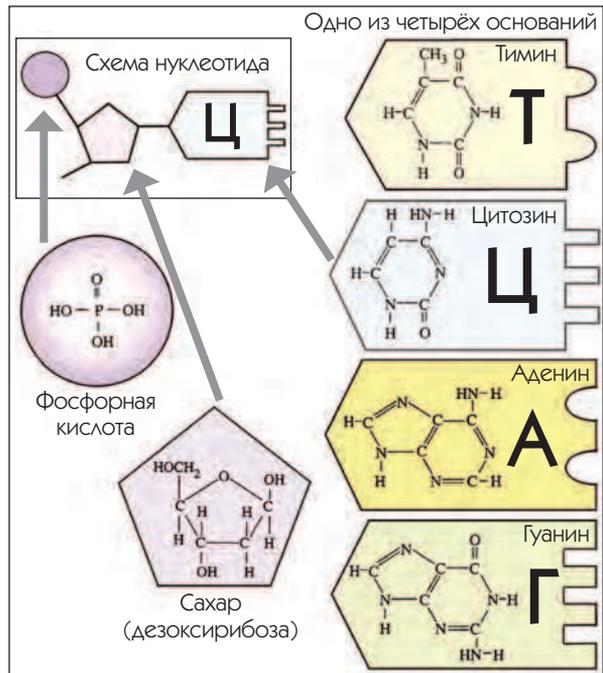
Ферменты – это совершенные «молекулярные машины», без которых невозможно представить существование клеточных живых форм. Полагают, что древнейшие ферменты на заре зарождения жизни на Земле состояли из РНК, а белки появились позже.

Нуклеиновые кислоты

- Из каких мономеров построены нуклеиновые кислоты?

Как и белки, **нуклеиновые кислоты** отличаются от других органических веществ тем, что в них строго определённая последовательность мономерных звеньев. Строительными блоками – мономерами – для огромных молекул нуклеиновых кислот служат **нуклеотиды**.

В отличие от аминокислот, нуклеотиды очень сходны по своим химическим свойствам и строению. Молекула нуклеотида состоит из трёх элементов: пятиуглеродного сахара, азотистого основания и остатка фосфорной кислоты. В зависимости от сахара в составе нуклеотидов различают два типа нук-



8.5. Структура нуклеотида – мономера ДНК

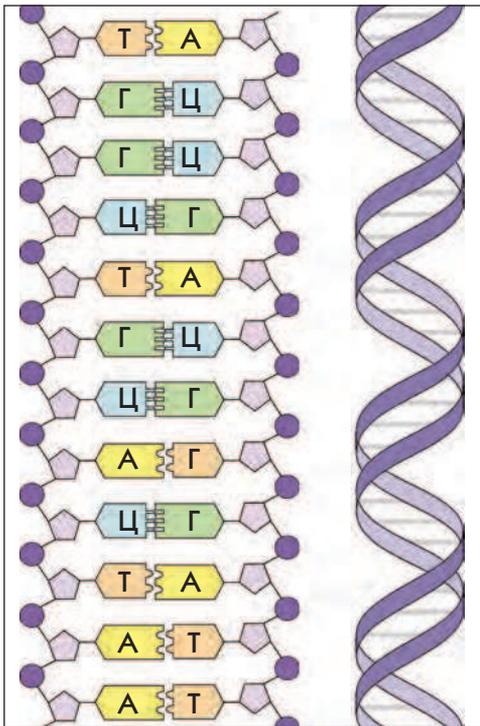
леиновых кислот. Рибонуклеиновые кислоты (РНК) содержат сахар рибозу, а дезоксирибонуклеиновые (ДНК) – дезоксирибозу. В составе нуклеотида может быть одно из пяти азотистых оснований (их обозначают по первым буквам). В их число входят два относительно крупных пурина: аденин (А) и гуанин (Г) и три мелких пиримидина: цитозин (Ц), тимин (Т) и урацил (У). В состав ДНК входят А, Г, Ц и Т, а в состав РНК – А, Г, Ц и У.

Сахара, связываясь фосфатными группами, образуют сахарофосфатный остов, на которой, как бусины, «нанизаны» азотистые основания.



Сахарофосфатный остов и, следовательно, цепи ДНК и РНК полярны, т.е. имеют начало и конец. Их соответственно обозначают 5' (пять-штрих) и 3' (три-штрих) – по номеру атома углерода пентозы терминального нуклеотида, не занятого связью с предыдущим или последующим нуклеотидом. Таким образом, 3'-конец рибонуклеиновой кислоты содержит свободную ОН-группу пентозы, к которой может присоединиться фосфат следующего нуклеотида.

Структура и функции ДНК



8.6. Структура ДНК

• Как происходит кодирование и хранение наследственной информации?

В 1953 году Джеймс Уотсон и Френсис Крик установили структуру нуклеиновых кислот и их значение в передаче наследственной информации. Молекула ДНК состоит из двух цепочек нуклеотидов. Между двумя цепочками располагается «лесенка» из азотистых оснований, сшитых в поперечном направлении слабыми водородными связями. Так как азотистые основания различаются размером и числом возможных водородных связей, друг против друга в этой «лесенке» могут разместиться только *комплементарные* (взаимно дополняющие) пары **A=T** и **G≡C**. Двойная цепь ДНК закручена в спираль.

ДНК служит хранилищем информации о строении организма. Её копии передаются от родитель-

ской клетки к дочерним и от родительского организма к его потомкам по наследству. Информация закодирована *последовательностью азотистых оснований* в одной из цепей ДНК – смысловой. Другая цепь ДНК – защитная. Она состоит из комплементарных нуклеотидов и закрывает доступ к считыванию информации. Вместе с тем защитная цепь является «зеркальным отражением» смысловой. Поэтому по одной цепи можно полностью восстановить структуру другой. Это свойство комплементарных цепей активно используется в клетке для удвоения (*репликации*) ДНК и для «починки» (*репарации*) отдельных участков в случае повреждения.

Структура и функции РНК

- Как происходит считывание и использование наследственной информации?

ДНК обеспечивает лишь хранение и наследование информации. Чтобы эту информацию использовать, необходимы РНК – нуклеиновые кислоты иного типа. Их состав отличается тем, что содержит другой сахар (рибозу) и другой набор оснований (урацил вместо тимина). Главное же отличие в том, что РНК состоит только из одной цепочки. Молекула РНК собирается на смысловой цепи ДНК путём подстановки комплементарных нуклеотидов. Чтобы это было возможным, специальный фермент обеспечивает к ней доступ, «растёгивая» связи между двумя её цепочками. Сборка РНК – это безошибочное переписывание (*транскрипция*) некоторой части информации с ДНК на РНК языком последовательности её нуклеотидов. Затем РНК переносит рабочую инструкцию в другие части клетки.

Существует несколько типов РНК, функции которых различны. Информационная РНК, или иРНК (иначе – матричная, мРНК), несёт инструкцию о первичной структуре молекулы какого-либо белка. Транспортные РНК (тРНК) содержат нуклеотидный код определённой аминокислоты и способны доставлять их в место сборки молекулы белка. Рибосомная РНК (рРНК) входит в состав рибосом, определяет их структуру и управляет их функцией – синтезом белка по инструкции.



В последние годы были открыты новые виды РНК, которые выполняют важные регуляторные и защитные функции. РНК является наследственным материалом многих вирусов. В их числе вирусы гриппа и иммунодефицита, полиовирус, вирус бешенства и т.д. Считают, что до появления клеток современного типа на Земле господствовал «мир РНК» – без ДНК и белков, которые возникли позднее.

Итак, информация, записанная в ДНК, переписывается на иРНК в виде отдельных инструкций и доставляется в рабочие участки клетки. Другие виды РНК запускают синтез основных «исполнителей» инст-

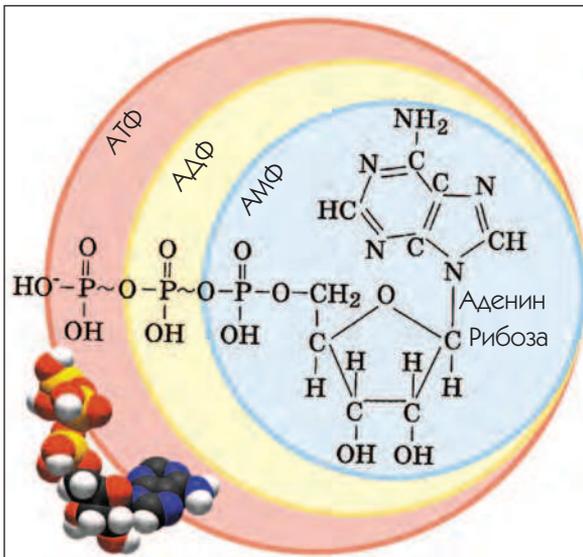
рукций – белков с такой последовательностью аминокислот, которая указана в инструкции языком последовательности нуклеотидов. Так происходит *трансляция* – перевод информации с языка нуклеотидного кода на язык последовательности аминокислот белка. Эта последовательность, как мы знаем, определяет структуру и функции белка. Совместные действия всех белков и РНК обеспечивают жизнедеятельность каждой клетки и организма в целом.

Молекулы – переносчики энергии

- Как энергия пищи становится доступной для использования в жизненных процессах?

Роль нуклеотидов не ограничивается тем, что они служат строительными блоками нуклеиновых кислот. Некоторые нуклеотиды являются основой других активных веществ клетки. Важнейшие из них – переносчики энергии: **АТФ** (аденозинтрифосфат), **НАДФ** (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) и др.

Для поддержания жизнедеятельности клетки в неё постоянно поступает энергия, которая запасается в форме химических связей органических молекул. Самый распространённый молекулярный аккумулятор – аденозинтрифосфат (АТФ). В молекуле этого вещества азотистое основание присоединено к молекуле сахара рибозе, а к ней крепится «хвост» из трёх неорганических фосфатов. Именно в связях между фосфатами АТФ запасается энергия.



8.8. Структура молекулы аденозинтрифосфата (АТФ)

Когда один (или два) фосфат(а) АТФ отщепляется, выделяется большое количество энергии, которое клетка использует в своей жизнедеятельности. Такие связи называют *высокоэнергетическими*, или *макроэнергетическими*, связями.

Все химические реакции в организме, обеспечивающие приток энергии извне (фотосинтез, расщепление пищи), в конечном счёте ведут к синтезу АТФ, а процессы жизнедеятельности – к расходованию этого заряда энергии. Энергия АТФ используется, например, при синтезе биологи-

ческих молекул, активном транспорте через клеточные мембраны, движении клеток и т. д.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Белки и нуклеиновые кислоты представляют собой макромолекулы, построенные из большого числа мономеров, соединённых в определённую последовательность, от которой зависят их свойства. С помощью РНК эта информация в виде отдельных инструкций воплощается в синтезе белков с определённой последовательностью аминокислот. Последовательность аминокислот, в свою очередь, определяет порядок скручивания и складывания белка в молекулу определённой формы. Белки-ферменты предназначены для управления биохимическими реакциями, составляющими основу всех процессов жизнедеятельности клетки. Молекулы АТФ обеспечивают доставку энергии в место её использования.

Белки, аминокислоты, ферменты. Нуклеотиды, ДНК, РНК, АТФ

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Как построена молекула белка?
2. • Каким образом первичная структура белка определяет его окончательную форму и функции?
3. • Перечислите характерные свойства ферментов.
4. • Почему белки и нуклеиновые кислоты называют «информационными молекулами»?
5. • Каковы функции белков в организме?
6. • Как хранится и используется наследственная информация?
7. • Какая особенность молекулы АТФ позволяет ей запасать энергию?
8. • Одна из цепочек ДНК имеет такую последовательность нуклеотидов: АГТАЦЦГАТАЦТЦГАТТТАЦГ. Какую последовательность нуклеотидов имеет вторая цепочка той же молекулы?
9. • Как происходит наследственная передача свойств белка от родительской клетки к дочерней?
10. • Почему контролируемые ферментами реакции зависят от температуры, рН и т.д.?

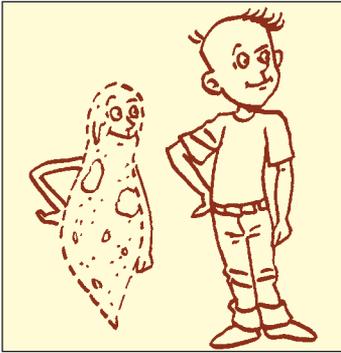
• • МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расщепление пероксида водорода живыми клетками как проявление ферментативной функции белков

Пероксид водорода – токсичный продукт обмена веществ клетки, который расщепляется на кислород и воду. Приготовьте 3%-ный раствор пероксида водорода и капните несколько капель раствора на кусочки сырого и варёного картофеля. Объясните полученные результаты.

§ 10. Сходство и различия в строении клеток прокариот и эукариот

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Все клетки живых организмов сходны по строению.

Факт 2. Различия в строении клеток живых организмов всё же очень существенны.

- Можно ли считать эти два утверждения противоречивыми? (Могут ли все клетки иметь одинаковое строение?)
- Почему клетки живых организмов имеют существенные различия в строении? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Вспомните свойства живых организмов. (§ 3)
- Вспомните основные положения клеточной теории. (§ 5)
- Приведите примеры биологических явлений, относящихся к разным свойствам живого. (§ 3)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Простая клетка прокариот

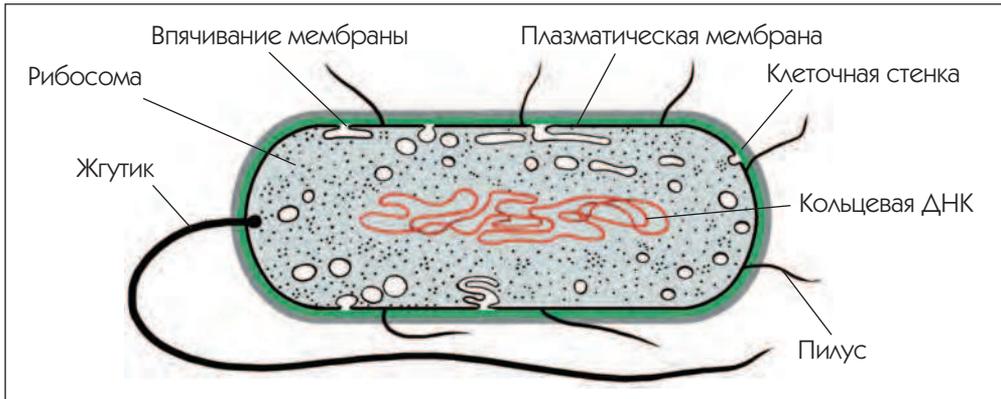
- Сформулируйте особенности строения клетки прокариот.

Согласно клеточной теории, клетка – элементарная единица всего живого: основа строения, функционирования, размножения и развития всех живых организмов.

Несмотря на то что клетки всех организмов имеют общий план строения, существуют и значительные различия в их строении. В первую очередь это наличие ядра. Все организмы разделяют на **прокариоты** – безъядерные и **эукариоты** – собственно ядерные, т.е. имеющие в клетках ядро и другие мембранные органеллы (см. ниже). Наследственная информация в клетках прокариот располагается непосредственно в цитоплазме, а у эукариот – в ядре. Существует две группы прокариот: *настоящие бактерии* (эубактерии) и *архебактерии*, или *археи*.

Маленькая (1–10 мкм) клетка прокариот окружена плазматической мембраной (рис. 10.1). Она практически не имеет внутренних мембранных структур, за исключением отдельных впячиваний, которые по строению напоминают кристы митохондрий или граны хлоропластов (см. ниже). Снаружи клетка обычно одета клеточной стенкой, которая у настоящих бактерий (*эубактерий*) состоит из одной огромной молеку-

лы вещества *муреина*. Она образует сетчатый мешок из полисахаридных цепей, связанных через равные промежутки короткими цепями аминокислот. Эта прочная структура позволяет бактериям сохранять форму. Некоторые бактерии поверх клеточной стенки образуют клейкую слизистую капсулу из полисахаридов или белков. Она обеспечивает дополнительную защиту и позволяет прикрепляться к различным поверхностям.



10.1. Схема строения бактерии – типичного представителя прокариот

Молекулы любого вещества перемещаются в растворе благодаря диффузии, которая происходит за счёт теплового движения и не требует затрат дополнительной энергии. У прокариот диффузия служит основным способом внутриклеточной транспортировки молекул. Небольшие размеры клетки позволяют быстро транспортировать питательные вещества. Поэтому прокариоты растут и делятся быстрее, чем более крупные эукариотические клетки.

Наиболее хорошо изученная прокариота – кишечная палочка – имеет клеточную стенку, которая и определяет её форму. Её длина – 2–3 мкм, ширина – 1 мкм. Другие бактерии могут иметь иную форму: например, шарики (кокки, такие, как стрептококк), нити или спирали (спирохеты). Крупные размеры у известных бактерий представляют собой редкие исключения. Клетки одного из видов бактерий симбионитов, обитающих в организме рыбы-хирурга, могут достигать 750 мкм – их видно невооружённым глазом.

Известно немало болезнетворных зубактерий, таких как возбудители менингита, пневмонии, холеры, туберкулёза, чумы, сифилиса и многих других болезней. Однако большинство бактерий очень важны для биосферы: без них мы просто не смогли бы существовать. Одни из них расщепляют мёртвые ткани, другие – отходы хозяйственной деятельности человека. Фотосинтезирующие цианобактерии – очень древние

организмы, которые когда-то создали и теперь поддерживают кислородную атмосферу Земли.

Помимо настоящих бактерий, к прокариотам относятся и архебактерии, или археи. Среди них, в частности, немало микроорганизмов-«экстремалов» – тех, что живут в кислотах, крепких растворах солей, почти кипящей воде горячих источников.



Ферменты-полимеразы, выделенные из архебактерий, позволили учёным разработать метод исследования ДНК – знаменитую полимеразную цепную реакцию (ПЦР). Она позволяет из одной молекулы ДНК синтезировать в пробирке множество её точных копий для того, чтобы определить последовательность нуклеотидов. С помощью ПЦР недавно были идентифицированы останки последнего русского царя Николая II и членов его семьи, казнённых и преданных земле в 1918 году, т.е. почти 100 лет назад.

Некоторые важные черты молекулярного устройства архебактерий говорят об их сходстве с эукариотами. Клеточная стенка у них никогда не состоит из муреина, а упаковка ДНК и строение рибосом сближает их с высшими организмами.

Вместе с тем все прокариоты имеют ряд общих особенностей. Ферменты прокариот, осуществляющие реакции обмена веществ, расположены на внутренней поверхности мембраны или в цитоплазме. Рибосомы рассеяны по цитоплазме, а мембранные органеллы и внутренние структуры отсутствуют. Как правило, в цитоплазме имеются разнообразные включения. Часто бактериальные клетки имеют жгутики, однако они устроены проще, чем жгутики и реснички эукариот.

В клетках прокариот нет оформленного ядра: участок цитоплазмы, в котором расположена ДНК, – *нуклеоид* – не ограничен мембраной. Единственная «хромосома» прокариот представлена одной кольцевой молекулой ДНК, т.е. они имеют одинарный, или *гаплоидный*, набор инструкций для синтеза РНК и белка. В бактериальных клетках также могут присутствовать отдельные короткие кольцевые молекулы ДНК, называемые *плазмидами*.



Плазмиды ведут себя как вирусы, которые никогда не покидают цитоплазму и размножаются (реплицируются) независимо от хромосомной ДНК. Плазмиды несложно выделить и «переделать» методами генной инженерии: например, поменять в них информацию о кодируемых белках. Если изменённая (рекомбинантная) плазида несёт информацию о структуре какого-нибудь полезного для бактерии белка, например фактора устойчивости к антибиотику, то бактерия-хозяин выживет в среде с этим антибиотиком. Если плазида содержит вдобавок информацию о других белках, то они также будут синтезированы. На этом основана биотехнология – использование микроорганизмов для получения полезных для человека веществ.

Клетка эукариот перегорожена мембранами

- Какими прогрессивными чертами строения отличается клетка эукариот?

Клетка эукариот значительно крупнее бактериальной (обычно 10–100 мкм, а недавно открыта амёба размером 2,5 см). В результате сокращается её относительная поверхность. При этом уменьшается контакт с окружающей средой и растёт автономия от неё. В результате всё большая часть обменных процессов переносится с внешней мембраны внутрь клетки. Но так как большинство этих процессов осуществляется на поверхностях, то такой перенос требует значительной площади внутриклеточных мембран. При этом одновременно возникает необходимость в протекании разнонаправленных обменных процессов. Этому, в свою очередь, препятствует внутриклеточная диффузия. Избежать её можно с помощью перегородок внутри клетки.

Проблемы, связанные с крупными размерами эукариотической клетки, решаются мембранными органеллами, подразделяющими пространство клетки на множество небольших отсеков – *компартовментов*. Складки и выросты мембран позволяют обособить различные биохимические процессы и направить молекулы туда, где они требуются. Мембрана обладает свойствами высокоизбирательного фильтра, благодаря чему в каждом отсеке удерживается необходимый набор ферментов, других молекул и ионов. Поскольку объём этих отсеков мал, концентрация вступающих в реакцию веществ велика, и реакции идут быстрее.

Мембранные органеллы, поделившие клетку на камеры и коридоры, дают возможность эффективно использовать пассивную диффузию как «бесплатный» транспорт. Но в клетке эукариот существует ещё и другая активная система перемещения молекул сквозь мембраны, главную роль в которой играют белки.

Белки вообще играют главную роль в «событиях», происходящих в клетке, как в качестве структурных элементов мембран, так и в качестве ферментов. Молекулы ферментов расположены на мембранах или внутри них, поэтому и химические реакции происходят на поверхности или даже внутри мембран. Ферменты, ускоряющие последовательные реакции, расположены рядом в нужной последовательности. Они выстроены в своеобразный «конвейер» – *мультиферментный комплекс*, в котором продукт реакции переходит от одного фермента к другому. Практически все ферменты клетки вовлечены в такие комплексы, поэтому можно сказать, что молекулы, попадающие в клетку, идут по определённым путям, претерпевая последовательные изменения.

Наследственное вещество эукариот (ДНК) обособлено в ядре и с помощью белков организовано в хромосомы, так что разные её участки могут работать (или не работать) по-разному в зависимости от молекулярных сигналов, поступающих от других клеток (об этом будет

подробнее сказано позже). Всё это привело к возникновению настоящей многоклеточности в надцарстве эукариот.

Сравнение прокариот и эукариот

- Проведите сравнение клеток по строению и функциональным возможностям.

Различия клеток прокариот и эукариот

Признаки	Прокариоты	Эукариоты
Размер	1–10 мкм	10–100 мкм
Мембранные органеллы	Отсутствуют	Митохондрии, эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи и др.
Ядро	Нет; нуклеоид не отделён от цитоплазмы	Есть; окружено двойной мембраной
ДНК	Одна кольцевая молекула	Одна или несколько линейных молекул, организованных в хромосомы
Рибосомы	Обычно мелкие	Крупные
Деление	Простое	Митоз, мейоз
Клеточная стенка	Есть	Есть не у всех организмов

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

В зависимости от строения и организации жизненных процессов все клеточные формы жизни делятся на два надцарства: прокариоты (куда входят эубактерии и архебактерии) и эукариоты. Более крупным клеткам эукариот свойственна компартментализация – разделение клетки на отсеки при помощи мембран. Это позволяет иметь (1) интенсивный обмен веществ в относительно большом общем объёме клетки и (2) сложную регуляцию внутриклеточных процессов. Эукариотическая клетка является элементарной единицей строения всех многоклеточных организмов.

Прокариоты. Эукариоты

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Как устроена бактериальная клетка?
- В чём сходство и различие строения клеток прокариот и эукариот?
- Чем обусловлено возникновение большого количества мембранных органелл у эукариот?
- Почему многоклеточные организмы – эукариоты?
- Однородна ли группа прокариот? Какие надцарства она в себя включает?

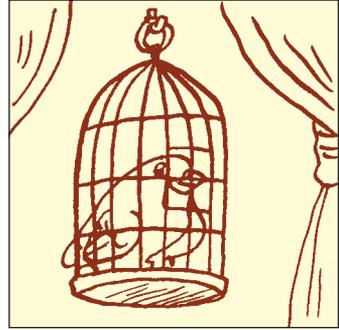
§ 11–12. Строение клетки

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Многоклеточный организм представляет собой целостную живую систему, в которой отдельные структуры – органы – выполняют различные функции.

Факт 2. Клетка представляет собой целостную живую систему, в которой отдельные структуры – органеллы – выполняют различные функции.

- Какова общая причина сложного строения?
- Какую проблему мы будем обсуждать? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие уровни организации живой природы вы знаете? (§ 4)
- Какие клетки в организме человека способны к движению? (8 класс)
- Какие органеллы вы знаете? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Общий план строения

- Какие элементы строения встречаются у всех клеток эукариот?

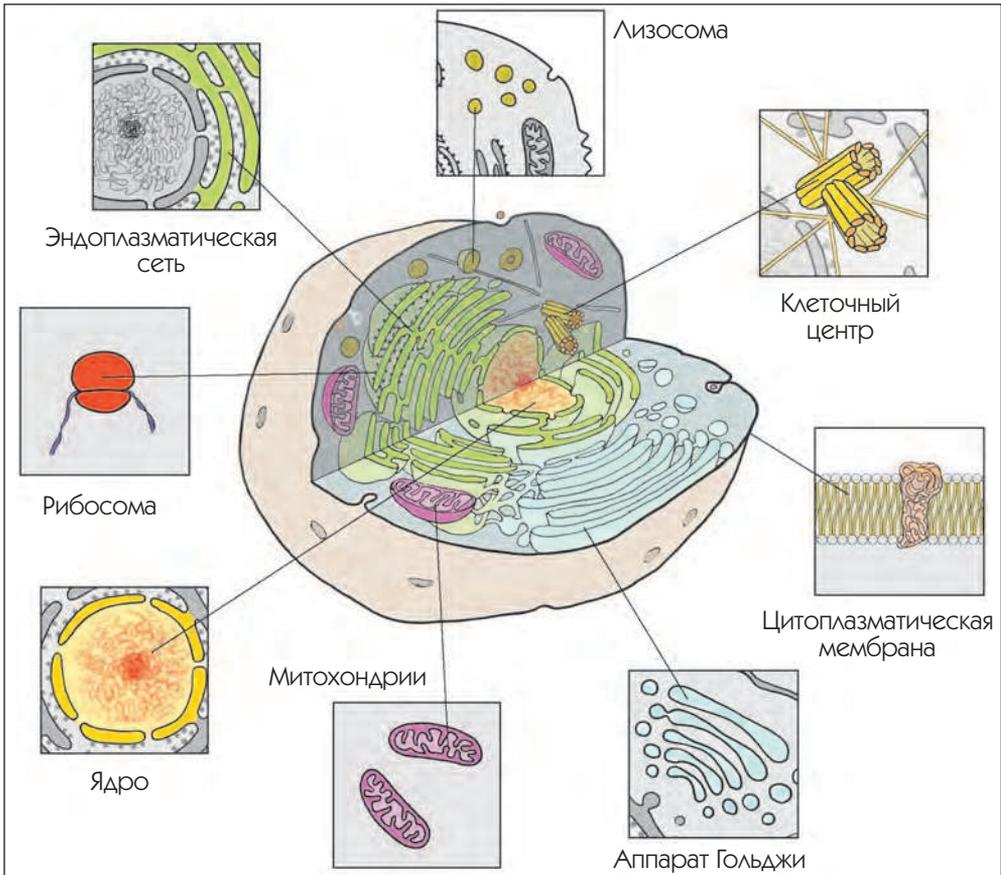
Клетки эукариот различаются по степени сложности и разнообразия структуры. Всё же, несмотря на это, тысячи различных типов клеток эукариот имеют общие черты строения, которые отражают их общее происхождение.

Основу содержимого всех клеток составляет **цитоплазма**. Она включает вязкую жидкость – *цитозоль*, раствор органических и неорганических веществ. В цитозоле находятся все клеточные структуры: мембранные и немембранные органеллы (органоиды), а также непостоянные структуры – включения гликогена, жира, пигментные гранулы. В цитозоле протекают многие химические реакции.

Все мембраны клетки устроены сходным образом: их основу составляет двойной слой фосфолипидов. Белковые молекулы – клеточные рецепторы или ферменты различного назначения – могут быть погружены в мембрану с одной стороны, внутренней или наружной, или же «пронизывать» всю мембрану насквозь. Так образуются ядерные поры – поры, через которые, например, происходит экспорт иРНК из ядра в цитоплазму. Эти и другие системы транспорта веществ сквозь мембрану приводят к тому, что одни вещества свободно поступают в клетку, другие – в ограниченном количестве, а третьи специально

заносятся в клетку с затратой энергии. Таким образом, проницаемость мембраны избирательна: белки регулируют поступление и выход наружу различных веществ, содержание и соотношение разнообразных ионов и молекул в самой клетке и её органеллах.

Другая функция мембран – предоставление поверхности для размещения мультиферментных комплексов.



11.1. Органеллы эукариотической клетки животных

Мембранные органеллы

- Какие функции клетки выполняются мембранными органеллами и как они связаны с особенностями их структуры?

Цитоплазматическая мембрана отделяет клетку от внешней среды. Это тонкая эластичная плёнка, легко восстанавливающаяся после незначительных повреждений. Она создаёт барьер, предохраняющий клетку от попадания в неё чужеродных веществ и обеспечивающий

поддержание постоянства внутренней среды. Мембрана живой клетки находится в непрерывном движении. На ней появляются выросты и впячивания (экзо- и эндоцитоз), она совершает волнообразные колебательные движения, в ней постоянно перемещаются макромолекулы. Мембрана обеспечивает взаимодействие клетки не только с окружающей средой, но и с другими клетками многоклеточного организма.

Ядро содержит хромосомы, что определяет две его важнейшие функции: информационную и управляющую. Первая состоит в хранении и воспроизведении генетической информации, вторая – в управлении процессами обмена веществ в клетке.

Ядро защищено оболочкой из двух мембран, имеющих поры. Наружная ядерная мембрана с поверхности, обращённой в цитоплазму, покрыта рибосомами. Её выросты соединяются с мембранами эндоплазматической сети, образуя единую систему сообщающихся каналов. В содержимом ядра выделяют ядерный сок, хроматин и ядрышко. Ядерный сок, благодаря окружающей мембране, отличается по химическому составу от цитоплазмы, что необходимо для нормального функционирования ядерных структур. Хроматин состоит из ДНК, соединённой с белками-гистонами. Очень плотно упакованный хроматин образует хромосомы: они формируются непосредственно перед делением клетки и «исчезают» после него. Наоборот, ядрышко видно под микроскопом только в неделящихся клетках. Это – не отдельная структура, а область ядра, в которой в данный момент в хроматине происходит интенсивный синтез рРНК и ДНК и сборка рибосом.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), или *эндоплазматический ретикулум* (ЭПР), представляет собой развитую систему трубчатых каналов и плоских полостей, связанных с пространством между двумя мембранами ядра (перинуклеарным пространством), но отделённых от цитоплазмы. Мембраны ЭПС составляют около половины всех мембран клетки.

ЭПС разделяет клетку на отсеки, обеспечивает поверхность для расположения ферментативных комплексов и рибосом, осуществляет транспорт веществ по клетке. Она состоит из мембран двух типов: гладкой и шероховатой. «Шероховатость» эндоплазматической сети образуют рибосомы, расположенные на её поверхности. На них синтезируются белки клеточных мембран и растворимые белки, предназначенные для секреции или для создания других органелл. Ферментные системы ЭПС участвуют в обмене жиров и углеводов.

Аппарат Гольджи также представляет собой систему мембранных полостей – *цистерн*. Синтезированные на мембранах ЭПС белки, полисахариды, жиры транспортируются к аппарату Гольджи, сортируются внутри него, а некоторые из них претерпевают дальнейшие химические преобразования. Затем они упаковываются в виде секрета, готового к выделению, или используются в самой клетке.

В дальнейшем от пузырьков аппарата Гольджи отделяются транспортные пузырьки, несущие готовые вещества туда, где они необходимы. Здесь же формируются и *лизосомы*, участвующие во внутриклеточном пищеварении.

Митохондрии – структуры размером с бактериальную клетку, окружённые двумя мембранами, как правило, имеют бобовидную форму. Внутренняя мембрана образует складки-*кристы*, на которых расположены мультиферментные системы. Внутренняя полость митохондрий заполнена вязким раствором – *матриксом*.

В митохондриях энергия питательных веществ преобразуется в энергию молекул АТФ, которые затем используются в энергоёмких клеточных процессах. Количество митохондрий больше в тех клетках и их частях, где необходимы значительные затраты энергии. Митохондрии содержат небольшую кольцевую ДНК и рибосомы эубактериального типа (т.е. не такие, как в цитоплазме).

Пластиды – органеллы, присущие только растительным клеткам. Они представляют собой окрашенные или бесцветные тельца, также размером с бактерию. Они окружены двойной мембраной и заполнены матриксом – *стромой*. Различают бесцветные *лейкопласты*, зелёные *хлоропласты* и красноватые *хромопласты*.

Хлоропласты окрашены в зелёный цвет пигментом хлорофилломы. Наряду с митохондриями, в растительной клетке хлоропласты производят большую часть АТФ. Внутри хлоропластов выросли мембраны образуют пузырьки – *тилакоиды*, уложенные в стопки – *граны*. Тилакоиды содержат хлорофилл. Главная функция хлоропластов – осуществление реакций фотосинтеза. Тилакоиды улавливают свет и запасают его энергию в виде молекул АТФ, а затем используют их для синтеза углеводов.

В лейкопластах запасается крахмал. Хромопласты образуются из хлоропластов, частично потерявших хлорофилл. Их окраска обусловлена пигментом каротином.

Как и митохондрии, пластиды содержат собственную кольцевую ДНК.

Лизосомы – очень мелкие пузырьки, которые содержат ферменты, способные расщеплять белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, липиды и другие вещества. Они окружены одинарной мембраной, устойчивой к саморазрушению.

Ферменты лизосом расщепляют на мономеры инородные частицы, захваченные путём фагоцитоза, а также «сломанные» и отслужившие органеллы. Если содержимое лизосом высвобождается внутрь самой клетки, то происходит её саморазрушение. Этот процесс идёт в том случае, когда клетка по какой-либо причине стала не нужна организму. Это могут быть, например, клетки хвоста головастика во время метаморфоза. «Контролируемая клеточная смерть» необходима также при обнару-

жении клеток с такими серьёзными «поломками», как, например, грубые ошибки в копировании ДНК, или клеток, инфицированных вирусом.

В клетке постоянно происходит образование новых лизосом. Ферменты для них, как и другие белки, синтезируются в рибосомах, прикреплённых к мембране эндоплазматической сети. Затем эти ферменты поступают по каналам эндоплазматической сети к аппарату Гольджи, в полостях которого формируются лизосомы.

Вакуоли – крупные мембранные пузыри, занимающие большую часть взрослой растительной клетки. Они наполнены клеточным соком – водным раствором сахаров и других веществ. По химическому составу и консистенции он существенно отличается от цитозоля. Осмотическое давление нагнетает в вакуоли воду, так что они служат гидроскелетом растительной клетки. Вакуоли обеспечивают клетку запасом воды, участвуют в регуляции водно-солевого обмена, удерживают отходы обмена веществ.

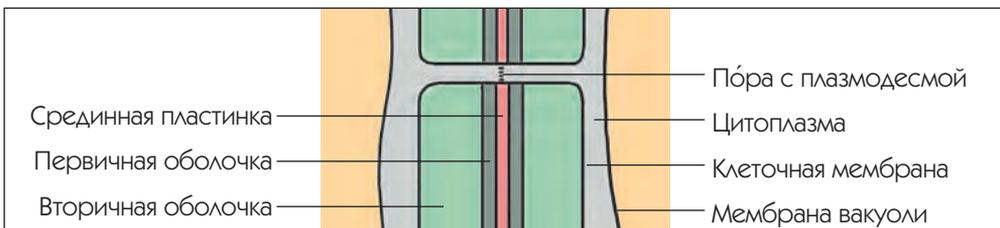
Немембранные органеллы

- Какие клеточные функции выполняются немембранными органеллами? Каким образом они осуществляются?

Рибосомы – сферические органеллы диаметром около 20 нм – в 500 раз мельче митохондрий и пластид. Они состоят из двух частиц (субъединиц), большой и малой, и представляют собой «станок» для прикрепления молекул иРНК и тРНК, участвующих в синтезе белка. Их присутствие обязательно во всех клетках прокариот и эукариот, поскольку иначе синтез белка невозможен.

Рибосомы построены из специальных рибосомальных белков и рРНК. В цитоплазме они могут находиться в свободном состоянии или располагаться на мембранах. Свободные рибосомы синтезируют белки цитозоля, которые не нужно специально доставлять в какой-либо определённый компартмент, а прикреплённые к мембранам – все остальные: секретлируемые белки; белки эндоплазматической сети, лизосом, аппарата Гольджи, наружной мембраны и другие.

Клеточная стенка – жёсткая оболочка клеток растений и грибов, окружающая клетку поверх цитоплазматической мембраны (рис. 11.2). Она состоит из волокон целлюлозы (растения) или хитина (грибы), уло-



11.2. Слои клеточной стенки растительной клетки

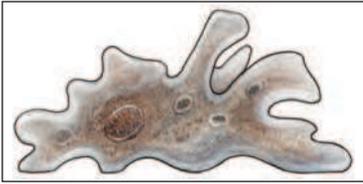
женных многими слоями. Промежутки заполнены веществами, упрочняющими оболочку. В стенке имеются поры, через которые идёт сообщение между клетками через тонкие выросты цитоплазмы (*плазмодесмы*).

Клеточная стенка выполняет опорную, защитную и транспортную функции. Она также регулирует поступление воды в клетку.

Основа опорно-двигательной системы клетки – **цитоскелет**: сеть белковых нитей (микрофиламентов), способных быстро собираться и разбираться, удлиняться и укорачиваться, и микротрубочек, способных изгибаться. Микротрубочки и микрофиламенты могут прочно связываться с наружной цитоплазматической мембраной и ядерной оболочкой, образуя сложные переплетения в цитоплазме.

Цитоскелет используется как «рельсы» для перемещения органелл и молекул из одного конца клетки в другой. С помощью специальных «белков-моторов» с затратой АТФ органеллы скользят по микрофиламентам и микротрубочкам, перемещаясь в нужную сторону.

Цитоскелет определяет форму клетки и обеспечивает возможность различных движений внутри и перемещения самой клетки. Амёбоидным движением называется перемещение клеток с помощью образова-



11.3. Амёба движется с помощью ложноножек

ния ложноножек (псевдоподий) (рис. 11.3). При таком типе движения цитоплазма сокращается с помощью микрофиламентов и выдавливается в расслабленный участок на периферии клетки, как паста из тьюбика. В этом месте образуется выпуклость поверхности – псевдоподия. В неё медленно перетекает содержимое клетки.

Органеллы движения – жгутики и реснички – также приводятся в движение микротрубочками. Они встречаются как у одноклеточных организмов, так и у некоторых клеток многоклеточных (например, сперматозоидов и клеток мерцательного эпителия).

Концы этих органелл выходят за пределы цитоплазматической мембраны. Их внутренние части удивительно сходны по строению: они состоят из осевой пары микротрубочек, которую окружает сноп из 9 парных микротрубочек. В основании жгутика или реснички расположено базальное тельце, в котором к каждой паре внешних микротрубочек прибавляется ещё одна опорная микротрубочка, образуя триады. В каждой триаде микротрубочки скользят друг относительно друга, приводя жгутик в движение. При этом затрачивается большое количество энергии в виде АТФ.

Клеточный центр состоит из двух центриолей – маленьких телец цилиндрической формы, расположенных под прямым углом друг к другу. Они присутствуют в клетках животных и грибов. Стенка центриолы состоит из 9 пучков, включающих по 3 микротрубочки.

Клеточный центр играет важную роль в делении клетки. В процессе деления центриоли удваиваются, расходятся к полюсам и образуют веретено деления, обеспечивающее перемещение и равномерное распределение хромосом между дочерними клетками.

Теория происхождения митохондрий и пластид

- Какие черты отличают эти органеллы от других и почему?

В отличие от других мембранных органелл клетки, митохондрии и пластиды имеют ряд интересных особенностей. Они окружены двойной мембраной и не «собираются», как другие органеллы, из отдельных молекул, а размножаются делением. Более того, у них есть собственная кольцевая ДНК, в которой закодированы некоторые белки, входящие в состав этих органелл, и собственный аппарат синтеза РНК и белков. Эти белки похожи по своей первичной структуре на соответствующие белки бактерий.

На этом основании учёные предположили, что митохондрии и пластиды есть не что иное, как потомки свободноживущих микроорганизмов, поселившихся внутри клеток эукариот. Эти два типа клеток вступили во взаимовыгодное сотрудничество: эукариотическая клетка снабжает «бактерии» питательными веществами, а «бактерии» снабжают «хозяюку» энергией в виде молекул АТФ. Такие взаимоотношения между двумя организмами называют симбиозом. Поэтому теорию происхождения митохондрий и хлоропластов называют **теорией симбиогенеза** (развития симбиоза).

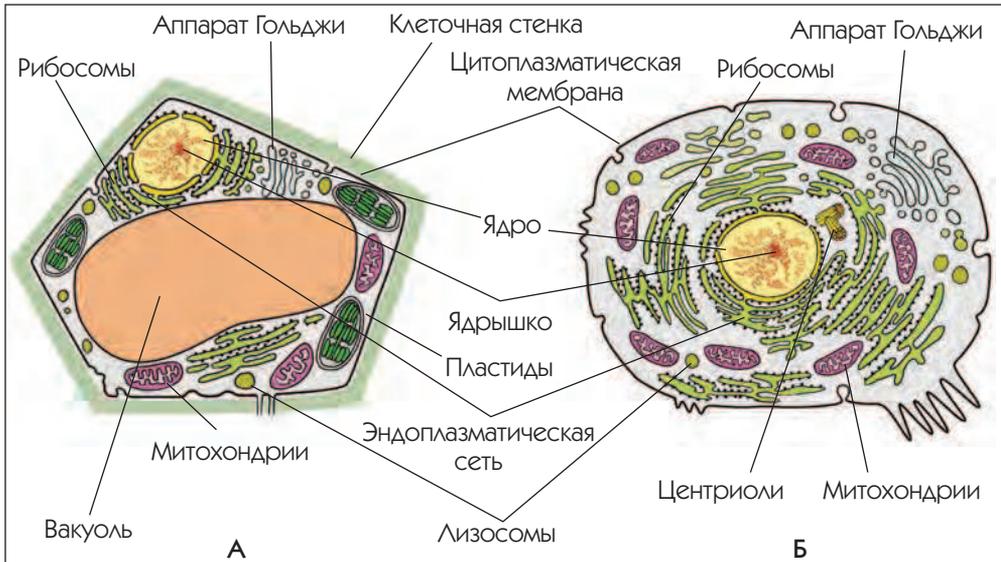
Клетки растений, животных и грибов

- Какие особенности отличают план строения клетки трёх царств эукариот? Проведите самостоятельное сравнение их клеток по рисунку и таблице. Найдите особенности, связанные с типом питания.

Клетки грибов имеют несколько больше сходства с животными клетками, чем с растительными. Они запасают углеводы в виде гликогена; пластиды и, как правило, центриоли отсутствуют. Клеточная стенка грибов состоит из хитина – вещества, из которого строится наружный скелет членистоногих.



Одноклеточные эукариотные организмы, такие как простейшие, имеют дополнительные органеллы в качестве приспособления для существования в виде единственной клетки. Таковы, например, сократительные вакуоли, которые служат для удаления из клетки лишней воды у инфузории-туфельки, а также клеточный рот и клеточная глотка.



11.4. Строение эукариотических клеток: А – растительной; Б – животной

- Назовите мембранные органеллы растительной и животной клеток (рис. 11.4). Чем эти клетки различаются? Сравните ваши выводы с признаками, приведёнными в таблице.

Различия растительной и животной клеток

Признаки	Растительная клетка	Животная клетка
Пластиды	Хлоропласты, хромопласты, лейкопласты	Отсутствуют
Клеточная стенка	Из целлюлозы	Отсутствует
Запасные питательные вещества	Крахмал	Гликоген
Вакуоли	Крупные полости (до 95% объёма клетки), заполненные клеточным соком – водным раствором различных веществ (запасные или конечные продукты). Осмотические резервуары клетки	Сократительные, пищеварительные, выделительные вакуоли. Обычно мелкие (до 5% объёма клетки)
Место синтеза АТФ	Пластиды и митохондрии	Митохондрии

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Клетки эукариот обладают широким набором мембранных и немембранных органелл. Они разделяют между собой функции по самообеспечению жизнедеятельности клетки, что повышает эффективность её работы. План строения эукариотической клетки общий у животных, растений и грибов, хотя в каждом царстве имеются отличия, связанные с особым типом питания.

Цитоплазма, цитоплазматическая мембрана, ядро, эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосома, митохондрия, пластида, вакуоль, рибосома, клеточная стенка, цитоскелет, клеточный центр. Теория симбиогенеза

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Какие функции необходимы для жизнедеятельности каждой клетки?
- Назовите известные вам органеллы и их основные функции.
- Как строение эндоплазматической сети и аппарата Гольджи связано с их функциями?
- В чём сходство и различие в строении клетки растений и животных?
- Какие различия в обмене веществ растительной и животной клеток отражены в их строении?
- Относятся ли грибы к растениям? Обоснуйте ответ.
- Дышат ли растения? Если да, то при помощи каких органелл?
- Если пациент принимает антибиотик, который останавливает синтез белка на бактериальной рибосоме, погибнут ли при этом простейшие и грибы, которые имеются в организме здоровых людей?
- Как вы думаете, в клетках каких органов большое количество митохондрий?
- В каких органах растений содержатся хлоропласты и почему?



• • МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдение клеток растений и животных под микроскопом на готовых микропрепаратах. Сравнение клеток растений и животных

Рассмотрите под микроскопом готовые препараты клеток растений и животных. Зарисуйте их строение, видимое в световом микроскопе. Сравните их цвет, особенности строения. Объясните полученные различия.

При наличии цифрового микроскопа сделайте снимки. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения.

Рассмотрение хлоропластов в клетках элодеи

Приготовьте препарат из листа элодеи. Рассмотрите в микроскоп клетки, расположенные в основании листовой пластинки. Найдите и зарисуйте хлоропласты, расположенные в пристенном слое цитоплазмы.

При наличии цифрового микроскопа сделайте снимки. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения.

§ 13. Вещество и энергия для жизни на Земле

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Ученик: В природе происходит круговорот веществ. Наверное, бывает и круговорот энергии?

Учитель: С энергией сложнее: передавать её без потерь невозможно. Зато у нас есть неисчерпаемый источник энергии – солнце. Правда, не все организмы умеют использовать его.

- На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Приведите примеры автотрофных и гетеротрофных организмов. (5–7, 9 классы)
- Почему большинство растений – зелёного цвета? (9 класс)
- Что такое фотосинтез? Какова его роль в природе? (9 класс)
- Как растение приспособлено к фотосинтезу? (5–6, 9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Клеточный метаболизм

- Какие два противоположных процесса составляют обмен веществ? Чем различаются их источники, назначение и результаты?

Живую клетку можно сравнить со сложнейшим химическим комбинатом. В ней непрерывно идут тысячи химических реакций. Некоторые из них направлены на синтез, другие – на расщепление сложных молекул. Удивительно, что большинство этих реакций протекает у всех организмов сходным образом либо просто одинаково. Безусловно, есть и реакции, специфические для какой-либо отдельной группы, но огромное количество химических процессов и управляющих ими ферментов присуще всем живым организмам – от бактерии до человека.

Во всех случаях для работы клетки необходим приток веществ и энергии, так как вещества расходуются и выводятся наружу, а без притока энергии никакую работу выполнить невозможно. Из поступающих в клетку компонентов создаются новые молекулы для замены израсходованных веществ, для построения и «починки» органелл. Совокупность реакций биологического синтеза веществ в клетке называют **пластическим обменом**, или *ассимиляцией*.

Наряду с реакциями синтеза, в клетке происходит постоянный распад сложных органических веществ до более простых соединений. При этом высвобождается энергия, которая используется для транспорта веществ, мышечного сокращения, деления клетки и других процессов,

в том числе и для реакций биосинтеза. Совокупность реакций разложения сложных органических веществ на простые молекулярные блоки с выделением энергии называется **энергетическим обменом**, или *диссимиляцией*.

Противоположные процессы пластического и энергетического обмена тесно взаимосвязаны и невозможны друг без друга. Это две стороны одного процесса – обмена веществ, или *метаболизма*. В организме они находятся в состоянии динамического равновесия. Преобладание пластических, «созидательных», процессов приводит к росту, накоплению массы тканей, а преобладание энергетических, «разрушительных» – ведёт к разрушению тканей.

По способу питания все организмы можно подразделить на две основные группы: **автотрофы** и **гетеротрофы**. Автотрофы поглощают энергию солнца (реже – энергию окисления неорганических соединений) и запасают её в форме органических веществ, а затем потребляют их по мере необходимости. Гетеротрофы поедают первых и таким образом становятся потребителями этих органических веществ и связанной в них энергии, направляя их на свои нужды.

При использовании энергии только часть её выполняет полезную работу в организме, а другая часть неизбежно рассеивается в виде тепла. Этот вид энергии трудно уловить, поэтому необходим постоянный приток доступной энергии в виде органических веществ. Связывание космической световой энергии – основной источник жизни, и единственный способ её усвоения – **фотосинтез**.

Наряду с энергетической ценностью пищи, очень важен и её состав. Это связано с потребностью организма в огромном количестве и разнообразии веществ, обеспечивающих все его структуры и функции. Минеральная основа этих веществ, как и энергия, вводится в оборот в основном автотрофами, которые встраивают неорганические вещества в органические молекулы и делают их доступными для усвоения другими организмами.

Как заряжаются биологические аккумуляторы?

- В чём проявляется единство фотосинтеза и дыхания?

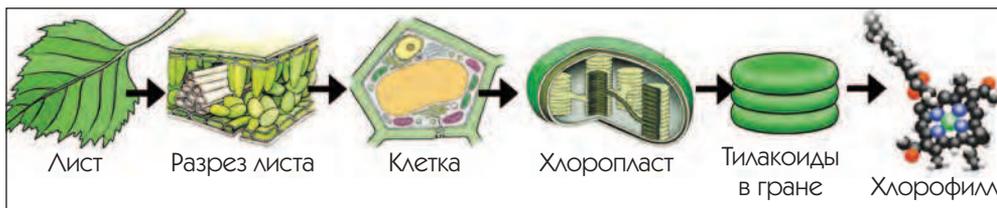
Пополнение запаса энергии в живых клетках происходит в результате окислительно-восстановительных реакций. В процессе потери электрона (окисления) одним органическим веществом (донором) и передачи его другому (акцептору, который при этом восстанавливается) выделяется энергия. Она частично рассеивается в виде тепла, но значительная часть её запасается в виде макроэргических (высокоэнергетических) связей АТФ или других молекул-аккумуляторов энергии. При фотосинтезе и дыхании несколько таких реакций объединены в цепочки-

каскады органических молекул (переносчиков), по которым, как по лестнице, «скачет» электрон с последовательным понижением своего энергетического уровня. Так, постепенно теряя свою энергию и заряжая «по пути» молекулярные аккумуляторы, электрон попадает к своему последнему акцептору. Фотосинтез – это процесс, в котором происходит кругооборот электронов, вновь и вновь получающих энергию от солнца и отдающих её макроэргическим связям молекул АТФ. Затем последние используются для синтеза углеводов из углекислого газа.

Хлоропласт – лаборатория фотосинтеза

- Какие структуры растений обеспечивают протекание фотосинтеза?

Реакции фотосинтеза идут в хлоропластах. Они могут присутствовать в клетках различных органов растений – плодов, стеблей, но главным органом, анатомически приспособленным к улавливанию света, безусловно, является лист. Особенно богаты хлоропластами клетки паренхимы листа. Хлоропласт окружён двойной мембраной и заполнен полужидким содержимым – *стромой*. Внутренняя мембрана образует множество плоских мешочков – *тилакоидов*, собранных в стопки – *граны*. В мембране тилакоидов содержится пигмент *хлорофилл*, способный поглощать энергию света, и молекулы – переносчики электронов.



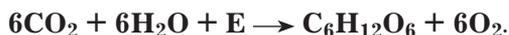
13.1. Лист – орган фотосинтеза

- Почему листья считают основными фотосинтезирующими органами растений? Как это отражено в их строении на разных уровнях организации?

Общий результат фотосинтеза можно записать в виде суммарного уравнения таким образом:



или



Фотосинтез зелёных растений проходит в два этапа. Первый объединяет реакции, идущие только на свету, и поэтому называется *световой фазой*. Второй этап называют *темновой фазой*, потому что его реакции не зависят от света и могут проходить как на свету, так и в темноте.

Хлорофилл и ферменты, необходимые для световой фазы, расположены в тилакоидах, а ферменты, участвующие в реакциях темновой фазы, расположены в строме.

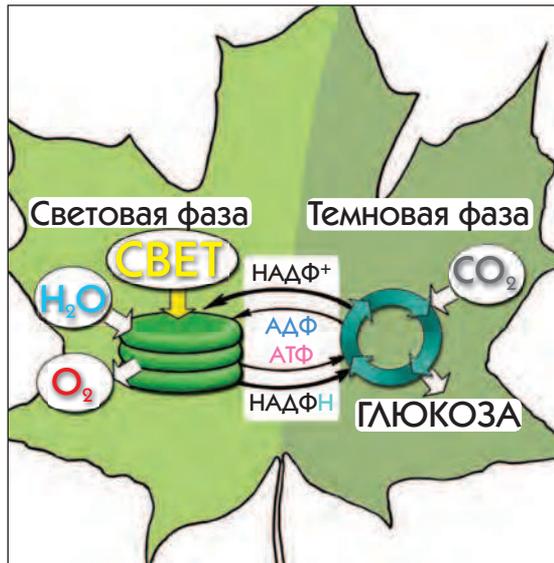
Световая фаза фотосинтеза

- Как происходит улавливание световой энергии? Что является результатом светозависимой фазы фотосинтеза?

Для того чтобы синтезировать молекулу углевода из CO_2 и H_2O , необходима энергия, которую клетка получает в виде света и запасает в виде АТФ в световой фазе фотосинтеза. В мембранах тилакоидов молекулы хлорофилла в сочетании с другими пигментами и ферментами образуют компактно организованные *фотоловушки* двух типов (фотосистема II и фотосистема I), которые активируются попаданием в них элементарных частиц света – фотонов. Только синяя и красная части спектра используются в фотосинтезе, а зелёный свет проходит насквозь (поэтому растения зелёные).

Энергия фотона передаётся электрону в молекуле хлорофилла. В результате возбуждённый электрон переходит на более высокий энергетический уровень и передаётся по цепочке молекул-переносчиков при помощи ферментов. Вследствие этого при возвращении электрона к более низкому энергетическому уровню освобождается энергия, которая запасается путём синтеза нескольких молекул-аккумуляторов энергии АТФ и НАДФ • Н (читается надэф-аш). НАДФ • Н способен отдавать электрон и протон, т.е. *окисляться*, превращаясь в НАДФ^+ и *восстанавливая* другие химические соединения.

Молекулы хлорофилла в фотоловушках теряют электроны, эта потеря восполняется за счёт расщепления молекулы воды. На это также расходуется энергия света. В результате образуется молекулярный кислород, который выделяется в атмосферу, а протоны поступают в строму. Таким образом, в результате световой фазы фотосинтеза солнечная энергия запасается в форме биохимических аккумуля-



13.2. Световая и темновая фазы фотосинтеза

муляторов – молекул АТФ и НАДФ • Н. При этом в качестве побочного продукта реакции выделяется кислород.

Темновая фаза фотосинтеза

- Что является результатом фазы фотосинтеза, независимой от света?

Заряженные на мембране тилакоидов «аккумуляторы» АТФ и НАДФ • Н используются в строме хлоропласта для химических реакций, в которых из углекислого газа воздуха образуются молекулы шестиуглеродного сахара – глюкозы. Для протекания этих реакций солнечный свет уже не нужен. В строме растворено достаточно углекислого газа, попавшего в клетки из воздуха через устьица. Углекислый газ соединяется с водородом, используя энергию, принесённую молекулами НАДФ • Н и АТФ, в результате чего образуется глюкоза.



На самом деле этот процесс далеко не так прост. Он состоит из 15 реакций и выполняется сложным ферментативным комплексом при участии воды, ионов водорода, фосфатных групп и простых сахаров. Атомы углерода сначала встраиваются в готовую цепочку пятиуглеродного сахара, в результате чего получается неустойчивое вещество, которое распадается на две трехуглеродные молекулы. Они вступают в цикл реакций, из которого выходят молекулы глюкозы и исходных веществ. Эта сложная циклическая система реакций, создающая первичные органические вещества, названа циклом Кальвина по имени американского учёного, описавшего весь процесс. Энергию для них доставляют молекулы АТФ и НАДФ • Н, синтезированные в световой фазе. Сделав своё дело и превратившись, соответственно, в АДФ и НАДФ⁺, они вновь готовы принять от фотоловушек новую порцию энергии.

В дальнейшем молекулы глюкозы используются в двух направлениях: в качестве топлива и строительного материала. Особую ценность имеет углеродный «скелет» глюкозы. На нём могут прикрепляться различные функциональные группы атомов, которые определяют химические свойства создаваемых органических соединений. Простые углеводы могут полимеризоваться в макромолекулы. Так запасают сахара впрок растения в виде крахмала, а животные – в виде гликогена. Таким образом, с глюкозы, полученной в результате фотосинтеза, начинается всё разнообразие структур и функций в органическом мире.

Заметим, что подавляющее большинство гетеротрофных организмов по двум причинам зависят от фотосинтезирующих автотрофов: они питаются созданными ими органическими веществами и потребляют при дыхании выделенный автотрофами кислород. Кислород им необходим как окислитель для получения энергии из пищи. Реакции фотосинтеза – главный источник свободного кислорода на Земле. Древние фотосинтезирующие бактерии, подобные современным цианобактери-

ям, были среди первых обитателей Земли более трёх миллиардов лет назад. Считается, что именно они насытили атмосферу Земли кислородом – побочным продуктом фотосинтеза. Фотосинтезирующие бактерии, водоросли и растения постоянно пополняют запасы кислорода в атмосфере Земли.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Живым клеткам необходим постоянный приток органических веществ и энергии. Главным источником энергии для живых существ является солнце. Фотосинтезирующие организмы используют энергию света для синтеза органических молекул. При этом в качестве побочного продукта выделяется кислород. Гетеротрофы используют энергию и органические вещества, синтезированные автотрофами.

Пластический обмен. Энергетический обмен. Автотрофы. Гетеротрофы. Фотосинтез. Световая фаза. Темновая фаза

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Объясните взаимосвязь пластического и энергетического обмена.
2. • Какую роль в фотосинтезе играет цепь переносчиков электронов?
3. • Как при фотосинтезе образуется кислород?
4. • Используя суммарное уравнение фотосинтеза, скажите, какие факторы могут влиять на интенсивность этого процесса.
5. • Почему скорость фотосинтеза зависит от температуры? При какой температуре она может повыситься? понизиться? Почему?

§ 14. Иные пути получения энергии

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Ученик: Фотосинтез совершенен, его продукт универсален. Но сам процесс чрезвычайно сложен: сколько специальных структур и ферментов он требует! Неужели нет других путей получения органического вещества и энергии? Как существовать без хлорофилла?

Учитель: Есть и другие пути, но все они связаны с окислительно-восстановительными процессами.

- На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Чем пластический обмен отличается от энергетического? (§ 13)
- В чём биологический смысл фотосинтеза и его значение для жизни в биосфере? (§ 13)
- Какова роль кислорода в дыхании? (§ 13, 9 класс)

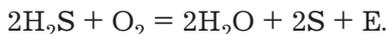
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Без энергии солнца

- Возможен ли синтез первичного органического вещества без помощи световой энергии?

Фотосинтез – не единственный путь создания первичных органических веществ в природе. Некоторые бактерии способны использовать для этого энергию, выделяемую при окислении минеральных веществ. Этот способ автотрофного питания называют **хемосинтезом**.

Источником энергии может служить окисление аммиака или железа в бескислородных условиях с помощью серы, а в аэробных условиях используется окисление кислородом водорода, сероводорода, азота и других веществ: всё зависит от среды обитания организма и доступных ему неорганических веществ. Например, в Чёрном море, глубокие слои которого насыщены сероводородом, серобактерии получают энергию, окисляя его до серы:



Свободная сера накапливается в клетке бактерий и при недостатке сероводорода может подвергаться дальнейшему окислению:



Примитивные организмы в глубинах океана, куда не проникает свет, получают энергию окислением водорода двуокисью углерода с образованием метана. Другие организмы используют реакцию окисления сероводорода или аммония. Многие бактерии, живущие в различных

водоёмах и почве, добывают энергию за счёт окисления аммиака и азотистой кислоты, делая азот доступным для растений.

Так же, как и фотосинтезирующие организмы, хемосинтетики поглощают углекислый газ для синтеза глюкозы, а АТФ заряжается энергией химических реакций.

Продуктами хемосинтеза организмов, существовавших в прошлые эпохи, являются залежи железных и марганцевых руд. Заметим, что большинство современных хемосинтетиков зависит от фотосинтезирующих организмов, так как для реакций окисления им необходим кислород.

Биохимическое «горение»

- Как обеспечиваются энергией все процессы жизнедеятельности?

Мы рассмотрели, как создаются первичные органические вещества, а в их химических связях запасается энергия. Эту работу совершают автотрофы, а используют все живые организмы. Извлечение энергии химических связей лежит в основе одного из важнейших процессов жизнедеятельности – **дыхания**.

В организме автотрофов и гетеротрофов это происходит одинаково: путём окисления органических веществ. В химии окислением называется потеря электронов или атомов водорода: передача их какой-нибудь другой молекуле. Реакция окисления сопровождается выделением энергии, а окисление органических веществ – тем более. Ведь их электроны находятся на высоких энергетических уровнях и, спускаясь на другую или даже на ту же молекулу, отдают большую порцию своей энергии.

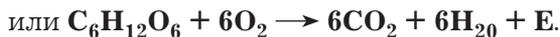
В отличие от горения, когда энергия сразу и целиком превращается в тепло, биохимическое окисление происходит *ступенчато*, потому что это *регулируемый* процесс. Он позволяет заряжать «биохимические аккумуляторы» – молекулы АТФ и других переносчиков, чтобы в результате более половины энергетических запасов употребить на жизненные процессы. Другая часть выделяется при этом в виде тепла постепенно, не повреждая чувствительные структуры клетки. Наоборот: теплокровные животные научились косвенно использовать и эту энергию для ускорения жизненных процессов.

Фазы клеточного дыхания

- Какой путь проходят органические молекулы, отдавая энергию в живой клетке?

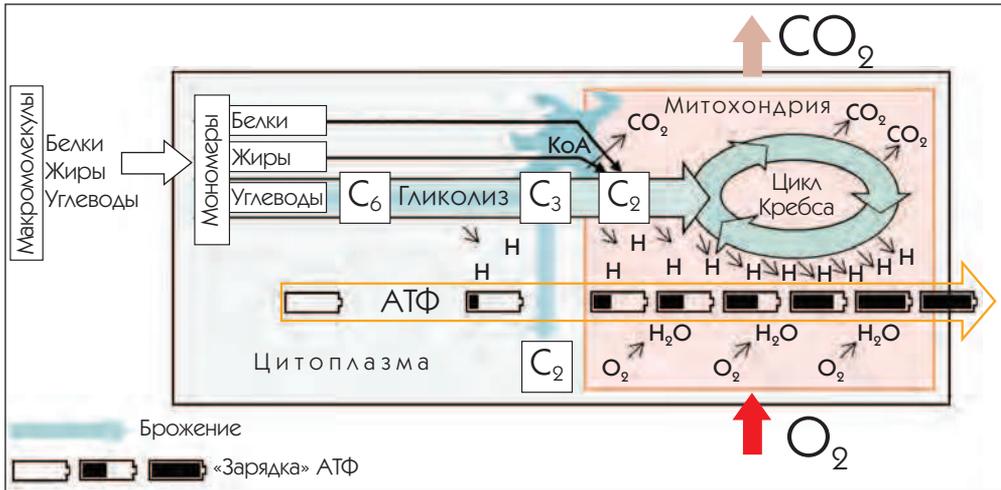
Биологическое окисление органических молекул называют энергетическим обменом. Его полный результат в случае разложения углеводов выражается суммарным уравнением:

глюкоза + кислород → углекислый газ + вода + энергия



Управляемое получение энергии в клетке складывается из трёх сложных и взаимосвязанных процессов:

- разложение крупных молекул на блоки и атомы водорода;
- разложение блоков на углекислый газ и атомы водорода, которое начинается с гликолиза, а заканчивается полным (дыхание) или неполным (брожение) разрушением углеродной цепи;
- окисление атомов водорода и зарядка «аккумуляторов».



14.1. Получение энергии из органических макромолекул в клетке

Гликолиз

- Какой энергетический процесс доступен клеткам в любой обстановке?

Основным «топливом» служат запасы полимерных углеводов: крахмал у растений и гликоген у животных. Они разбираются на 6-атомные (C₆) мономеры, такие как глюкоза, и становятся пригодными для управляемого извлечения энергии в процессе *гликолиза*. Гликолиз проходит в цитоплазме, на «конвейере» из 9 ферментов. Он состоит в постепенном расщеплении молекулы глюкозы на 3-атомные (C₃) молекулы пирувата (пировиноградной кислоты). Освободившуюся энергию улавливает АТФ, а атомы водорода временно присоединяет переносчик НАД⁺ (похожий на НАДФ⁺, но лишённый фосфатной группы).

Брожение

- Как обеспечивается повторение гликолиза в отсутствие кислорода?

Чтобы процесс продолжался, нужно освободить переносчик от водорода и вернуть его на «конвейер» для расщепления следующей молекулы глюкозы. Это можно сделать с помощью ферментов, которые присо-

единят водород обратно, к той же молекуле пирувата, превратив её в другой 3-атомный углевод или в 2-атомный с выделением углекислого газа. Такое неполное расщепление углеводов называется брожением. Преимущество брожения в том, что оно поддерживает гликолиз в бескислородной (анаэробной) среде, а недостаток – в накоплении отходов, непригодных для дальнейшей переработки.

Брожение как основной способ извлечения энергии использовалось большинством организмов на заре эволюции, когда атмосфера Земли была лишена кислорода. Широко распространено оно и сейчас у бактерий и грибов. В зависимости от конечных продуктов разложения различают спиртовое, молочнокислое, маслянокислое брожение. Однако главный недостаток брожения – неполное извлечение энергии пищи.

- Вспомните биологические и биотехнологические процессы, в которых брожение играет ключевую роль.

Дыхание

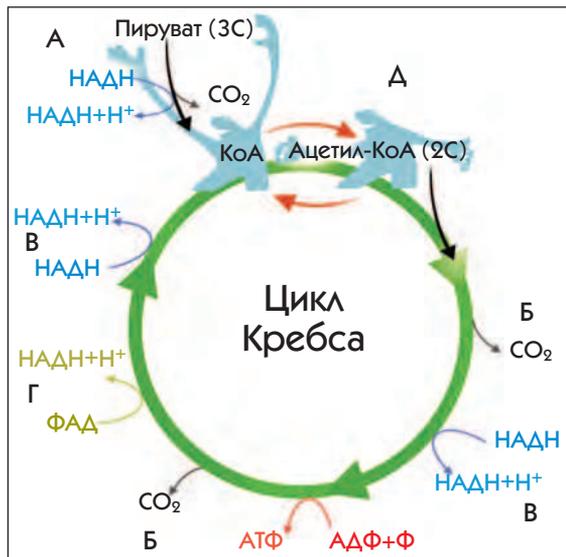
- Как достигается полное расщепление углеродных цепочек и куда переходит основная часть их энергии?

Фотосинтез, благодаря которому атмосфера обогатилась кислородом, позволил организмам освоить более эффективный, аэробный способ извлечения энергии – **дыхание** – полное расщепление органических веществ на минеральные: углекислый газ и воду.

Продукты гликолиза – пируват и атомы водорода – проникают в митохондрию. Здесь действуют свои молекулы-переносчики, из кото-

рых важнейший – кофермент А (сокращённо КоА). Он захватывает пируват, отщепляет от него один атом углерода и два атома кислорода (то есть молекулу углекислого газа), а двухатомный углевод присоединяет к себе.

Получившееся соединение, ацетилкофермент А (ацетил-КоА, рис. 14.2, А), направляется в замкнутый цикл ферментативных реакций – цикл Кребса, названный именем открывшего его немецкого биохимика. Цикл Кребса состоит из 8 стадий, в результате которых происходит полное окисление



14.2. Цикл Кребса

двухуглеродной цепочки до двух молекул углекислоты (14.2, Б). Главное же то, что при этом все атомы водорода улавливаются переносчиками НАД⁺ (14.2, В) и ФАД (ФлавинАденинДинуклеотид, 14.2, Г). Кофермент А освобождается (14.2, Д) и принимает следующую молекулу пирувата.

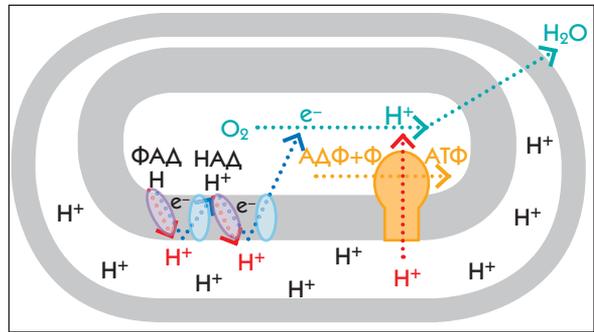
Окисление водорода

- Как добытая энергия заряжает биологические аккумуляторы?

Итогом двух предыдущих этапов является накопление атомов водорода на молекулах-переносчиках в форме НАД • Н и ФАД • Н₂. Электроны с атомов водорода, обладая высокой энергией, передают её универсальному аккумулятору – АТФ. Этот процесс называется окислительным фосфорилированием. Он происходит в митохондриях, в так называемой дыхательной цепи транспорта электронов.



14.3. Митохондрия. Кристы увеличивают рабочую поверхность внутренней мембраны



14.4. Протоны, доставленные переносчиками, совершают работу по зарядке аккумуляторов АТФ

Эта цепь расположена во внутренней мембране митохондрии. Она состоит из нескольких цитохромов – крупных органических молекул, родственных хлорофиллу и гемоглобину. Они содержат атомы железа и меди с переменной валентностью и поэтому могут передавать электрон, понижая его энергию постепенно. Порция энергии, оставленная на каждом цитохроме, используется для выкачивания протонов из митохондрии в промежуток между её мембранами. Таким образом, в митохондрии, в отличие от тилакоида, резервуаром для протонов служит полость между внутренней и наружной мембранами.

Протоны оказываются снаружи внутренней мембраны, а на мембране создаётся существенная разность потенциалов. Протоны, движимые электрическим зарядом, проходят внутрь митохондрии сквозь поры, предоставленные ферментом АТФ-синтазой, и передают ей энергию для «зарядки» АТФ.

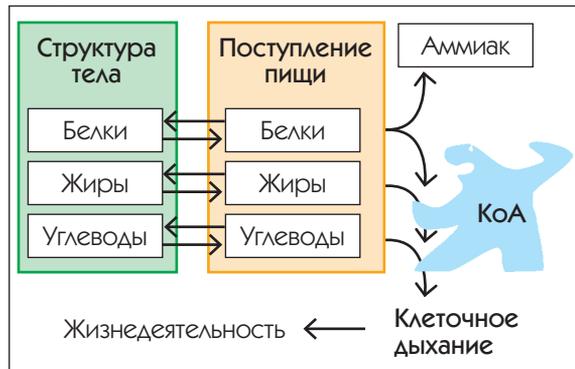
В то же время в результате наружного дыхания кислород с током крови (или диффузией) подходит к каждой клетке и проникает в митохондрии. Кислород служит акцептором электронов, исчерпавших энергию, и протонов, вернувшихся внутрь митохондрии. Они объединяются в молекулу воды.

Универсальные способы извлечения энергии

- Как любые органические молекулы могут использоваться для извлечения энергии при помощи одних и тех же ферментативных систем?

Химическое строение молекулярных блоков сахаров, жирных кислот, аминокислот очень разнообразно, и для извлечения энергии из молекулы каждого типа необходимо было бы построить свой «конвейер». Но гораздо эффективнее превратить все эти молекулы в единый вид «топлива». В клетке всё происходит именно так. Молекулы простых сахаров, жирных кислот, аминокислот и других соединений подвергаются расщеплению. Азот удаляется из белков в виде аммиака в составе мочи. После этого в составе всех органических веществ остаются в основном три элемента: С, Н, О. Все они превращаются в 2-атомные углеродные цепочки и присоединяются к коферменту А. Это и есть универсальное «топливо», из которого извлекается энергия.

Как видно из рис. 14.5, в первую очередь потребляются вещества, поступающие с пищей. Если они поступают в избытке, то синтезируются жиры, запасы которых откладываются в жировой ткани. Если же расход превышает поступление, то сначала используются запасённые углеводы, потом жиры и только в крайнем случае – структурные белки.

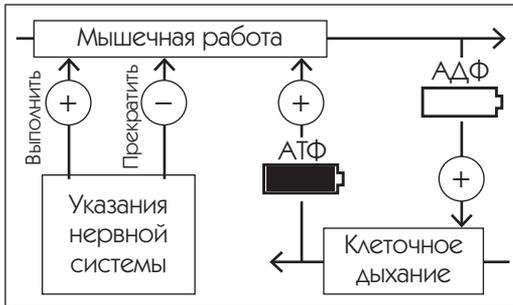


14.5. Использование «топлива»

Регуляция дыхания

- От чего зависит расход энергии в организме и в клетке?

Активность организма ограничивается количеством «биохимических аккумуляторов» – молекул АТФ (и его предшественника АДФ), приносящих энергию к месту её использования в процессах жизнедеятельности. В организме человека, например, каждая такая молекула используется примерно 2400 раз в день.

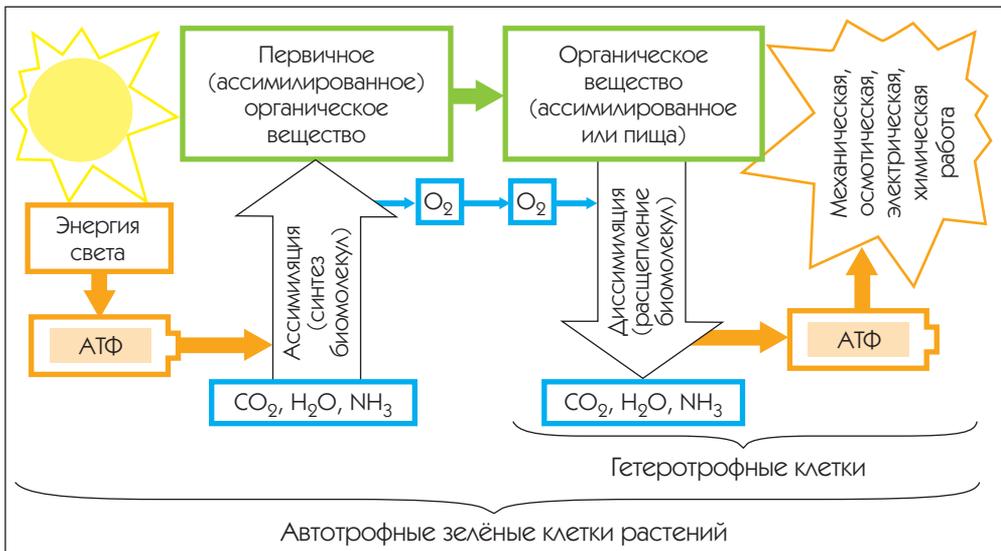


14.6. Регуляция дыхания. В результате клеточного дыхания энергия запасается в молекулах АТФ. При мышечной работе эта энергия расходуется. Нервная система контролирует данный процесс и управляет им при необходимости

Чем интенсивнее мы работаем, тем больше «аккумуляторов» в данный момент разряжено (до АДФ) и требует зарядки. Когда работа закончена, количество разряженных «аккумуляторов» (АДФ) резко сокращается. Прекращается транспорт электронов, переносчики атомов водорода не «разгружаются» от своей ноши и, следовательно, не могут участвовать в расщеплении углеродных цепочек. Поэтому клеточное дыхание замедляется до необходимого минимума.

Круговорот жизни

- Какие клеточные биохимические процессы, движимые энергией солнца, уравнивают приход и расход вещества в экосистеме?



14.7. Обмен веществ и поток энергии в клетках

- Найдите процессы синтеза и разложения органических веществ.

Итак, автотрофные организмы способны *ассимилировать* – улавливать энергию солнечного света (или энергию, выделившуюся в результате окисления неорганических веществ) и запастись её в органических

веществах. Все организмы используют эти вещества и энергию в процессе *диссимиляции*. Вещество в виде неорганических соединений возвращается в экологический круговорот. Часть энергии, высвободившейся в результате жизнедеятельности, рассеивается в виде тепла. Жизнь на Земле обеспечивается постоянным притоком энергии Солнца.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Все организмы нуждаются в поступлении энергии извне. Все организмы для жизнедеятельности используют энергию органического вещества, независимо от способов его получения. Благодаря поэтапному разложению сложных молекул на блоки из них образуется «универсальное горючее» – глюкоза. При расщеплении глюкозы на углекислый газ и воду энергия межуглеродных связей переходит к активным электронам в составе переносчиков. Активные электроны на пути окисления кислородом продвигают работу по зарядке биологических аккумуляторов. В условиях отсутствия кислорода расщепление проходит не до конца, извлекается лишь небольшая часть энергии химических связей.

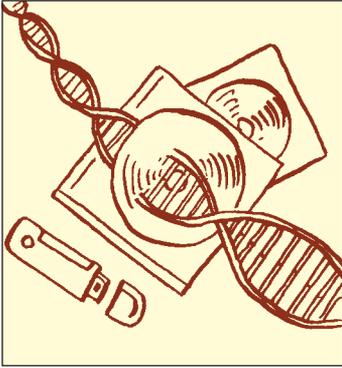
Хемосинтез. Гликолиз. Брожение. Дыхание

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Какова роль фото- и хемосинтеза в биосферном круговороте?
2. • Из каких химических процессов складывается клеточное дыхание?
3. • Какое участие в энергетическом обмене принимают различные клеточные структуры?
4. • В чём сходство и отличие клеточного дыхания от горения?
5. • Как наличие кислорода влияет на извлечение энергии из организма?
6. • Какие источники энергии использует организм для выполнения физической работы и в каком порядке?
7. • Как связаны химические процессы фотосинтеза автотрофов и использования органического вещества гетеротрофами?

§ 15. Хранение и использование наследственной информации

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Обыватель: Производители пишут, что выпущены косметические средства для кожи, содержащие ДНК и действующие на уровне ДНК!

Биолог: Информация, закодированная в ДНК, тщательно хранится и защищена от грубых вмешательств. Изменить её совсем не просто. К счастью, производители косметики просто обманывают потребителей.

- Почему биолог считает обман потребителей производителями хорошей новостью?
- В чём противоречие? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Из каких мономеров построены молекулы нуклеиновых кислот? (§ 8–9)
- Какие нуклеиновые кислоты вам известны? (§ 8–9)
- Молекулы каких веществ называют информационными и почему? (§ 8–9)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Хранители информации

- Как изолирована наследственная информация в клетке эукариот?

В ядре каждой клетки в молекулах ДНК находится информация обо всём живом организме. Несмотря на то что клеткой используется лишь небольшая её часть, касающаяся собственного развития и жизнедеятельности, вся информация бережно хранится и передаётся дочерним клеткам.

В цитоплазме эукариот идут активные химические процессы, поэтому ядро клетки окружено двумя мембранами, необходимыми для защиты уязвимых тонких молекул ДНК от случайных повреждений. Кроме того, в ядре проходят специфические химические реакции, требующие определённого набора ферментов и среды. Поры, пронизывающие ядерные оболочки, служат для транспорта различных молекул в цитоплазму и обратно.

Упаковка ДНК

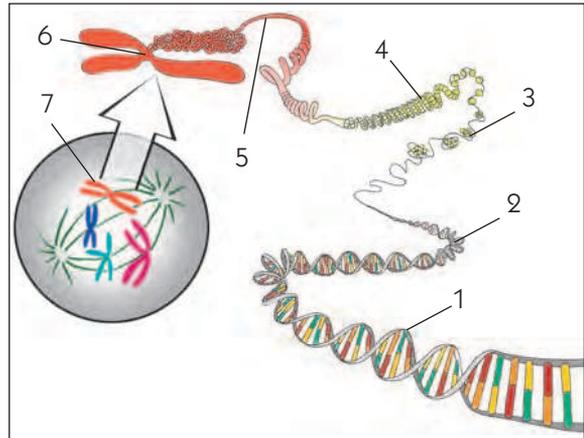
- В каком виде содержится ДНК в клетках эукариот?

В отличие от прокариот, ДНК которых представляет собой замкнутую кольцевую молекулу, ДНК эукариот представлена несколькими линейными молекулами. Общая длина их очень велика: например, длина ДНК

человека составляет более 1 метра. Каким образом эти огромные молекулы могут помещаться в ядре, диаметр которого составляет несколько микрон?

ДНК эукариот связана с белками-гистонами, которые и обеспечивают упаковку этой огромной молекулы в компактные структуры – **хромосомы**. Гистоны очень богаты аминокислотами, имеющими положительно заряженные группы. Они связываются с отрицательно заряженными фосфатными группами на внешней стороне двойной спирали ДНК. В результате этих взаимодействий молекула ДНК становится в 10 тыс. раз короче исходной. Этот процесс называется *конденсацией ДНК* и наблюдается в клетке во время её деления. Она облегчает перемещение хромосом в дочерние клетки.

Информация, содержащаяся в столь плотно упакованной молекуле, не может быть доступна ферментам. Лишь между делениями клетки отдельные участки ДНК становятся доступными, но при этом ДНК не распаковывается до конца.



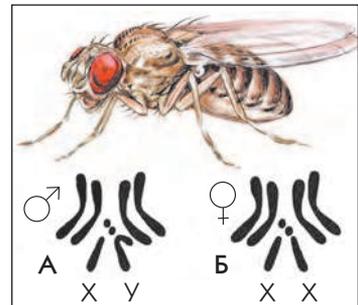
15.1. Способ упаковки ДНК

ДНК эукариот (1) связана с белками-гистонами (2). Гистоны изгибают ДНК так, что её небольшой отрезок спирально накручивается на комплекс из нескольких гистонов. Получается дисковидная частица (3). Частицы связываются друг с другом, образуя плотно упакованную нить (4), которую специальные белки укладывают в петли. Петли скручиваются в спирали и образуют складки (5). Из них формируется хромосома (6), которую хорошо видно в ядре (7) во время деления клетки.

Хромосомный набор

- Смешивается ли в клетке наследственная информация от отца и матери?

Число хромосом, содержащихся в клетке эукариот, специфично для каждого вида организмов. Клетки человека содержат 46 хромосом, собаки – 78 хромосом, кошки – 38, плодовой мушки дрозофилы – 8 (рис. 15.2), а у речного рака их 116. Во всех клетках организмов, кроме половых, диплоидный (двойной) набор хромосом, он всегда составляет чётное число.



15.2. Хромосомы дрозофилы: А – самки; Б – самца

Его обозначают $2n$, где n – число пар сходных по строению и одинаковых по форме хромосом. Наличие таких пар объясняется тем, что один набор хромосом, содержащий информацию обо всех признаках, организм получает от отца через спермий, а другой – от матери через яйцеклетку. Так как обе хромосомы в таких парах содержат информацию об одних и тех же признаках организма, их называют **гомологичными хромосомами**. Заметим: связи между количеством хромосом живого организма и сложностью его устройства проследить не удаётся.

Генетический код

- На каком «языке» записана информация о строении и функциях клеток?

В ДНК закодирована информация о строении молекул белков. Свойства любого белка зависят от его первичной структуры – последовательности аминокислот. Она определяется последовательностью нуклеотидов на участке ДНК. Такой свойственный всем живым организмам способ зашифровки аминокислотной последовательности белков при помощи последовательности нуклеотидов называется **генетическим кодом**. Каким образом закодирована эта информация?

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

15.3. Некоторые аминокислоты и кодирующие их триплеты мРНК

аминокислоты. Ещё один триплет, соответствующий аминокислоте метионину (АУГ), обозначает место начала синтеза молекулы белка. Три триплета (УАА, УГА, УАГ) вовсе не кодируют аминокислоты, а служат стоп-сигналами, отмечая конец молекулы белка. Их называют **стоп-кодонами**.

Каждой аминокислоте молекулы белка в молекуле ДНК соответствует комбинация из трёх последовательно расположенных нуклеотидов, называемых *триплетом*, или *кодоном* (рис. 15.3). Так как в состав ДНК входят 4 вида нуклеотидов, число их возможных сочетаний равно $4 \times 4 \times 4$, т.е. теоретически ими можно закодировать 64 аминокислоты. Но в состав белковых молекул входят только 20 аминокислот, поэтому для большей части из них существует несколько равнозначных триплетов. Такой код называют **вырожденным**. Из 64 возможных кодовых триплетов генетического кода 61 кодирует

Свойства генетического кода

1. Единица информации кодируется **триплетом** – тремя последовательно расположенными нуклеотидами ДНК (РНК).
2. Код **однозначен**, т.е. триплету соответствует только одна аминокислота (или действие).
3. Код **вырожден**, так как некоторые аминокислоты кодируются несколькими триплетами.
4. Между генами расположены «знаки препинания» (место начала синтеза молекулы белка, стоп-кодоны) – триплеты, отделяющие один ген от другого.
5. Один нуклеотид не может быть в составе двух триплетов – следовательно, генетический код **неперекрываем**.
6. Код **универсален**, так как он един для всех живых существ на Земле.

Считывание кода

- Какие механизмы позволяют использовать информацию, закодированную в молекуле ДНК, для построения молекул белка?

Синтез белка идёт в цитоплазме, а молекула ДНК всегда находится в ядре, если только клетка не делится. Следовательно, необходимую информацию нужно переписать на молекулу-посредник. Такими посредниками выступают молекулы иРНК. Код ДНК переписывается в код РНК (как вы помните, состав РНК несколько отличается от состава ДНК). Этот процесс так и называется – **транскрипция** (лат. transcriptio – переписывание).

Затем происходит процесс перевода кода нуклеиновых кислот в аминокислотную последовательность белка, называемый **трансляцией** (лат. translatio – передача). Транскрипция идёт в ядре, а трансляция – вне ядра, на рибосомах.

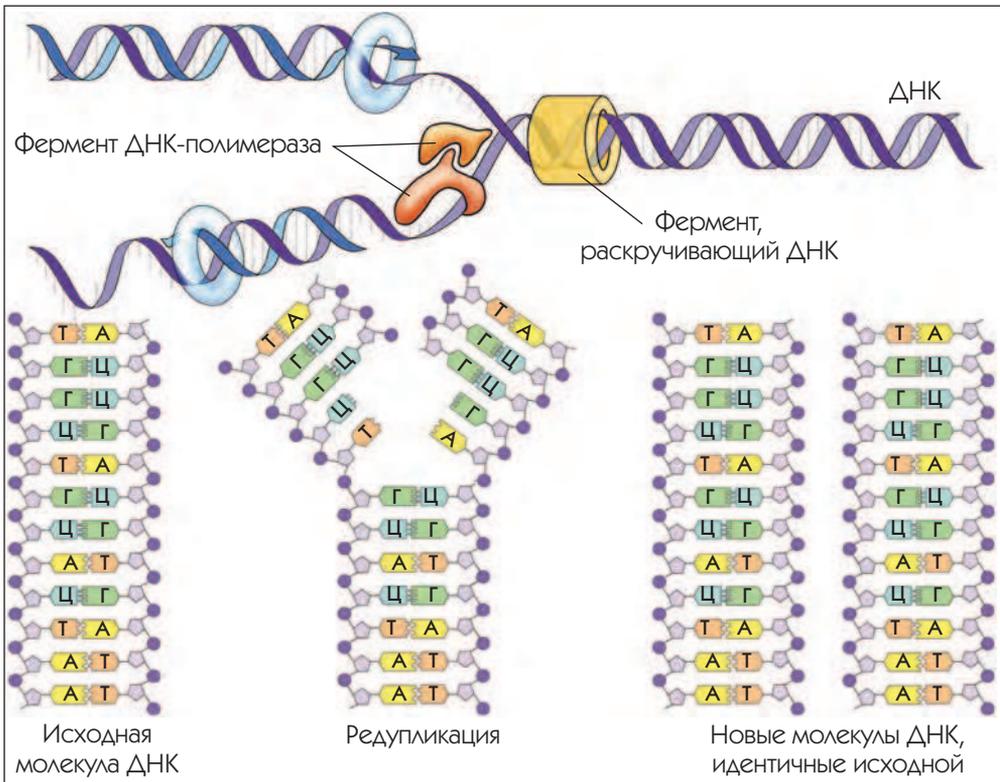
В ДНК записана информация обо всех молекулах белка, свойственных данному организму. Следовательно, на иРНК одновременно копируется не вся молекула, а только её участок, несущий информацию о строении молекулы одного белка. Такой участок называется **геном**. В каждой молекуле ДНК заключено множество генов, но и они составляют лишь часть всей молекулы. Каждый ген содержит не только тот участок, в котором закодирована структура какого-либо белка, но и специальные участки, способные «включать» и «выключать» работу каждого гена. Кроме того, существуют участки ДНК, управляющие копированием всей молекулы ДНК при делении клетки; участки, необходимые для прикрепления хромосомы к веретену деления, и другие. Но о том, что кодирует большая часть двойной спирали, пока ничего не известно, и считают, что клетки содержат большой избыток ДНК.

Репликация ДНК

- Как достигается идентичность молекул ДНК в каждой клетке организма?

Для того чтобы поделиться надвое, клетка должна удвоить и всё свое содержимое, включая ДНК. Чтобы использовать информацию ДНК, её приходится копировать часто, а чтобы её сохранить, надо копировать абсолютно точно. Эту работу в клетке выполняет специальный, хорошо отлаженный механизм.

Копирование молекулы ДНК называется **репликацией**, или **редупликацией**. Благодаря действию специального фермента, разрывающего водородные связи между азотистыми основаниями, две цепи исходной молекулы ДНК расходятся, подобно двум половинкам застёжки-молнии. Тогда каждая цепь оказывается открытой для сборки на ней, как на матрице, новой комплементарной цепи из нуклеотидов, доставленных к месту сборки. По каждой отдельной цепи движется фермент ДНК-полимераза, помогающий сращивать нуклеотиды в новую цепь при поддержке энергии АТФ. В результате получается две



15.4. Репликация ДНК

идентичные двойные цепи, из которых одна старая, материнская, а другая – вновь созданная. Поэтому такой принцип репликации называется *полуконсервативным*.

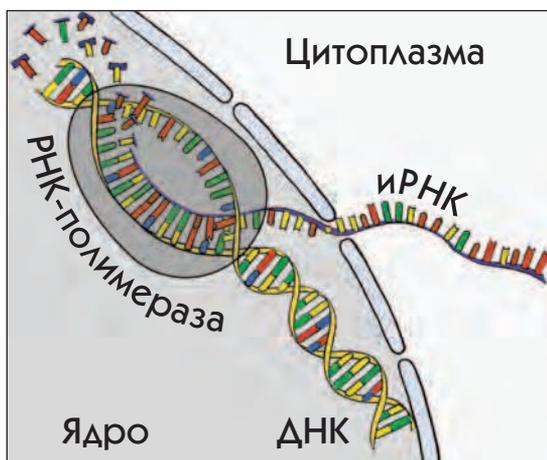
«Скелеты» цепей имеют неодинаковые концы: один заканчивается гидроксильной группой (-ОН), а другой – остатком фосфорной кислоты. В двойной спирали цепи расположены «валетом», что позволяет им связаться друг с другом. ДНК-полимераза может строить новую цепь только в одном направлении: от остатка фосфорной кислоты к гидроксильной группе. Поэтому одна новая цепь ДНК достраивается непрерывно, а другая – прерывисто, в виде коротких фрагментов, которые синтезируются во встречном направлении, а потом сшиваются.

Точность репликации ДНК очень высока: неверно присоединённые нуклеотиды встречаются не чаще, чем один на 10 миллиардов! Однако иногда ДНК повреждается факторами внешней среды, например ультрафиолетом или некоторыми химическими веществами. Поэтому в клетке существует набор ферментов, устраняющих эти ошибки. Процесс устранения ошибок называется *репарацией*. И всё же отдельные ошибки устранить не удаётся. Возникшие генетические изменения называются *мутациями*.

Транскрипция

- В каком виде информация переносится из ядра к месту синтеза белка?

Транскрипция, т.е. синтез молекул РНК на цепи ДНК, катализируется ферментом РНК-полимеразой. Он прочно присоединяется к молекуле ДНК и начинает раскрывать определённый участок двойной спирали. Когда открывается доступ к нуклеотидам, РНК-полимераза подбирает комплементарные РНК-нуклеотиды к основной цепи ДНК, используя её как *матрицу*, и сшивает из них цепь РНК. За молекулой фермента двойная спираль ДНК немедленно восстанавливается, закрывая доступ к наследственной информации. Так продолжается до тех пор, пока фермент не достигнет стоп-сигнала. В этой точке РНК-полимераза отсоединяется от обеих молекул, а молекула РНК направляется в цитоплазму.

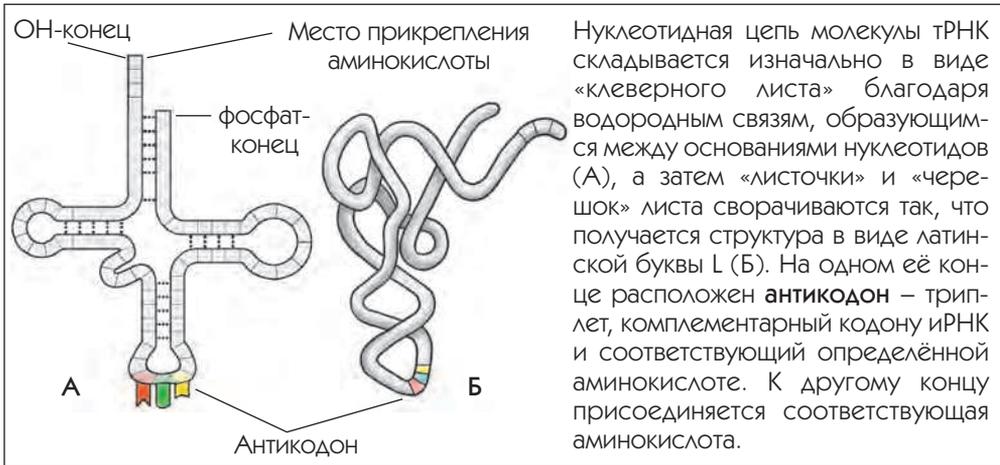


15.5. Транскрипция – создание иРНК

Трансляция

- Как происходит перевод информации ДНК на «язык» белка?

Это делают РНК различных типов, синтезированные на молекуле ДНК. Информацию о строении белка переписывает информационная РНК – иРНК, или иначе матричная РНК – мРНК. Информация о строении рибосомы содержится в рибосомной (рРНК), а информацией по опознанию аминокислот и их кодов располагают транспортные (тРНК), набор которых обеспечивает доставку всех 20 аминокислот, входящих в состав белков.

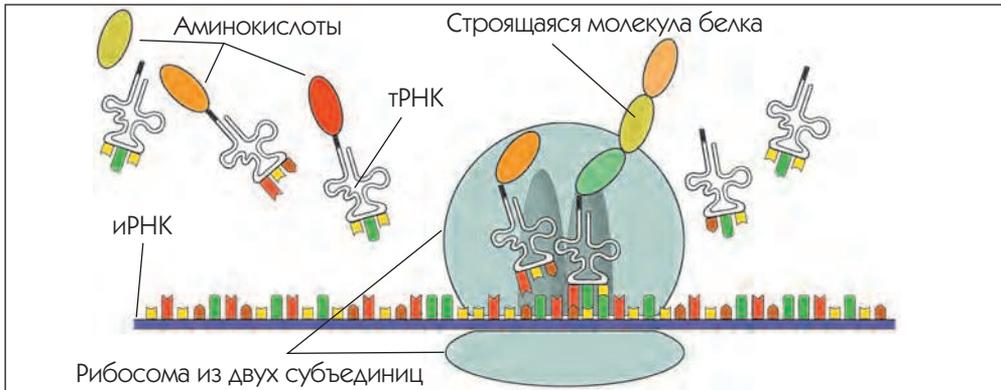


15.6. Структура транспортной РНК

Рибосомы обеспечивают взаимодействие иРНК с молекулами тРНК и выстраивание полипептидной цепи в точном соответствии с инструкцией, заложенной в ДНК. В цитоплазме клетки к разнообразным аминокислотам присоединяются молекулы специфических тРНК. В то же время к старт-кодону иРНК присоединяется рибосома. Она начинает перемещаться вдоль молекулы иРНК и последовательно активирует её триплеты, давая возможность подходить тРНК с соответствующими антикодонами и подносить аминокислоты в нужном порядке. При этом фермент рибосомы сшивает аминокислоты пептидной связью. Сигналом к окончанию процесса служит достижение рибосомой стоп-кодона.

Обычно как только первая рибосома достаточно продвинется по иРНК, к её началу присоединяется новая рибосома и начинает собирать следующую молекулу белка. Такие «бусы» из множества рибосом, передвигающихся по одной иРНК, называют полирибосомами, или полисомами.

Синтез белка – один из самых энергоёмких процессов в клетке, требующий участия большого количества ферментов, контролирующих каждый шаг этого процесса.



15.7. Схема биосинтеза белка

В отличие от других органелл, митохондрии и хлоропласты всегда образуются путём деления, направляемого собственными ДНК. Они представлены кольцевыми молекулами, не образующими связь с гистонами, чем очень напоминают ДНК бактерий. Однако большая часть белков митохондрий и хлоропластов закодирована в ядерной ДНК и синтезируется в цитоплазме. Таким образом, эти органеллы в клетке обладают ограниченной автономией.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Молекула ДНК, плотно упакованная с помощью белков-гистонов, образует хромосому. Число и форма хромосом в клетке специфичны для каждого вида организмов. Информация, содержащаяся в ДНК, записана с помощью универсального генетического кода, информационной единицей которого служит триплет – комбинация трёх нуклеотидов. Использование наследственной информации осуществляется в процессах репликации, транскрипции и трансляции, результатом которых является синтез белка.

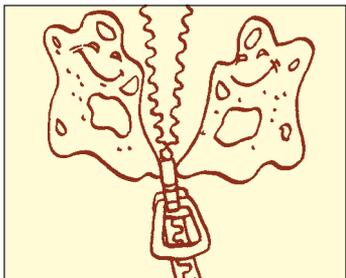
Хромосома, гомологичная хромосома. Генетический код. Триплет. Транскрипция. Трансляция. Редупликация

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Какую роль в жизни клетки играют белки-гистоны?
- Каковы свойства генетического кода?
- В основе какого процесса лежит репликация ДНК?
- Какова роль ДНК и РНК в процессе биосинтеза белка?
- Что такое трансляция и транскрипция?
- Какова последовательность нуклеотидов во второй цепочке молекулы ДНК, если одна из них имеет последовательность: ГАТТАЦГАГТАЦЦГАТАЦТЦ?

§ 16. Деление клеток

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Обыватель: Известно, что даже одна лишняя хромосома приводит к тяжёлым отклонениям в развитии. Какие механизмы обеспечивают в огромном большинстве случаев рождение нормальных, полноценных детей?

- В чём противоречие? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Различаются ли хромосомные наборы в клетках одного и того же организма? (9 класс)
- Каковы функции ядра? (§ 11–12)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Клетка – единица строения

- Для чего необходимо деление клеток?

Когда-то Рудольф Вирхов пришёл к выводу, что все клетки появляются путём деления родительских клеток. Клетки не могут «позволить себе» значительное увеличение размеров, так как основной энергетически выгодный способ доставки веществ – диффузия – будет занимать слишком много времени, и скорость обмена веществ будет снижаться. Поэтому все процессы в организме, которые связаны с развитием, увеличением размеров органов или их «починкой», обеспечиваются увеличением числа клеток. Благодаря делению обновляются клетки различных органов, заживают раны, организм растёт и изменяется. В организме взрослого человека каждую секунду должно появляться несколько миллионов новых клеток. Огромное количество последовательных клеточных делений приводит к развитию сложного многоклеточного организма из единственной клетки – зиготы. При этом основную массу оргanelл и молекул, присутствующих в клетке, можно поделить без особой точности, примерно пополам.

Жизненный цикл клетки

- Как распределяются функции клетки по стадиям её жизни?

Жизненный цикл клетки начинается в момент её возникновения из материнской и заканчивается делением на дочерние клетки. В период от деления до деления клетка должна сформировать оргanelлы и синтезировать вещества в таком количестве, чтобы дочерние клетки получили всё необходимое для выживания и репродукции. Последователь-

ность процессов, происходящих в клетке с момента её возникновения в процессе деления и до следующего деления, называется **клеточным циклом**. В нём различают несколько этапов, в течение которых состояние клетки сильно меняется (рис. 16.1).

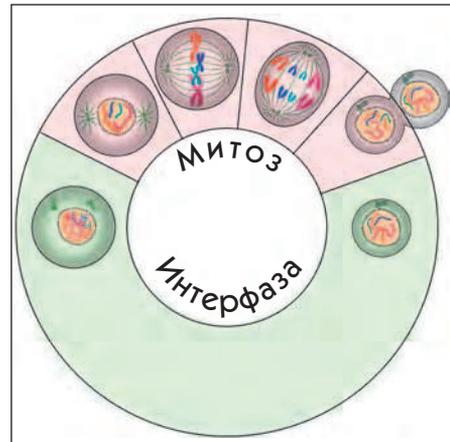
Период клеточного цикла от возникновения клетки и до начала следующего деления называется *интерфазой*. При наблюдении за клеткой в интерфазе под световым микроскопом кажется, что ничего не происходит, кроме увеличения её в размерах. Однако исследования показали, что в клетке происходит множество событий, подготавливающих её к делению.

Интерфазу делят на три периода. В начальный период клетка растёт, её органеллы обновляются и увеличиваются в числе, активно идут реакции обмена веществ, разворачивается синтез белков. Для осуществления этих процессов необходима информация, закодированная в ДНК. Она частично распаковывается, поэтому в этот период хромосомы практически неразличимы в световом микроскопе: они представляют собой клубок тонких, длинных нитей.

Некоторые сильно специализированные клетки, например эритроциты или нейроны, выполняют все свои функции в течение первого периода интерфазы, а затем погибают. В клетках, способных к делению, в период интерфазы постепенно накапливаются необходимые вещества и энергия (в виде АТФ), после чего они переходят в следующий период интерфазы. ДНК реплицируется (удваивается), и каждая хромосома теперь содержит не одну, а две абсолютно одинаковые молекулы ДНК в комплексе с белками – сестринские *хроматиды*, соединённые перетяжкой-центромерой. Именно такие хромосомы в конденсированном виде имеют X-образную форму. При этом хромосом не становится больше, их набор остаётся диплоидным – $2n$. У человека, например, $2n = 46$, или 23 пары гомологичных хромосом.

Последний, относительно короткий промежуток интерфазы посвящается подготовке к делению. Вырабатываются белки, из которых формируется двигательный аппарат деления ядра, запасается энергия, клетка контролирует точность прошедшей репликации ДНК и исправляет обнаруженные сбои.

Длительность интерфазы бывает различной в зависимости от ткани, стадии развития, вида организма. В эмбрионах она может длиться



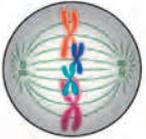
16.1. Клеточный цикл состоит из продолжительной интерфазы и сравнительно короткого периода деления клетки

меньше часа, есть клетки, которые навсегда остаются в этой стадии. От продолжительности интерфазы зависит частота последовательных делений в ряду клеточных поколений.

МИТОЗ

- Как происходит равноценное деление клеток?

Способ деления, при котором каждая из дочерних клеток получает точную копию генетического материала родительской клетки, называется **митозом**. При митозе получаются две одинаковые клетки с полным набором хромосом, идентичным набору родительской клетки. Митоз лежит в основе роста, регенерации и вегетативного размножения всех эукариот. Благодаря митозу поддерживается постоянство и равноценность генетического материала в поколениях клеток.

Фаза	Процесс
Профаза 	Удвоенные хромосомы плотно укладываются (конденсируются) и приобретают вид плотных нитчатых структур. Центриоли удваиваются и расходятся к разным полюсам клетки. Ядерная мембрана разрушается. Эндоплазматическая сеть и аппарат Гольджи распадаются на мелкие вакуоли, разбросанные в цитоплазме. Микротрубочки выстраиваются от одной центриоли к другой, образуя веретено деления. Хромосомы без особого порядка лежат в зоне бывшего ядра. К центромере каждой хромосомы с двух сторон прикрепляются нити веретена от каждой центриоли.
Метафаза 	Хромосомы располагаются на равном расстоянии от обеих центромер, в экваториальной плоскости клетки. Центромеры, скреплявшие хромосомы, делятся, после чего хроматиды полностью разъединяются.
Анафаза 	Нити веретена растягивают хроматиды к противоположным полюсам клетки: от каждой хромосомы одна хроматида движется к одному полюсу, другая – к другому. Теперь это уже не хроматиды, а сестринские хромосомы, которые попадут в разные клетки. Так происходит равномерное распределение наследственной информации материнской клетки между дочерними.
Телофаза 	Хромосомы начинают распаковываться (деконденсироваться), утоньшаются, удлиняются и пропадают из виду. Появляется ядерная мембрана, формируются ядрышки, разбирается веретено деления. Цитоплазма разделяется перегородкой или поперечной перетяжкой на две дочерние клетки, в которые примерно в равном количестве попадают органеллы.

16.2. Митоз

- Рассмотрите схему митоза. Какие изменения в ядре происходят в профазе?

Этот сложный и многоступенчатый процесс включает ряд последовательных фаз, в результате которых сначала разделяется ядро, а затем происходит деление цитоплазмы.

Деление клеток всех эукариот связано с образованием специального аппарата клеточного деления. Разделение хромосом осуществляется с помощью так называемого *веретена деления*, состоящего из микротрубочек, а у животных имеет также центриоли. Деление цитоплазмы происходит тоже с участием цитоскелета. У клеток животного происхождения образуется перетяжка, а клетки растений разделяются клеточной перегородкой.

Митоз не всегда заканчивается разделением тела клетки. Иногда, например в эндосперме некоторых растений, многократное митотическое деление ядер не сопровождается делением цитоплазмы. Это приводит к образованию гигантской многоядерной клетки – симпласта.

Два типа деления клеток

- Почему равноценное деление не всегда отвечает задачам организма?

Напомним, что половое размножение – это процесс образования нового организма в результате слияния половых клеток – *гамет*. В клетках всех живых организмов, у которых существует половое размножение, деление осуществляется двумя различными способами. Развитие многоклеточного организма начинается с одной-единственной клетки – зиготы, несущей двойной набор хромосом ($2n$), и включает многие тысячи митотических делений. Каждому клеточному делению предшествует удвоение числа хромосом. Если бы этого не было, число хромосом в клетках постоянно бы уменьшалось, с каждым делением терялась бы часть наследственной программы, клетки потеряли бы возможность правильно выполнять свои функции. Этого не происходит благодаря удвоению хромосом перед каждым митозом.

Однако зигота образуется в результате слияния мужской и женской половых клеток. Если бы половые клетки появлялись в результате митотического деления, то они содержали бы по два набора хромосом, и зигота содержала бы уже четыре набора. При скрещивании организмов, развившихся из таких зигот, появлялись бы потомки, содержащие восемь наборов хромосом, т.е. в каждом поколении число хромосом увеличивалось бы вдвое. Поэтому необходим такой тип деления, при котором число хромосом в дочерних клетках уменьшается вдвое. Этот тип деления называется **мейозом**, или *редукционным делением*.

Из вышесказанного следует, что при половом размножении в многоклеточном организме должно быть два типа клеток: одни с одинарным набором хромосом ($1n$), другие – с двойным ($2n$). Так и есть, все клетки организма, кроме половых, содержат двойной набор хромосом. Они

называются соматическими клетками. Половые клетки содержат одинарный набор хромосом. Соматические клетки способны к делению, они воспроизводятся, и, кроме того, из них образуются половые клетки. Половые клетки не делятся, но при оплодотворении они сливаются, и наборы их хромосом объединяются в зиготе, дающей начало многоклеточному организму.

Мейоз – способ образования гамет

- Как наследственный материал распределяется по гаметам?

Благодаря мейозу в клетках организмов от поколения к поколению поддерживается постоянное число хромосом. Кроме того, в мейозе в результате кроссинговера происходит перераспределение генов, увеличивающее разнообразие их комбинаций в гаметах.

Мейоз – способ деления диплоидных клеток ($2n$), в результате которого происходит уменьшение (*редукция*) числа хромосом до гаплоидного ($1n$). Мейоз состоит из двух последовательных делений (мейоз-I и мейоз-II), но удвоение ДНК происходит только один раз, в интерфазе перед первым делением. Подобно митозу, каждое деление мейоза состоит из четырёх основных стадий – профазы, метафазы, анафазы и телофазы.

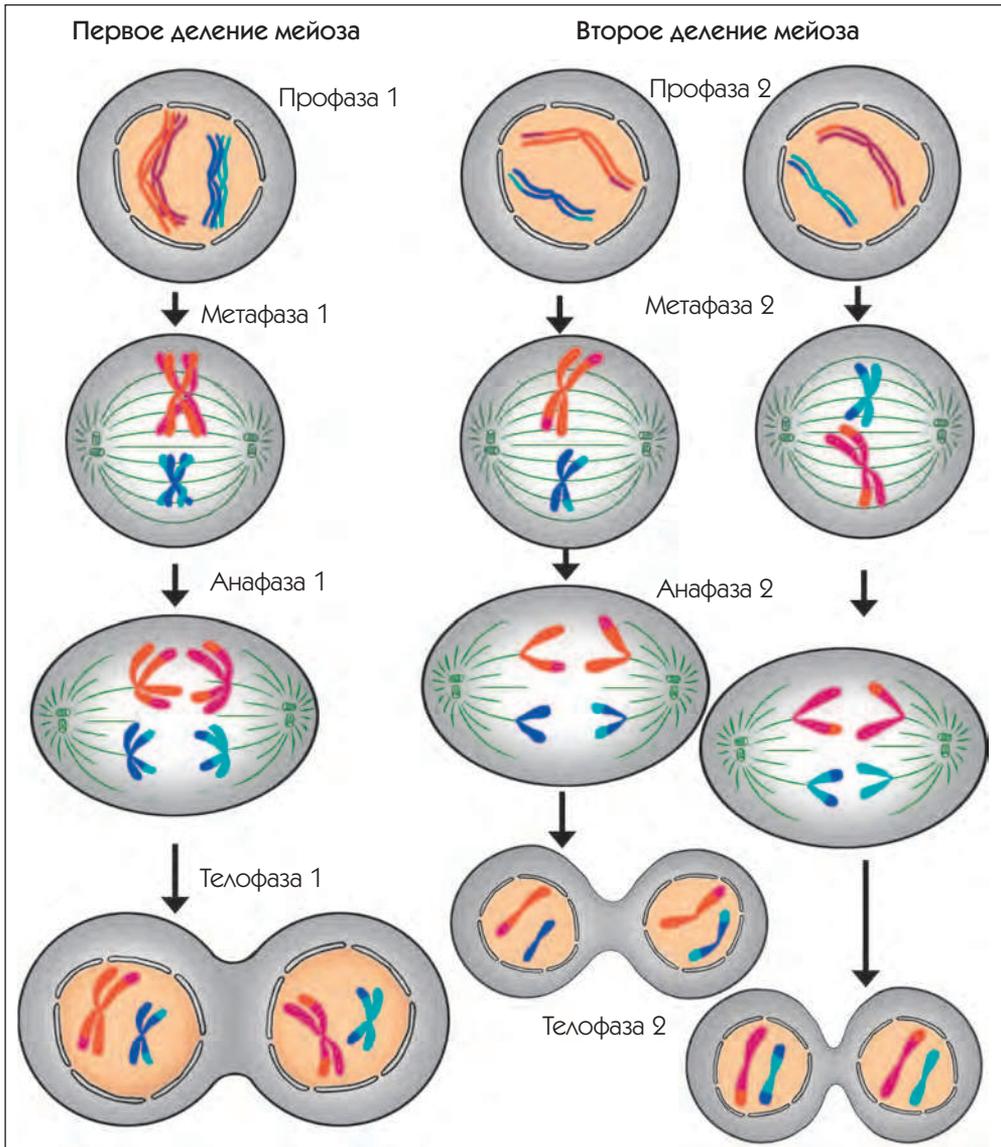
В интерфазе перед началом мейоза, как и при митозе, каждая пара гомологичных хромосом (включающая одну отцовскую и одну материнскую) удваивается, превращаясь в две пары сестринских хроматид. Затем начинается длительная профазы мейоза-I, в которой происходят все события, отличающие мейоз от митоза. Гомологичные пары хромосом *конъюгируют*: сближаются и переплетаются. В результате образуется гаплоидное число «склеенных» гомологичных хромосом – *бивалентов* (из четырёх хроматид). Между материнской и отцовской парами хроматид происходит обмен участками – **кроссинговер**.

В метафазе биваленты выстраиваются в плоскости экватора, а нити веретена разделяют гаплоидное число бивалентов на два гаплоидных набора целых хромосом. Они расходятся к полюсам клетки, причём хромосомы с наследственным материалом отца и матери образуют у каждого полюса случайную комбинацию.

Таким образом, если материнская клетка имела каждую хромосому в двух экземплярах от обоих родителей, то дочерние лишь в одном экземпляре, от одного из них, в случайной комбинации. Исключение составляют хромосомы, обменявшиеся участками хроматид во время кроссинговера: в них гомологичные хроматиды содержат гены разных родителей.

Второе деление происходит сразу вслед за первым, так что генетический материал больше не удваивается. Гаплоидное число хромосом просто расщепляется на хроматиды, которые расходятся и образуют два гаплоидных набора хромосом. Таким образом, в результате двух делений мейоза из обычной диплоидной клетки получается четыре гап-

лоидные дочерние клетки. Каждая клетка имеет теперь гены всех признаков лишь в одном экземпляре. Одни из них получены в составе отцовской хромосомы, другие – в составе материнской, а третьи – в составе хромосом с заменёнными участками.



16.3. Мейоз

- Рассмотрите схему мейоза. В чём сходство и в чём различия митоза и мейоза?

Сравнение митоза и мейоза

Митоз	Мейоз
Характерен для одноклеточных эукариот и соматических клеток многоклеточных организмов	Характерен для клеток эукариот, из которых образуются гаметы животных и споры растений
Наблюдается на протяжении всей жизни организма	Наблюдается при созревании гамет или образовании спор
Включает в себя одно деление	Включает в себя два деления
Из одной клетки образуется две	Из одной клетки образуется четыре
Дочерние клетки не отличаются от исходной по числу хромосом и наследственной информации	Дочерние клетки содержат вдвое меньше хромосом, информация в них отличается от исходной
Необходим для роста организма, восстановления повреждённых частей, бесполого размножения	Необходим для сохранения числа хромосом у потомков и комбинирования наследственной информации

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Клеточный цикл включает фазу обычной жизнедеятельности клетки и фазы её деления. Митоз – равноценное деление соматических клеток – обеспечивает воспроизведение двух дочерних клеток, идентичных родительской. Мейоз – редукционное деление – используется при образовании гамет. При этом из диплоидной клетки образуется четыре гаплоидные гаметы с полным набором генов в случайном сочетании хромосом отца, матери и хромосом с участками от обоих родителей, обменёнными в результате кроссинговера.

Митоз. Мейоз

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Как соотносятся клеточный цикл и клеточное деление?
- Какие процессы характерны для клетки в первом периоде интерфазы?
- В какой фазе клеточного цикла происходит репликация ДНК?
- На какой фазе деления хромосомы видны в световой микроскоп?
- Каковы хромосомные наборы соматических и половых клеток человека?
- Назовите основные отличия мейоза от митоза.
- К каким последствиям приводит конъюгация хромосом?
- Почему зрелые половые клетки одного организма несут разные комбинации генов?
- Передаются ли мутации ДНК соматических клеток по наследству при половом размножении?



•• МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрение фаз митоза на готовом микропрепарате

Рассмотрите под микроскопом готовые препараты корешка лука. Найдите и зарисуйте клетки, находящиеся на разных стадиях митоза.

При наличии цифрового микроскопа сделайте снимки. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения.

§ 17. Вирусы – генные паразиты

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Паразит – живой организм, использующий в качестве источника питания и среды обитания другие организмы.

Факт 2. Вирус не обладает таким неперенным свойством живого, как обмен веществ.

- В чём противоречие? Какая проблема возникла в связи с открытием вирусов? Предложите свой вариант вопроса и сравните его с авторским на с. 396.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие свойства живого вам известны? (§ 3)
- В каком виде хранится и передаётся наследственная информация? (§ 8–9)
- Как происходит синтез белка в клетке? (§ 15)
- Что такое вакцина? (§ 8)

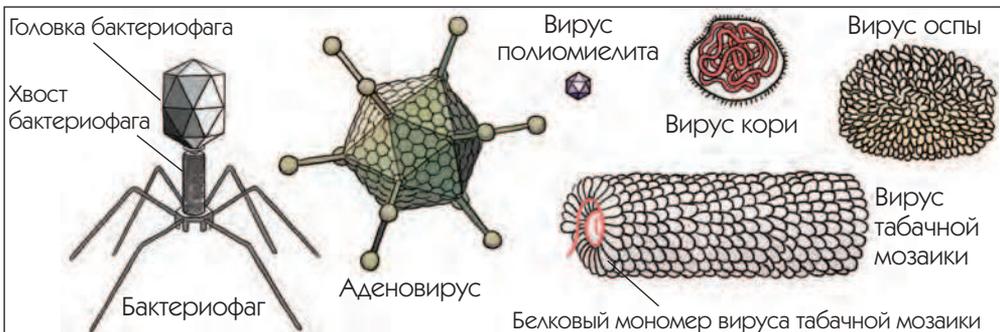
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

- Найдите в тексте информацию и сформулируйте свой вариант решения проблемы.

Инфекционные частицы

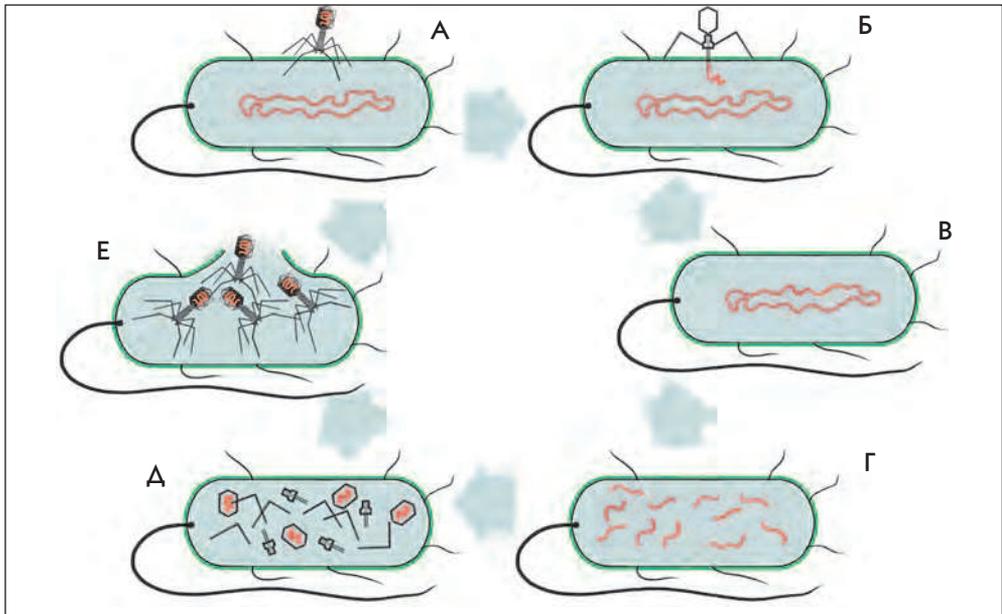
- По каким последствиям обнаруживается присутствие вирусов?

Вирус (от лат. *vīrus* – яд) впервые описан российским учёным Д.И. Ивановским (1864–1920). Это был возбудитель болезни табака – табачной мозаики. Учёного удивило то, что среда с возбудителями оставалась опасной для растений даже после процеживания сквозь тончайшие фильтры, задерживающие самые мелкие бактерии. Вторая поразительная особенность, отличавшая их от бактерий, – то, что возбудитель невозможно разводить в искусственной среде: ему непременно нужны живые листья табака.



Вирусы – возбудители огромного количества заболеваний человека, животных и растений. Среди них и хорошо знакомые каждому насморк, бородавки, ветряная оспа, корь, грипп и такие опасные болезни, как гепатит, вирусный иммунодефицит человека (ВИЧ), некоторые формы злокачественных опухолей и многие другие заболевания. Вирусы могут поражать любые организмы, даже бактерии. Инфицирующие их вирусы имеют специальное название – *бактериофаги*.

Лишь много лет спустя, с изобретением электронного микроскопа, удалось рассмотреть вирусные частицы. Их размеры – от 20 до 3000 нм – сравнимы с размерами макромолекул. Попадая в живую клетку, вирус перестраивает её жизнедеятельность на производство себе подобных вирусных частиц.



17.2. Схема размножения бактериофагов: А – бактериофаг прикрепляется к поверхности бактериальной клетки; Б – бактериофаг вводит свою ДНК в клетку; В – фаз инактивирует ДНК бактерии; Г – ДНК бактерии разрушается; Д – ферменты фага расщепляют ДНК клетки. Клеточный аппарат используется для построения новых частиц фага; Е – лизис клетки



По воздействию на клетку различают три типа вирусных инфекций.

Литические (разрушающие) инфекции: в поражённой клетке массовое одновременное размножение вируса приводит к разрушению (лизису) клетки.

Персистентные (стойкие) инфекции: поражённая клетка продолжает жить и делиться, но перестраивается, в ущерб собственным функциям, на постепенное производство вирусов.

Латентные (скрытые) инфекции: вирус встраивает свой наследственный материал в хромосому клетки, что внешне никак не проявляется. Спустя долгое время внешние факторы, вызывающие ослабление организма, могут спровоцировать размножение вируса.

Строение вирусов

- Какие общие черты и особенности строения характерны для вирионов?

Вне живой клетки-хозяина вирус не размножается. Он существует в виде вирусной частицы – *вириона*, не проявляющего признаков жизни. Он состоит из двух элементов: генетического материала (молекулы ДНК или РНК) и белковой оболочки – *капсид*а.

По генетическому материалу вирусы делятся на *ДНК-содержащие* и *РНК-содержащие*. При этом и те и другие могут иметь одну или две цепочки нуклеотидов в виде линейной или кольцевой молекулы.

Капсид вириона состоит из многократно повторённых одинаковых полипептидных цепей одного или нескольких белков (рис. 17.1). Эти мономеры, в соответствии с физическими законами кристаллизации самопроизвольно складываются в компактную форму в виде плотной спирали или правильного 20-гранника.

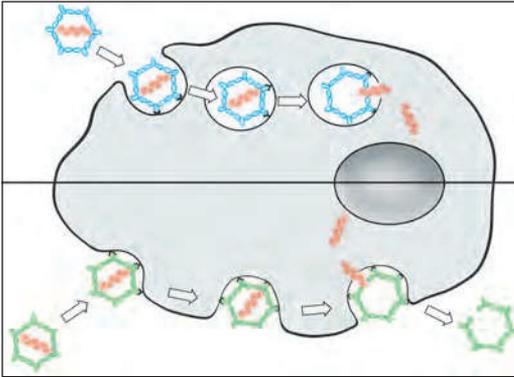
У белковой оболочки двойное назначение. Во-первых, она защищает генетический материал вируса от губительного воздействия химических веществ и ультрафиолетовых лучей. Во-вторых, активные центры её белков способны распознавать клетки, пригодные для поражения, по характерным особенностям их плазматической мембраны. Поэтому вирусы обладают специфичностью: каждый поражает только нужный ему тип клеток.

Наконец, *сложные* вирусы имеют ещё и третий элемент строения: внешнюю белково-липидную оболочку, построенную в основном из остатков разрушенной клетки. Она служит дополнительной защитой. Вирус гриппа – пример такой упаковки: спиральный капсид его вириона укрыт в дополнительную оболочку в форме 20-гранника.

Образ жизни генетического паразита

- Как происходит поражение клетки и воспроизводство вирусных частиц?

Благодаря мелким размерам и высокой скорости размножения, вирусы распространяются в среде в астрономических количествах. Некоторые вирионы попадают на клетки, пригодные для поражения. Капсид реагирует на соприкосновение с поверхностью такой клетки и удерживается на её мембране. Несмотря на защитные свойства мембраны, существует несколько способов проникновения сквозь неё. В одних случаях клетка сама «заглатывает» вирион вместе с пузырьком межклеточной жидкости при пиноцитозе (рис. 17.3, вверху). Капсид других вирионов воздействует на мембрану, раздвигая её молекулы (рис. 17.3, внизу).



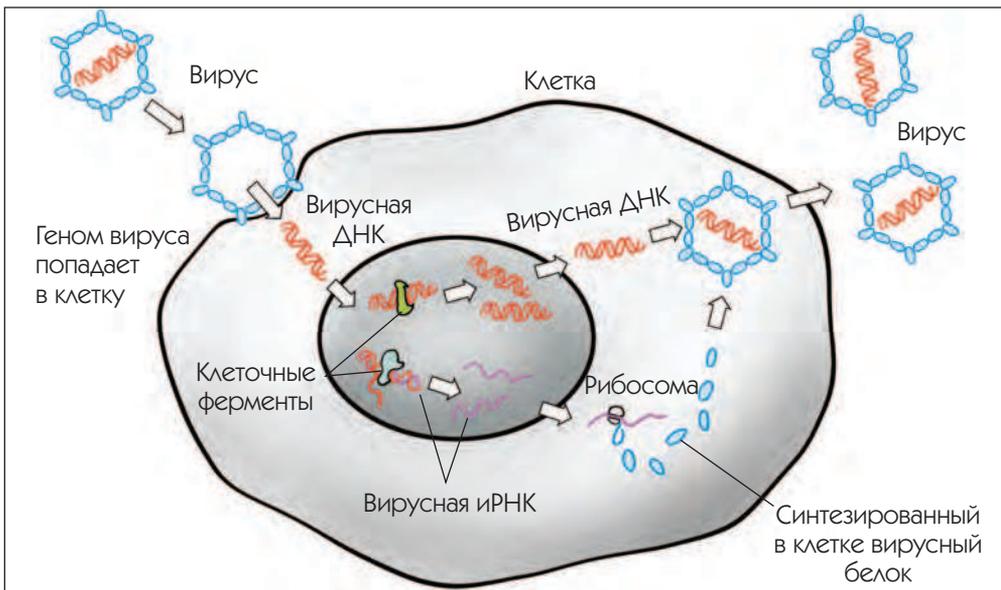
17.3. Стратегии проникновения вируса (пояснения в тексте)

Третьи, такие как фаг Т4, впрыскивают в клетку свой генетический элемент с помощью специальных нитей-фибрилл капсида.

Генетический элемент вируса, покинув белковую оболочку, проникает внутрь клетки, где находит все условия и средства для своего размножения: нуклеотиды, аминокислоты, запасы энергии в виде АТФ и необходимые ферменты. Эти агенты, встретив вирусную нуклеиновую кислоту, приступают к её

репликации. Они снимают с неё копии, производят по ним вирусные белки и собирают из них вирионы. Готовые вирионы покидают клетку.

Таким образом, вирусы – специализированные *генетические паразиты*. Они используют клетку-хозяина не для питания или других целей, а исключительно для собственного воспроизводства с помощью чужих механизмов обработки генетической информации.



17.4. Процесс размножения вирусов происходит за счёт деятельности клетки. Вирусная частица связывается с клеткой и вводит в неё свою ДНК. Клеточные ферменты копируют ДНК вируса и синтезируют на ней мРНК. Клеточный аппарат синтеза белка создаёт вирусные белки на иРНК. Собранные вирусные частицы покидают клетку

Реакция клетки на вирус

- Может ли клетка противостоять вирусной инфекции?

Одни вирусы приводят к гибели клетки, другие перестраивают её работу рано или поздно, в большей или меньшей степени. Эти процессы проявляются как симптомы вирусного заболевания. Клетка и организм в целом не остаются безучастными к вирусным атакам.

Собственная защитная реакция клетки срабатывает при нарушении её работы. Неспецифический (на все типы вирусов) ответ даёт *интерферон* – белок, производимый клеткой и препятствующий размножению вирусов. Если процесс зашёл далеко, в клетке может запуститься программа собственного уничтожения, в которой активную роль играют лизосомы. Они освобождают ферменты, расщепляющие органические вещества на мономеры. Клетка погибает, и вирус – вместе с ней.

Организм реагирует на заражение с помощью специфической (на данный тип вируса) реакции иммунной системы. Она вызывается появлением чужеродных белков вируса на поверхности клеток. Лимфоциты распознают чужеродный белок-антиген и уничтожают вирусы и поражённые клетки. Происходит размножение лимфоцитов, реагирующих на данный белок-антиген, и память о нём сохраняется иммунной системой в виде повышенного числа лимфоцитов, готовых реагировать на него в будущем.

Борьба с вирусными инфекциями

- Что необходимо знать о борьбе с вирусными инфекциями?

От вирусов – клеточных генетических паразитов – очень трудно избавиться и защититься. Во-первых, их разнообразие так велико, что сложно создать универсальное средство борьбы с ними. Во-вторых, лекарство, проникающее сквозь мембрану клетки, уничтожило бы не только вирусные компоненты, но и все похожие компоненты, в том числе и у здоровых клеток.

Наиболее эффективный способ борьбы с вирусными инфекциями – профилактическая *вакцинация*, прививка малой дозы обезвреженного вируса или его белка в качестве антигена. В организме возникает иммунная реакция и вырабатываются специфические Т-лимфоциты для борьбы с данной инфекцией в будущем. Именно вакцинация уничтожила оспу как ведущий фактор смертности людей в Средние века. В настоящее время достигнуто значительное снижение заболеваемости полиомиелитом и корью.

Чтобы получить желаемый эффект, важно вакцинировать возможно большую долю населения, особенно детей. Поэтому родителям предлагают привить детей ещё в роддоме или в первые годы жизни от таких

тяжёлых вирусных заболеваний, плохо поддающихся лечению, как гепатит, корь, паротит, полиомиелит.

Есть вирусы, общие для человека и животных. Они сохраняются в животных популяциях – *природных очагах* инфекций. Так, вирус гриппа циркулирует в природе среди птиц; бешенства – среди грызунов; клещевого энцефалита – среди клещей и их прокормителей. В этих случаях борьба с вирусом направлена на заболевших животных и ограничение контакта с ними.

Основные стратегии в создании противовирусных лекарств направлены на поиск веществ, избирательно подавляющих активность вирусных ферментов. Не менее важны препараты, стимулирующие иммунную систему – выработку интерферона, Т-лимфоцитов и продукцию антител.

Онкогенные вирусы

- Почему изучением злокачественных опухолей занимаются вирусологи?

Использование генетической информации в ходе нормальной работы клетки начинается с процесса транскрипции – построения молекулы иРНК на открытом участке ДНК. Наблюдение за вирусами куриной саркомы привело к открытию противоположного процесса *обратной транскрипции*. С помощью специального фермента этот вирус в поражённой клетке по матрице своей РНК строит молекулу ДНК: сначала основную цепочку, а затем на ней – и другую, комплементарную. Эта новая ДНК встраивается в ДНК клетки, работает как обычная ДНК и передаётся в хромосомах хозяина в дочерние клетки, в том числе и в половые клетки, и далее по наследству – потомкам.

Поражённые клетки никак не проявляют свои отличия, но могут откликнуться на воздействие канцерогенных (порождающих рак) факторов: радиоактивное облучение, табачный дым и др. В этом случае чужеродный участок ДНК начинает воспроизводить вирусы, что приводит к злокачественному перерождению клеток. Они отличаются тремя признаками.

1. Утрачивают признаки ткани, становятся недифференцированными, как бы омолаживаются.
2. Быстро и бесконтрольно делятся, расходуя много энергии.
3. Утрачивают сцепление друг с другом и разносятся по телу.

Таким образом, вирусологи описали типичную картину развития некоторых форм рака и обнаружили, что их причиной могут быть онкогенные (опухолеродные) вирусы. Тем самым они заложили основу изучения злокачественных опухолей.

Вирусы переносят гены одного организма другому

- Что такое горизонтальный перенос генов и для чего он важен?

При воспроизводстве онкогенных вирусов в них может попасть информация с соседних участков хозяйской ДНК. Если такой вирус поразит клетки другого организма, то в его ДНК попадёт наследственная информация от предыдущего хозяина.

В настоящее время факт *горизонтального переноса генов* – не от родителей к потомкам, а от одного неродственного организма к другому – не только доказан, но и хорошо изучен. Он используется человеком в *генной инженерии* – практике создания генетически модифицированных организмов. Кроме того, учёные обсуждают вопрос, насколько такой обмен генами мог повлиять на ход эволюции органического мира на Земле.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Вирусы – это инфекционные частицы, поражающие клетки любых организмов. Они состоят из нуклеиновых кислот, защищённых белковой оболочкой. Вирусы не способны к собственному обмену веществ, а размножаются только в живой клетке, используя её генетические механизмы. Защитой от вирусных заболеваний служит профилактическая вакцинация, усиливающая иммунитет. Изучение вирусов проливает свет на природу раковых опухолей и механизмы переноса генов одного неродственного организма другому.

Вирусы

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Определите, что такое вирус.
2. • В каких двух формах существует вирус?
3. • Каким образом вирус может получить доступ внутрь клетки?
4. • Чем обусловлено разнообразие вирусов?
5. • Как можно бороться с вирусными инфекциями?
6. • Как вирион находит клетку, пригодную для размножения?
7. • Для чего в нуклеиновых кислотах некоторых вирусов закодированы различные ферменты, несмотря на то, что вирус использует ферментные системы клетки-хозяина?
8. • Эпидемии гриппа случаются очень часто, практически раз в год, но иногда они приобретают угрожающий характер и уносят много жизней. Почему?
9. • Приведите доводы за и против прививок детям.
10. • Какие практические шаги в изучении вирусов вы считали бы первоочередными, если бы стали вирусологами?

§ 18. Основы цитологии. Повторение

Вопросы для повторения

1. ● Почему клетку называют элементарной единицей всего живого? Какая теория описывает эту особенность клеток, в чём её суть?
2. ● Какие элементы входят в состав клетки и какова их роль?
3. ● Почему из всех неорганических веществ клетки преобладает вода?
4. ● В чём сходство и различие разных групп органических веществ?
5. ● Почему белки и нуклеиновые кислоты авторы назвали главными макромолекулами? Какова их связь друг с другом? В чём состоит их роль в клетке?
6. ● Каково сходство и различие клеток прокариот и эукариот, клеток растений, животных и грибов?
7. ● На какие группы можно подразделить все органеллы клетки? Какова их роль в жизнедеятельности клетки?
8. ● В чём сходство и отличие пластического и энергетического обмена? Какие ещё процессы обмена веществ проходят в клетке?
9. ● Как сохраняется и используется наследственная информация?
10. ● В чём сходство и различие митоза и мейоза?
11. ● Чем генные паразиты вирусы отличаются от других паразитов?

Что означают эти понятия? Цитология. Клеточная теория. Биогенные элементы. Макроэлементы, микроэлементы. Липиды. Углеводы. Белки, аминокислоты, ферменты. Нуклеотиды, ДНК, РНК, АТФ. Прокариоты. Эукариоты. Цитоплазма, цитоплазматическая мембрана, ядро, эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосома, митохондрия, пластида, вакуоль, клеточная стенка, цитоскелет, клеточный центр. Теория симбиогенеза. Пластический обмен. Энергетический обмен. Автотрофы. Гетеротрофы. Фотосинтез. Световая фаза. Темновая фаза. Хемосинтез. Гликолиз. Брожение. Дыхание. Хромосома, гомологичная хромосома. Генетический код. Транскрипция, трансляция. Редупликация. Митоз. Мейоз. Вирусы.



Жизненная задача 1

Название. Покупка в магазине полезных продуктов.

Ситуация. Очень часто покупатели магазинов сомневаются, покупать тот или иной продукт, кому он рекомендован и полезен, а кому лучше воздержаться, содержит ли он консерванты, витамины и т.п.

Роль. Грамотный покупатель.

Результат. Рекомендации, как использовать информацию на этикетке продуктов для того, чтобы сделать правильные покупки для членов семьи разного возраста, с разным состоянием здоровья. Наряду с учебником полезно воспользоваться Интернетом для получения сведений, введя грамотно сформулированные ключевые слова в поисковую систему.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗМ КАК ЦЕЛОЕ



В этой главе вы научитесь

объяснять мир с точки зрения биологии, находя причины целостности и многообразия живых организмов, понимая место размножения и развития в жизни организма.

Для этого вы должны уметь:

- объяснять биологический смысл координации частей организма, их приспособительное значение;
- характеризовать причины многообразия живых организмов;
- объяснять биологический смысл и основные формы размножения организмов;
- характеризовать важнейшие особенности индивидуального развития организма (онтогенеза) на примере многоклеточных, образования половых клеток, оплодотворения.

Оценивать поведение человека с точки зрения сохранения его здоровья.

Для этого вы должны уметь:

- применять биологические знания для организации и планирования собственного здорового образа жизни и деятельности.

Проверьте себя!

- Что такое индивидуальное развитие?
- Чем различаются разные формы размножения?

§ 19. Организм – скоординированное целое

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Человек заболел насморком. Вся его жизнь нарушается минимум на неделю. Пропадает аппетит, сон, работоспособность ...

Факт 2. От неподвижного сидения затекла нога. Человек на некоторое время лишается способности управлять ею.

- Что произошло с координацией частей тела? Какой организм больше страдает от нарушений?
- В чём противоречие? Поставьте вопрос для анализа на уроке и сравните его с вариантом авторов на с. 396.

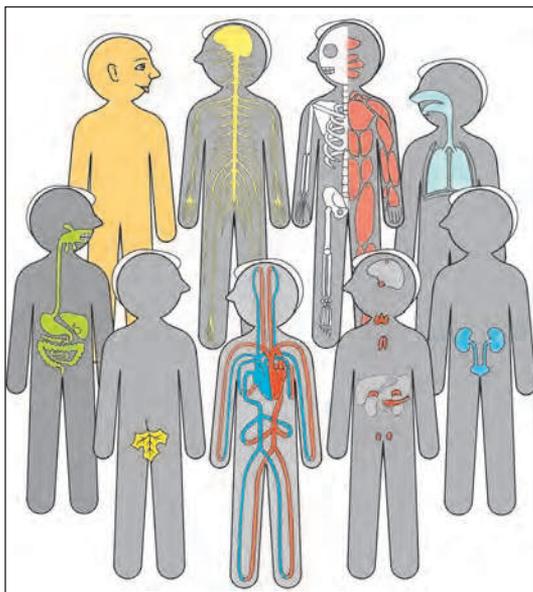
НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое внутренняя среда организма и почему важна её стабильность? (8, 9 классы)
- Что такое гомеостаз? (8, 9 классы)
- В чём суть явления регенерации? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Организм как целое

- Как обеспечивается целостность организма?



Всякий живой организм – сложная система, свойства которой меняются в значительно меньших пределах, чем условия окружающей её среды. На сохранение этой стабильности, обеспечивающей выживание организма, направлена работа всех систем органов.

- Рассмотрите шуточные рисунки основных систем органов человека (рис. 19.1) и ответьте на вопросы: как взаимосвязаны функции разных систем? как от них зависит поддержание стабильности внутренней среды?

Какая система органов защищает внутренние органы от вредоносных внешних воздействий?

19.1. Системы органов человека

Какие органы приводят в движение скелет и как обеспечено управление этими движениями?

Какие системы органов обеспечивают взаимосвязи между разными частями организма?

Назовите главные функции кровеносной системы.

В чём проявляется связь кровеносной и лимфатической систем с тканевыми жидкостями и как они участвуют в поддержании постоянства внутренней среды?

Какова роль крови в нейрогуморальной регуляции организма?

В чём специфика работы нервной и эндокринной систем?

Организм получает необходимые для жизни вещества из внешней среды. Какие системы органов и как это обеспечивают? Какие системы органов обеспечивают выведение из организма неиспользованных продуктов распада?

Какие системы органов обеспечивают координацию жизни организма с факторами внешней среды и сигнализируют о неблагополучии внутри организма?

Какая система органов обеспечивает смену поколений?

Выгоды от координации

- Какие преимущества получает организм от координации работы органов?

Существование любого организма, будь то одноклеточная инфузория или огромный слон, поддерживается действием большого набора регуляторных механизмов – структурных, физиологических, поведенческих, способствующих сохранению *постоянства внутренней среды*. Почему это так важно? В клетке все метаболические реакции осуществляются с наибольшим эффектом лишь в очень узких пределах оптимальных условий. Стоит условиям отклониться чуть сильнее, и эффективность прохождения той или иной реакции в клетках может упасть в несколько раз, а вслед за ней упадет и эффективность работы организма – наступает болезнь.

Если в чашку с пресноводными инфузориями поместить кристаллик соли, они постараются уплыть туда, где концентрация соли меньше. Так же птицы и звери при сильном прогревании воздуха прячутся в тень или в нору, где температура ниже. Это – *поведенческие* реакции.

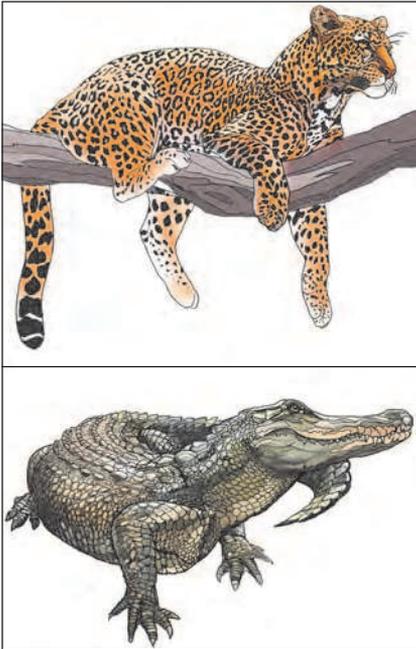
Если же переместиться в более щадящие условия невозможно, включаются иные механизмы регуляции. Например, сократительная вакуоль у инфузорий снизит свою активность, сохраняя воду, а у млекопитающих в жару усилится потоотделение. Это – *физиологические* реакции.

На каждом уровне строения и функций существуют свои механизмы гомеостаза. Они делают организм более автономным, а его активность – менее зависимой от перемен во внешней среде.

Плата за независимость

- Какую цену приходится платить за возможность совершенной координации?

Птицы и млекопитающие, включая человека, поддерживают температуру тела постоянно высокой независимо от двигательной активнос-



19.2. Леопард и крокодил

- Почему леопард ест во много раз больше, чем крокодил? На что тратит леопард значительную часть энергии?

обмена – разогреться за счёт двигательной активности. А пока крокодил не разогреться, он не может даже обороняться всерьёз, например, от нападения бегемотов. Так что, несмотря на дорогую плату, овчинка выделки стоит!

Уязвимость: эффект домино

- Когда и как проявляется уязвимость сложных биологических систем?

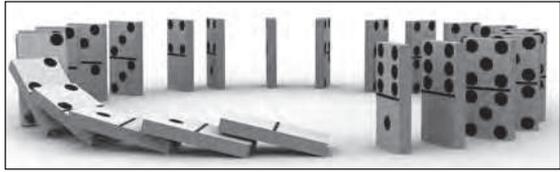
Итак, работа всех систем органов направлена на поддержание постоянства внутренней среды. А если вдруг в какой-то системе случится сбой, поломка?

Живой организм обладает довольно значительным запасом прочности, и поначалу «неправильную» работу одного органа будут компенсировать другие органы или системы за счёт изменения характера и интенсивности своей работы. Но, если поломка окажется длительной, срабатывает эффект домино. На рис. 19.3 показано, что в результате падения одной костяшки домино падают все остальные.

Таких животных называют *гомойотермными* (теплокровными). Поддержание постоянной температуры тела – очень сложная адаптация (приспособление). Для её осуществления необходима согласованная работа практически всех систем органов. Одновременно это и самая дорогая адаптация в органическом мире по затратам энергии. Больше всего энергии теплокровные животные тратят на обогрев окружающего пространства. Поэтому и пищи, например, леопарду необходимо во много раз больше, чем крокодилу с такой же массой тела.

Оправданны ли эти затраты? Постоянная температура тела позволяет, например, леопарду эффективно реализовать возможности своего обмена почти при любых условиях. В частности, он может жить в более северных районах, чем крокодилы. Но главное, что благодаря гомойотермии млекопитающее всегда готово к действию. Крокодилу же для активной охоты необходимо сначала повысить уровень своего

Например, по какой-то причине нарушился баланс ионов или сахара во внутренней среде. Некоторое время он компенсируется работой почек, но со временем, из-за работы в усиленном режиме, эффективность работы этого органа падает. А дальше, по принципу положительной обратной связи, нарушаются функции практически всех клеток организма, так как они приспособлены к эффективной работе в очень узких пределах значений внутренней среды, которые оказались нарушенными. И, как костяшки домино, рушится работа одного органа за другим.



19.3. Эффект домино

Выходит, что независимость организма от окружающей среды обусловлена тесным взаимодействием и соподчинением всех клеток, тканей, органов, систем органов. Ведь и одна из самых тяжёлых болезней – рак – начинается с «выхода из подчинения» некоторых клеток организма!

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Координация между частями сложного организма обеспечивает их согласованную работу и позволяет противостоять разнообразным нарушениям. Органы могут перестроиться на другой режим работы и тем самым компенсировать неблагоприятные воздействия окружающей среды. Однако плата за это – большие затраты энергии и возрастающая уязвимость. Превышение порога сопротивляемости организма приводит к лавинообразному нарушению многих его структур и функций.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • В чём плюсы и минусы высокой координации организма?
2. • Как поддерживается целостность живого организма и какие системы органов отвечают за это?
3. • Приведите примеры действия эффекта домино в жизнедеятельности организма.
4. • Почему на Земле находится место и простым, и сложно устроенным организмам? В чём выигрывает каждый?
5. • Поработайте в паре: один приводит доводы за большую независимость высококоординированных существ, другой – за их уязвимость.
6. • Стал ли человек за счёт развития науки и техники более независимым от природы или, наоборот, более уязвимым? Как вы считаете?



§ 20. Порядок в многообразии

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

- Сравните число видов в основных систематических группах живой природы.

Многообразие царств живых организмов



Царство и группа	Примерное число описанных видов
Надцарство Прокариоты, в том числе:	
Цианобактерии	1400
Бактерии	10000
Надцарство Эукариоты	
Царство Протисты	30000
Царство Растения, в том числе:	320000
Бурые и красные водоросли	11500
Зелёные водоросли	20000
Моховидные	27000
Папоротниковидные	12200
Голосеменные	640
Покрытосеменные	281000
Царство Грибы	98 000
Царство Животные, в том числе:	>2 млн
Губки	8000
Кишечнополостные	11000
Плоские черви	25000
Круглые черви	80000
Кольчатые черви	12000
Иглокожие	7000
Моллюски	150000
Членистоногие	>1,65 млн
Хордовые	51000

Автор 1: В природе существует не менее 2 млн видов. Рассмотреть их в одном параграфе принципиально невозможно.

Автор 2: Зато можно в одном параграфе показать основу порядка в живой природе.

- Можно ли кратко описать многообразие живого?
- Предложите проблему для работы на уроке и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что изучает наука систематика?
- Какие царства живых организмов выделяют учёные? (§ 10, приложение 2)
- Назовите основные систематические группы. (5–9 класс)
- Что такое продуценты, редуценты, консументы? (9 класс)
- Чем отличаются автотрофы от гетеротрофов? (§ 13)
- В чём различие прокариот и эукариот? (§ 10)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Разделение «труда» по способу питания

- Какая экологическая закономерность прослеживается в делении живых организмов на царства?

Прокариоты – самые просто устроенные организмы, не имеющие оформленного ядра. От них в процессе эволюции произошло всё разнообразие организмов. Общий для них гетеротрофный способ питания – поглощение растворённой в воде мёртвой органики. Подобно грибам, прокариоты играют в экосистемах роль редуцентов. Но среди них есть и обширная группа автотрофов, выполняющих функцию продуцентов. Это цианобактерии и некоторые другие бактерии, использующие механизм фотосинтеза, подобно растениям. Хемосинтезирующие бактерии используют для синтеза энергию, выделяемую при окислении неорганических веществ. Наконец, совсем небольшая группа бактерий-гетеротрофов питается твёрдыми органическими остатками или даже живыми бактериями, в какой-то степени подобно животным.

Таким образом, благодаря разнообразию способов питания прокариоты могут быть продуцентами, редуцентами, а изредка даже консументами, т.е. могут участвовать в процессах синтеза и распада органических соединений в круговороте веществ, хотя, как правило, делают это самым примитивным способом.



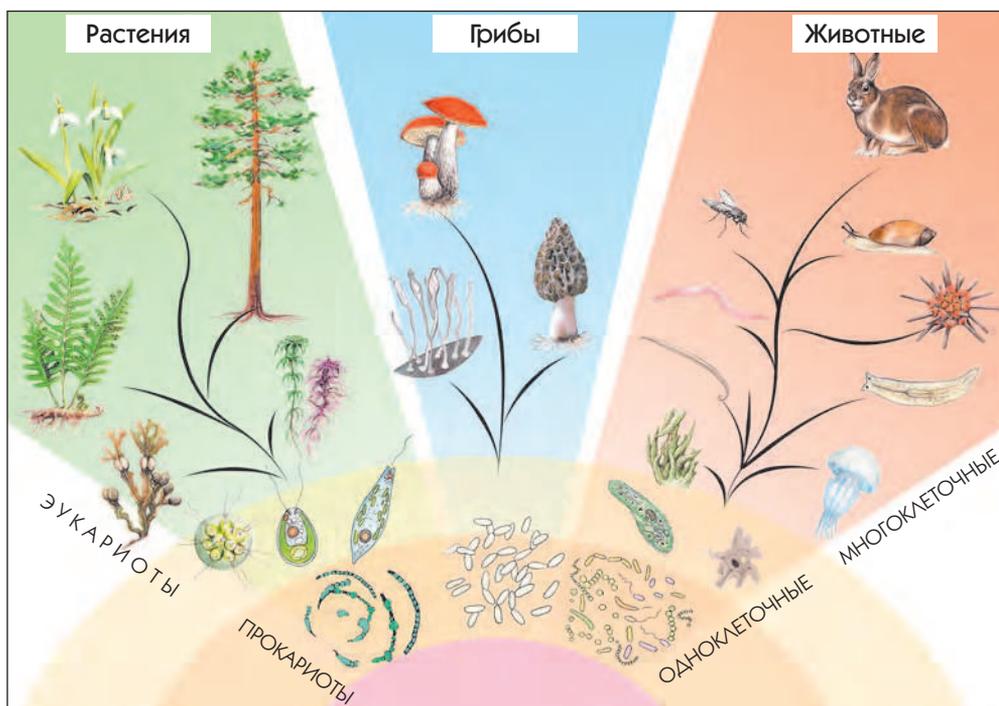
20.1. Основные подразделения живых организмов и их тип питания: фототрофы – автотрофные организмы, использующие свет в качестве источника энергии; осмотрофы – гетеротрофные организмы, питающиеся растворёнными веществами; голозойное питание – питание твёрдыми пищевыми частицами

Все эукариоты – своеобразная надстройка над сообществом прокариот. Они совершают ту же работу по химической трансформации вещества биосферы теми же основными способами, но делают это более эффективно. Однако есть места, где эукариоты жить не могут: гейзеры, горячие области на дне океанов, чёрные курильщики, содовые озёра. В них существуют чисто прокариотные сообщества.

Особенно велика биосферная роль бактерий в качестве редуцентов. В частности, только немногие роды бактерий способны расщеплять органические вещества до неорганических компонентов. В этом их роль уникальна. Иными словами, без прокариот известная нам жизнь на Земле невозможна. Это косвенно указывает на то, что прокариоты – первичные формы жизни, от которых происходят грибы, растения и животные.



По мере совершенствования методов биохимических исследований разнообразие прокариот становится всё более очевидным. Особенно сильно отличаются от других археобактерии. Оболочка и мембрана их клетки имеют иной состав. Процессы обмена веществ, хранения и использования на-



20.2. Эволюционное древо

- Рассмотрите схему эволюции живой природы. Найдите на ней все систематические группы, упоминаемые в тексте.

следственной информации лишены ряда ферментов, обязательных для всех прочих организмов. По типу питания археобактерии относятся к хемогетеротрофам и хемоавтотрофам. Некоторые виды способны к фотосинтезу без хлорофилла. На этом основании учёные относят их к отдельному царству археобактерий, а остальных прокариот – к царству эубактерий.

Использование светового потока

- В каких направлениях шла эволюция растений?

Растения – продуценты (производители), создающие органическое вещество из неорганического за счёт энергии солнца в процессе фотосинтеза. Основание трофической пирамиды океана составляют плавающие в толще воды одноклеточные водоросли. Свет не проникает в глубины океана, и фотосинтез там невозможен. Многоклеточные водоросли обитают лишь на мелководных, хорошо освещённых местах.

Растения, освоившие сушу, «променяли» океан воды на океан света. Именно благодаря свету, необходимому для фотосинтеза, суша обладает большей биологической продуктивностью, чем Мировой океан, покрывающий 2/3 поверхности земного шара. Но одноклеточные растения на воздухе мгновенно высыхают, лишь отдельные виды выносят длительное пересыхание в ожидании дождя. Некоторые водоросли сохраняются на влажных субстратах или в симбиозе с грибами, в составе лишайников. Основу пищевой пирамиды суши составляют многоклеточные растения.

Освоение суши растениями началось с распространения по поверхности: первыми были водоросли, лишайники и мхи. Водные предки воспринимали свет и растворённое сырьё для фотосинтеза всей поверхностью. Одновременно с освоением суши растениями происходила дифференциация их тела на органы: появился побег, улавливающий свет; корень, поглощающий воду с растворёнными веществами. Рост дифференцированных растений в высоту позволил перехватывать свет у конкурентов.

Для многоклеточных растений необходима огромная площадь поверхности, обращенная к солнцу и к источникам минерального сырья для фотосинтеза. Эта задача несовместима с подвижностью, поэтому большинство наземных растений прикреплено к субстрату. Наибольшую биопroduкцию создают деревья – за счёт раскидистой высокой кроны и не менее мощной корневой системы.

Решив задачу доставки воды для фотосинтеза, растения долгое время оставались зависимы от капельно-жидкой воды в процессе размножения. На долгом пути эволюции органов размножения эту зависимость удалось преодолеть только голосеменным и цветковым растениям.

Освоение питательных растворов

- В чём состоит особенность образа жизни грибов и секрет их многообразия?

Грибы появились очень давно, но геологическая летопись умалчивает о подробностях их происхождения и эволюции. Основной средой обитания грибов является верхний слой почвы, богатый органическими веществами.

Весь организм гриба состоит из линейно вытянутых многоядерных клеток – гифов. За счёт большой скорости роста гифы широко распространяются в толще субстрата и образуют гигантскую всасывающую поверхность. Например, 1 см² гифов достигает площади 1 м². Набор сильнодействующих веществ помогает им разрушать преграды на своём пути. Гриб выделяет во внешнюю среду пищеварительные ферменты. Они расщепляют органические полимеры на мономеры, которые всасываются внутрь через поверхность клеток.

Среди грибов большинство – сапротрофы, потребители мёртвой органики. Эти редуценты специализируются на эффективном разложении той или иной группы органических веществ. Другие грибы – паразиты или симбионты, образующие лишайники и микоризу. Совершенствование биохимических особенностей, способов размножения и распространения позволяют грибам заселять различные среды жизни.

Курс на активность и независимость от окружения

- В чём причина наибольшего разнообразия в царстве животных?

Продуценты направляют солнечную энергию на усложнение строения материи, создавая органические вещества и структуры. Век живых организмов недолог, но редуценты возвращают использованную материю продуцентам. Круговорот веществ и поток солнечной энергии поддерживают сложность органического мира на Земле. Консументы – а это почти всегда животные – позволяют удлинить пищевую цепь и тем самым увеличить многообразие мира.

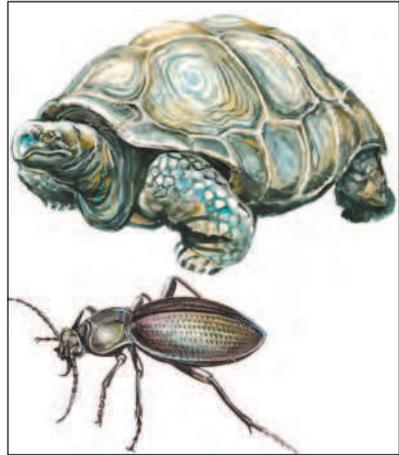
В отличие от растений и грибов, способ питания заставляет животных уменьшить относительную поверхность тела, что даёт возможность развигивать два преимущества: уменьшение контакта со средой и подвижность. При малой относительной поверхности удаётся сократить лишние потери энергии, достичь больших различий между внутренней и внешней средой, а значит, и большей автономности. Подвижность необходима животным, чтобы искать и добывать пищу. Компактное тело энергетически больше подходит для движения. К тому же в нём можно активизировать обмен веществ без лишних затрат на их транспортировку.

Важный путь повышения автономности животного – увеличение размеров тела, прежде всего путём многоклеточности. Плавающие в толще воды кишечнополостные приобретают мускульные отростки

клеток, а у ползающих по дну плоских червей появляются настоящие многоклеточные мышцы. Для рытья и быстрого плавания мышцам требуется опора. Вначале создаётся опора на несжимаемую жидкость в полости тела, а затем и твёрдый скелет. Сквозной кишечник обеспечил последовательное и потому эффективное переваривание пищи.

Мелкие размеры насекомых позволили им создать огромное разнообразие приспособительных форм. Но тяжесть внешнего скелета и своеобразный способ дыхания резко ограничили максимальные размеры насекомых.

У позвоночных скелет внутренний, что допускает постепенный рост животного и достижение значительных размеров тела. Но сушу смогли освоить только достаточно крупные позвоночные с относительно небольшой поверхностью тела. Подвижность наружных покровов и перенос газов кровью позволили обеспечить газообмен крупного тела через кожу и лёгкие. Все это послужило причиной того, что позвоночные стали крупнейшими животными суши.



20.3. Наружные скелеты маленького, очень подвижного жука жужелицы и большой очень медленной наземной черепахи

- Как разница подвижности этих животных связана с размерами?

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Каждый живой организм является участником круговорота веществ в биосфере. Поэтому в основе различий крупнейших систематических групп живой природы лежит их роль в экологическом круговороте, связанная со способом питания. Он определяет приоритеты и ограничения в строении и функциях организмов каждой группы. Различные пути повышения экологической эффективности создали огромное многообразие форм жизни.

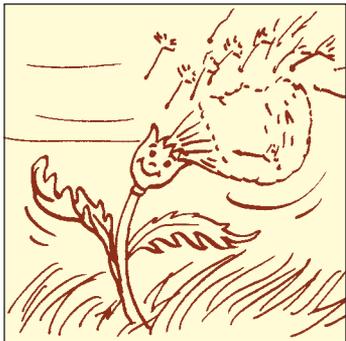
ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Как знание экологических закономерностей позволяет упорядочить многообразие живой природы?
- В чём проявляется и с чем связано разнообразие прокариот?
- Развитие каких признаков способствовало повышению эффективности жизнедеятельности у растений, грибов и животных?
- Поработайте в паре над непростым вопросом: пусть один высказывает гипотезы, объясняя большее многообразие животных по сравнению с растениями, а второй – приводит критические доводы. В споре может появиться истина.
- Определите сходство и различия в направлениях эволюции растений и животных.



§ 21. Воспроизведение организмов

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Исторический факт 1. В XIX веке вещи обычно передавали по наследству. В случае поломок их чинили. Многие старые вещи (например, швейную машинку «Зингер») до сих пор можно использовать.

Исторический факт 2. В XXI веке люди считают, что проще купить новую, чем отремонтировать старую вещь. (Вот почему возникла проблема мусора).

- По какому из этих путей пошла живая природа? (Учтите, что продолжительность существования каждого вида составляет миллионы лет, а некоторые виды деревьев живут порядка тысячелетия.)
- В чём противоречие? На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие типы размножения существуют? (9 класс)
- Чем бесполое размножение отличается от полового? В чём преимущества каждого из них? (9 класс)
- Что обозначают термины: митоз, мейоз (§ 16), гамета, оплодотворение, зигота, комбинативная изменчивость, гаплоидность, диплоидность? (9 класс)
- Какие признаки называются доминантными, а какие рецессивными?
- Чем опасно близкородственное скрещивание? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

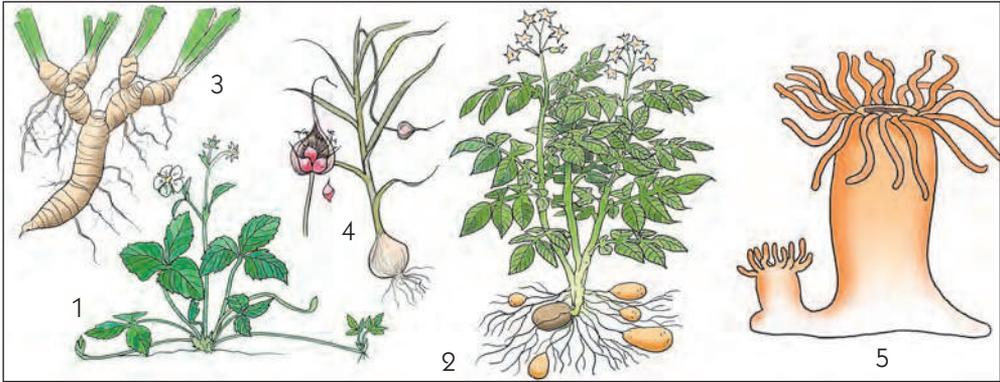
Самое важное свойство

- Что такое размножение и что было бы без него?

Размножение – всеобщее свойство живых организмов, заключающееся в способности родителей воспроизводить подобных себе потомков в ряду сменяющих друг друга поколений, обеспечивая тем самым длительное (даже в геологическом масштабе времени) сохранение своего вида, непрерывность и преемственность жизни на Земле. Поскольку существует смертность, воспроизведение всегда должно сопровождаться увеличением числа особей относительно числа родителей. Чем выше смертность, тем выше должна быть плодовитость. Только в этом случае воспроизведение будет надёжным. Существует два принципиально различных способа размножения: бесполое (включая вегетативное) и половое.

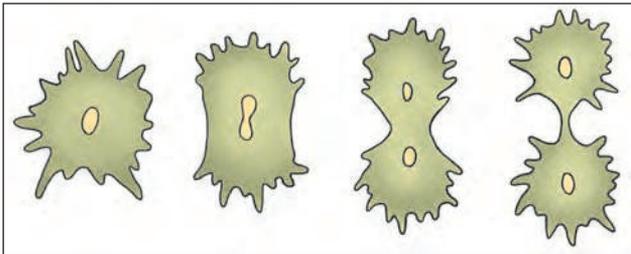
Воспроизведение свойств родительской особи

- Какой цели достигает бесполое размножение?



21.1. *Вегетативное размножение: 1 – усами у земляники; 2 – клубнями у картофеля; 3 – корневищем у ириса; 4 – воздушными луковичками у чеснока; 5 – путём почкования у актинидии*

- Чем различаются примеры бесполого размножения, показанные на рисунках?



21.2. *Бесполое размножение путём митоза у амёбы*



21.3. *Выбрасывание спор у гриба-дождевика*

В **бесполом размножении** участвует только одна особь, которая делится, почкуется или образует споры. В основе этого способа размножения у эукариот лежит митотическое деление соматических клеток. В результате новые организмы почти не отличаются (с точностью до возможных мутаций в соматических клетках) в наследственном плане от родительского.



Бесполое размножение осуществляется разными способами. У одноклеточных оно происходит путём простого митотического деления клетки. У многоклеточных появляются более сложные формы бесполого размножения.

Один из способов – образование **спор**, специальных клеток, которые служат для размножения и расселения. Такое размножение иногда называют

собственно бесполом. Споры покрыты плотной оболочкой, защищающей их от неблагоприятных воздействий среды. В благоприятных условиях они прорастают и дают начало новому организму. Спорами размножаются некоторые растения, грибы и одноклеточные животные.

Другой способ бесполого размножения многоклеточных – **вегетативное размножение** – воспроизведение новой особи из части родительской (рис. 21.1). Оно характерно для растений, особенно для покрытосеменных. Размножение с помощью усов, корневищ и корневых отпрысков позволяет быстро захватить территорию и вытеснить конкурентов, но возможно только на территории, непосредственно располагающейся рядом с родительским организмом.

Искусственное вегетативное размножение играет большую роль в растениеводстве, так как позволяет получить большое количество потомков с сохранением хозяйственно ценных свойств родительского растения. Таким способом выращивают рассаду овощных культур, например картофеля. Кроме этого, оно даёт возможность размножать сорта гибридного происхождения, которые при половом размножении теряют некоторые свойства. Новой современной формой искусственного вегетативного размножения является метод культуры тканей. В этом случае одна клетка или группа клеток выращиваются в стерильных условиях на питательной среде и дают начало новому растению. Таким способом выращивают рассаду лекарственных и редких, исчезающих видов растений.

У животных вегетативное размножение обычно называют **почкованием**. При почковании новая особь образуется в виде выроста – почки на теле материнской особи, а затем отделяется от неё, превращаясь в самостоятельный организм. Таким способом размножаются губки, кишечнополостные и некоторые грибы, например дрожжи.

Иногда в качестве самостоятельного способа бесполого размножения выделяют **фрагментацию** – процесс, основанный на регенерации, т.е. восстановлении утраченных частей организма. Например, из каждой части разрезанного листа бегонии можно вырастить целое растение.

Комбинирование свойств двух родителей

- Какой цели служит половое размножение?



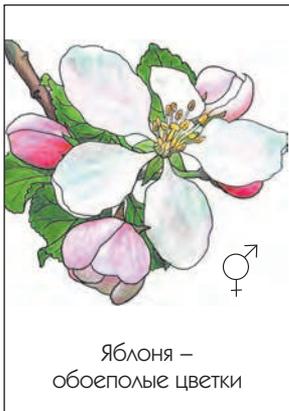
21.4. Варианты окраски волнистых попугаев

- Какие особенности полового размножения показывает этот пример?

При **половом размножении** потомки получают наследственную информацию от отца и матери. Она объединяется при *оплодотворении* – слиянии их гаплоидных гамет с образованием диплоидной зиготы, которая даёт начало новому организму. Поскольку от каждого родителя в зиготу попадает только половина наследственного материала в случайной комбинации, потомки отличаются и от родителей, и друг от друга. Каждый из них обладает уникальным набором генов.

Большинство видов животных **раздельнополы**, т.е. среди них есть мужские и женские особи. Однако у других видов, которых называют **двуполыми**, или **гермафродитными**, в организме одной и той же особи могут формироваться и мужские, и женские гаметы. Это явление чрезвычайно характерно для видов покрытосеменных растений, кишечно-полостных, плоских и кольчатых червей, некоторых ракообразных и моллюсков и встречается даже у отдельных рыб и пресмыкающихся.

Гермафродитизм предполагает возможность самооплодотворения, что бывает очень важно для организмов, ведущих одиночный образ жизни (например, паразит в теле хозяина). Такое оплодотворение, конечно, тоже создаёт новые комбинации, но не столь разнообразные. Поэтому при благоприятных условиях гермафродиты размножаются перекрёстным оплодотворением, обмениваясь половыми клетками с другим организмом.



21.5. Варианты разделения пола у растений

- В чём преимущества каждого из вариантов?

Возникшая в процессе эволюции раздельнополость имела явное преимущество, так как снижала вероятность самооплодотворения, приводящего зачастую к накоплению и фенотипическому проявлению опасных мутаций. Скрещивание особей двух полов, несущих различные рецессивные мутации, позволяло перевести их в гетерозиготную фор-



21.6. Пример полового диморфизма

- Кто из изображённых птиц участвует в заботе о потомстве?

В результате его вклад в следующее поколение может быть выше, чем у скромно окрашенного самца.

- Приведите примеры видов с выраженным и невыраженным половым диморфизмом.

Наряду с обычным половым размножением, встречается и его разновидность – *партеногенез*, при котором развитие нового организма происходит из неоплодотворённой яйцеклетки. Этот способ лишён преимуществ полового размножения, но зато не нуждается в поиске партнёра и обеспечивает наивысшую скорость размножения. Например, у дафний и тлей летом в популяции присутствуют только самки, которые приносят партеногенетическое потомство, а настоящее половое размножение происходит лишь осенью, когда более важной становится изменчивость потомков, а не их количество.

Преимущества бесполого и полового размножения

- В чём преимущества и недостатки каждого типа размножения?

Бесполое размножение нацелено прежде всего на точное воспроизведение удачных вариантов фенотипов, которые оказались хорошо приспособлены к условиям среды. При минимуме средств, истраченных особью на размножение, потомство гарантированно имеет шансы выжить. Но эти шансы велики, только пока условия среды сохраняются постоянными. При изменении условий неизвестно, какие признаки потомков окажутся полезными, поэтому желательно, чтобы они были различными.

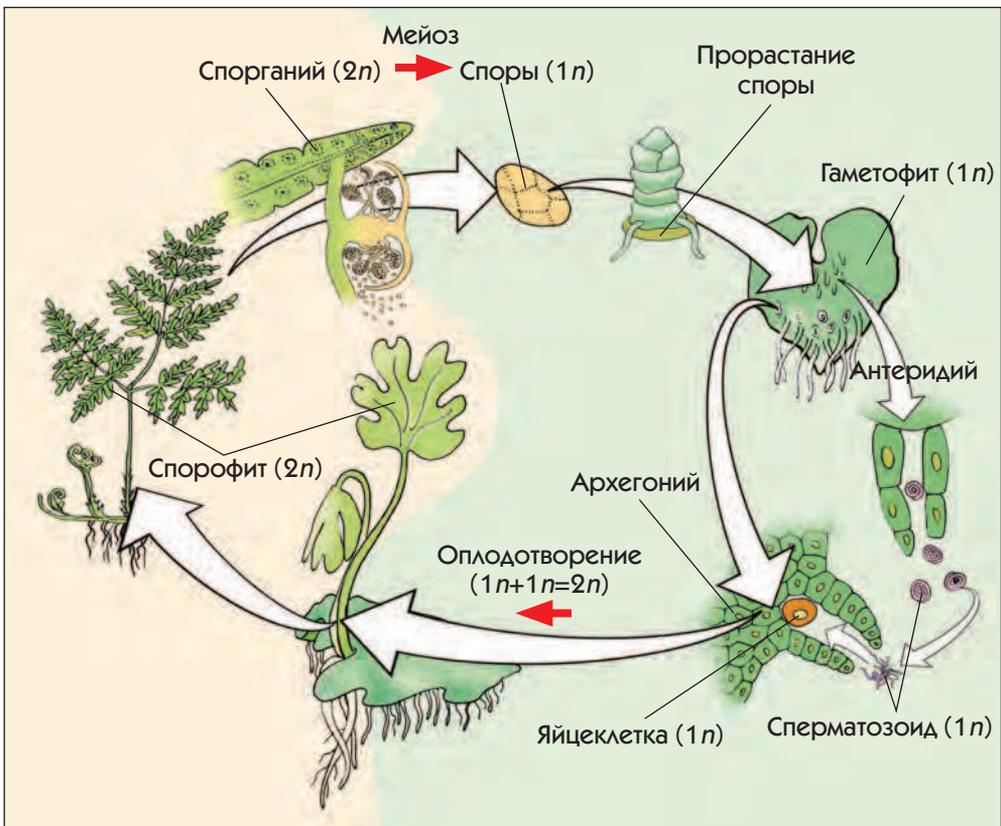
му, в которой эти неблагоприятные мутации переставали влиять на жизнеспособность.

Многие животные обладают *половым диморфизмом*, что помогает самцу и самке выполнять различные функции по обеспечению потомства. Так, у некоторых птиц насиживает кладку и укрывает птенцов только самка, скромная покровительственная окраска которой повышает шансы избежать хищника. Роль самца может сводиться к охране территории от других самцов или только к привлечению самки. Тогда ярко окрашенный самец, возможно, проиграет в продолжительности жизни, но компенсирует это успехом у большего

Большое разнообразие признаков у потомства создаётся в результате полового размножения. Его смысл состоит не только в увеличении числа особей, но и в комбинировании наследственного материала. При этом потомки отличаются от родителей, а опасность наследственных нарушений компенсируется здоровой наследственностью хотя бы одного из родителей. Да и рецессивные мутации при этом чаще переходят в безопасную гетерозиготную форму. Возросшая изменчивость повышает шансы на выживание кого-нибудь из потомков при изменении условий среды в любую сторону. Однако и затраты на половое размножение (кроме самооплодотворения) существенно возрастают, хотя бы потому, что потомство у раздельнополых организмов приносит только половина особей – самки.

Чередование поколений

- Какой результат даёт чередование двух типов размножения?



21.7. Жизненный цикл папоротника

Поскольку каждый тип размножения обладает своими особенностями, у многих видов в жизненном цикле чередуются оба типа (рис. 21.7).

1. ● Найдите на схеме 21.7 половое и бесполое поколение. Какой набор ДНК характерен для каждого из них?
2. ● Какое поколение более уязвимо? В каком из них важную роль играет капельно-жидкая вода?
3. ● Какое поколение обеспечивает генетическое разнообразие?
4. ● Какое поколение даёт наибольшее потомство?
5. ● Каково значение каждого из поколений в жизненном цикле?

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Размножение – всеобщее свойство организмов производить потомков, продолжая непрерывный ряд поколений. Бесполое размножение обеспечивает массовое и «дешёвое» воспроизводство особей, идентичных родительской. Половое размножение даёт возможность получать потомков с новыми сочетаниями родительских признаков.

Бесполое и половое размножение.
Раздельнополюе и двуполые организмы

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ



1. ● Поработайте в паре: один из вас будет называть тот или иной термин, связанный с данной темой, другой объяснять, что он означает.
2. ● Составьте сравнительную таблицу типов размножения (родители, задачи, разнообразие потомков, затраты времени и энергии, условия, в которых имеет преимущество, и т.п.).
3. ● Какой тип размножения происходит без участия мейоза?
4. ● Что произошло бы в природе, если бы исчезло: а) половое размножение; б) процесс размножения?
5. ● У подавляющего большинства групп живых организмов наблюдается та или иная форма полового размножения. Как вы думаете, почему?

§ 22. «Два в одном»: от мамы и от папы

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Ежедневно у мужчины вырабатываются сотни миллионов сперматозоидов, в то время как у женщины ежемесячно созревает одна, редко две яйцеклетки.

Даже Ч. Дарвин предполагал, что яйцеклетка оплодотворяется многими сперматозоидами, а семязпочка – многими пыльцевыми зёрнами. Иначе, считал он, невозможно объяснить, зачем так много сперматозоидов производят животные и так много пыльцы – растения.

Факт 2. При мейозе число хромосом сокращается вдвое.

- Подтверждаются ли предположения Ч. Дарвина современными знаниями об оплодотворении?
- Определите тему урока и сравните с вариантом авторов на с. 396.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Вспоминаем термины: соматические клетки, гамета, зигота (§ 21), гаплоидный, диплоидный, генотип (9 класс), мейоз (§ 16).
- В чём различия процессов мейоза и митоза?

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Формирование гамет

- Чем овогенез и сперматогенез отличаются от развития соматических клеток?

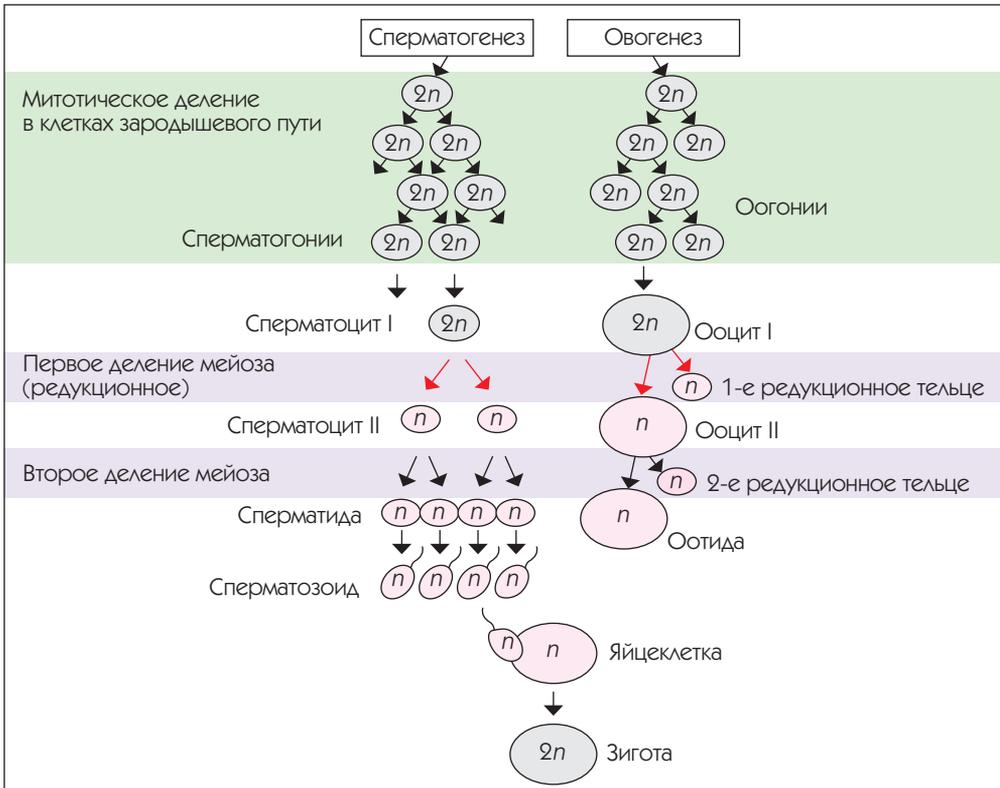
В основе полового размножения лежит образование, а затем слияние мужских и женских половых клеток – гамет в процессе оплодотворения. Главное в процессе оплодотворения – слияние ядер гамет с образованием гибридного дочернего генотипа, содержащего наследственную информацию как от матери, так и от отца. Большая часть организмов диплоидны (исключением будут, например, мхи). Поэтому их зрелые гаметы должны быть гаплоидны, чтобы в результате оплодотворения при слиянии ядер материнской и отцовской гамет восстанавливалась диплоидность. Вы уже хорошо знаете, что гаплоидные продукты деления клеток возникают в результате мейоза и именно таким способом образуются половые клетки. Биологический смысл мейоза состоит в том, что на одну фазу удвоения (редупликации) хромосом клетка делится дважды. В результате образуются зрелые половые клетки с вдвое меньшим набором хромосом (как правило, гаплоидные).

Развитие диплоидного организма начинается с объединения гаплоидных гамет в момент оплодотворения. Гаметы значительно отличаются от других (соматических) клеток не только хромосомным набором, но и высокой целостностью, самостоятельностью. По этим качествам они

приближаются к одноклеточному организму. Формирование таких клеток происходит только в зрелом возрасте организма, в процессе **гамето-генеза**. Нарушение развития гамет может существенно влиять на последующее развитие зиготы и будущего организма.

Гаметы большинства животных и человека образуются из первичных половых клеток, которые обособляются как *гонады* (половые железы) на самых ранних стадиях эмбрионального развития. Первичные половые клетки диплоидны. Их преобразование проходит 4 периода: размножение, рост, мейотическое деление и формирование.

В первом периоде **сперматогенеза** (см. рис. 22.1) происходит многократное митотическое деление *сперматогониев* – первичных мужских половых клеток. После последнего деления, в премейотической интерфазе, происходит последняя репликация ДНК, и первичные клетки



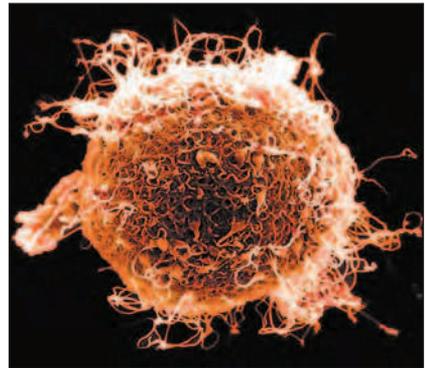
22.1. Гаметогенез у позвоночных животных и человека и оплодотворение

- Найдите на схеме различие сперматогенеза и овогенеза. Сколько клеточных митозов и мейозов содержит зародышевый путь – путь от образования первичных диплоидных половых клеток в половых железах до гаплоидных гамет?

становятся *сперматоцитами*. Второй период – период роста – совпадает с длительной профазой мейоза I. В ней происходит конъюгация хромосом, кроссинговер и образуются биваленты (пары соединённых гомологичных хромосом). В течение третьего периода каждый сперматоцит путём двух мейотических делений превращается в 4 гаплоидные *сперматиды*. Четвёртый период посвящён внутренней перестройке клетки и превращению в *сперматозоид*. В задней части образуется жгутик, впереди ядра формируется *акросома* – органелла, растворяющая оболочку яйцеклетки при соприкосновении. Усиливается энергетическая поддержка: число митохондрий и АТФ. Многие другие органеллы удаляются.

Оогенез (или овогенез) – образование яйцеклеток – включает те же периоды, но с некоторыми существенными отличиями (см. рис. 22.1). Путём митотических делений *оогониев* образуется сравнительно немного *ооцитов*, вступающих в продолжительную стадию роста. В клетке формируется запас питательных веществ в виде желточных гранул. Часть их поступает от окружающих клеток и с током крови. Мейотические деления четырёх гаплоидных клеток ведут к неравномерному распределению материала: практически весь запас переходит в одну большую *оотиду* – яйцеклетку, а в маленькие *редукционные тельца* попадают лишь избыточные комплекты ДНК. Они вскоре распадаются.

Главной особенностью яйцеклеток, по сравнению со сперматозоидами, у высших животных и человека являются их крупные размеры, обеспечивающие большой запас питательных веществ и макромолекул, необходимых для дальнейшего развития зародыша. Яйцеклетки млекопитающих имеют диаметр 60–2000 мкм, икринки лососевых рыб – 6–9 мм, яйцеклетка курицы – 3,3 см, страуса – 10 см. Сперматозоиды, напротив, очень мелкие, но чрезвычайно многочисленные подвижные клетки, предназначенные для обнаружения и оплодотворения яйцеклетки.



22.2. Яйцеклетка моллюска с множеством сперматозоидов, прикрепившихся к поверхности

Оплодотворение у животных

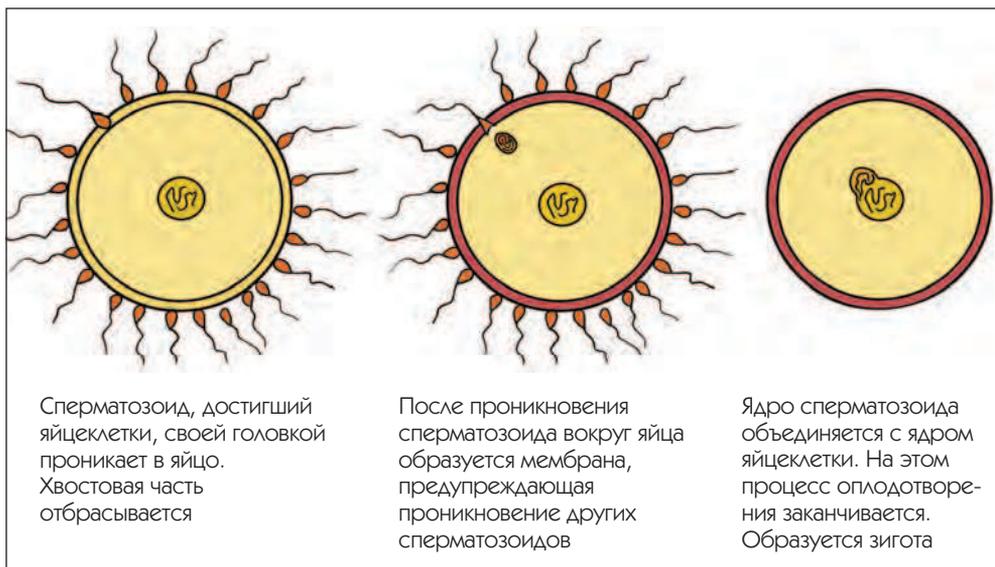
- Как происходит оплодотворение и каков его результат?

Процесс **оплодотворения** включает несколько этапов: проникновение сперматозоида в яйцеклетку и сквозь оболочки яйца, слияние гаплоидных ядер двух гамет с образованием диплоидной зиготы, активацию развития зиготы.

При слиянии половых клеток разных особей говорят о *перекрёстном* оплодотворении, при объединении гамет одного гермафродитного организма – о *самооплодотворении*.

Оплодотворение бывает наружным и внутренним. При наружном оплодотворении яйца и сперматозоиды выделяются в воду, где и происходит их слияние. Внутреннее оплодотворение характерно для наземных животных. В этом случае сперматозоиды во время полового акта вводятся в половые пути самки.

У лягушки оплодотворение происходит в воде. Неоплодотворённая яйцеклетка (икринка) покрыта несколькими оболочками, защищающими её от неблагоприятных воздействий. Сперматозоиды активно передвигаются в воде. Опыты показали, что для успешного оплодотворения необходима определённая, достаточно высокая концентрация сперматозоидов вокруг яйцеклетки. Коснувшись икринки передним концом головки, сперматозоид выделяет ферменты акросомы, позволяющие проникнуть через защитные оболочки яйцеклетки. Как только один сперматозоид проникнет в яйцеклетку, её оболочки становятся непроницаемыми для других сперматозоидов. Поэтому ядро яйцеклетки сливается только с одним ядром сперматозоида. В результате образуется зигота с двойным набором хромосом. Вскоре начинается дробление, и зигота превращается в зародыш.



22.3. Схема оплодотворения у млекопитающих

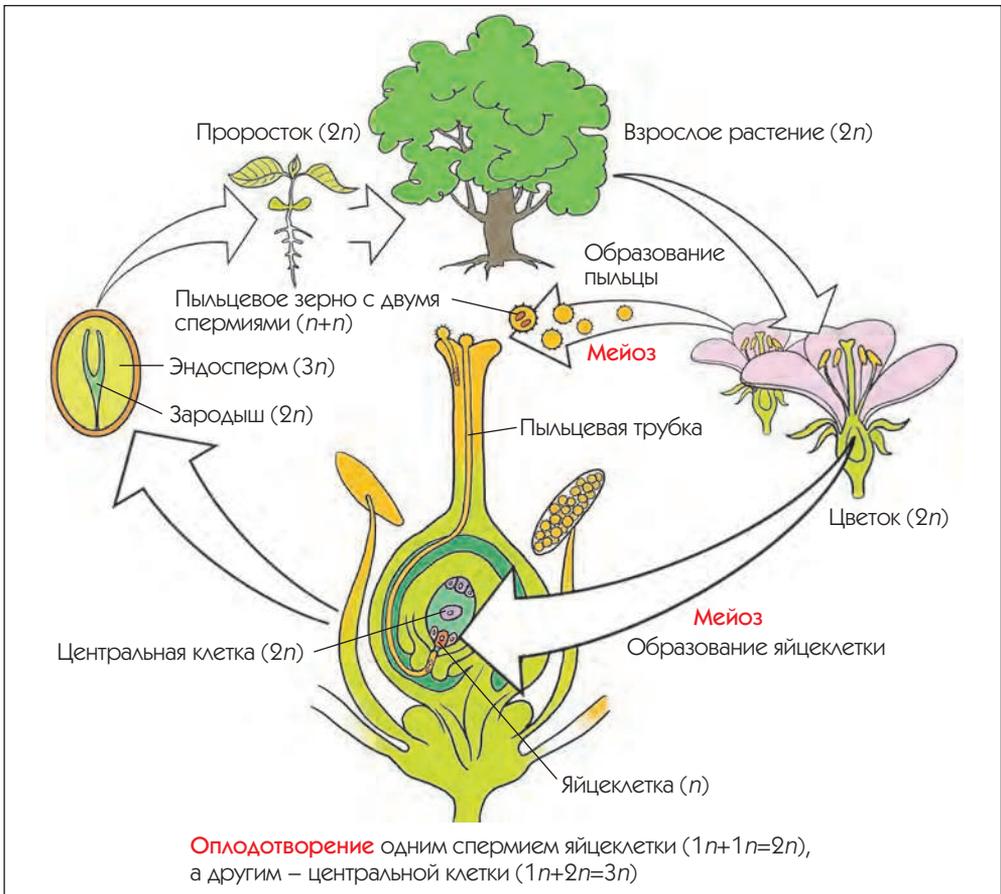
- Найдите этапы оплодотворения на рисунке.

Двойное оплодотворение у растений

- Как происходит образование гамет и оплодотворение у цветковых растений?

У семенных растений оплодотворению предшествует опыление: перенос пыльцы с пыльников на рыльце пестика того же (самоопыление) или другого (перекрёстное опыление) растения. Особый тип оплодотворения, свойственный только цветковым растениям, – двойное оплодотворение – открыл знаменитый русский ботаник С.Г. Навашин.

В пыльнике тычинки в результате мейоза образуются пыльцевые зерна – гаплоидные клетки, покрытые оболочками. Гаплоидная клетка пыльцевого зерна митотически делится на две, в свою очередь, гаплоидные клетки: вегетативную и генеративную. Вегетативная клетка обеспечивает прорастание пыльцевого зерна, попавшего на рыльце



22.4. Двойное оплодотворение у цветковых растений

пестика, и образует пыльцевую трубку. Генеративная клетка делится ещё раз на два гаплоидных спермия, которые по пыльцевой трубке проникают внутрь завязи.

В семяпочке завязи расположен зародышевый мешок с несколькими гаплоидными клетками, одна из которых – яйцеклетка. Один из спермиев оплодотворяет яйцеклетку, в результате чего образуется зигота. Из неё формируется диплоидный зародыш семени – будущее растение. Две из оставшихся гаплоидных клеток зародышевого мешка сливаются между собой и со вторым спермием. Из них развивается триплоидный ($3n$) эндосперм, который служит питательным материалом развивающемуся зародышу. Триплоидность эндосперма увеличивает количество ДНК, что обеспечивает большое число матриц для копирования белков и тем самым высокую скорость производства питательных веществ.

Таким образом, диплоидное растение в результате редукционного деления образует на своём теле два типа миниатюрных гаметофитов: пыльцевые зёрна и зародышевые мешки. Они состоят всего из нескольких гаплоидных клеток и не являются самостоятельными организмами. Часть их клеток превращается в гаметы, другие же помогают обеспечить оплодотворение.

Искусственное оплодотворение

- Где используется возможность искусственного оплодотворения?

Для выведения новых пород домашних животных, а также для разведения редких видов требуется скрещивание разных особей, причём не всегда есть возможность перевозить животных и создавать пары. В этом случае используют искусственное оплодотворение, при котором сперма самцов животных разбавляется, хранится, и с её помощью осуществляется искусственное оплодотворение самок вдалеке от того места, где была получена сперма.

Современная медицина разработала методы лечения бесплодия у человека. В случае возникновения этой болезни пара обращается в один из центров лечения бесплодия, где супругов обследуют и при необходимости предлагают им один из распространённых методов лечения – **искусственное оплодотворение**, или метод «оплодотворения в пробирке». Полученный эмбрион содержат в условиях инкубатора, где он развивается в течение 2–5 дней, после чего эмбрион переносят в полость матки для дальнейшего развития.

Впервые успешно эта медицинская технология была применена в Великобритании в 1977 году, в результате чего в 1978 году родилась Луиза Браун – первый человек, «зачатый в пробирке». Первый ребёнок (девочка), зачатый таким способом в России (СССР), был рождён в феврале 1986 года.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Процесс гаметогенеза обеспечивает развитие половых клеток с гаплоидным набором хромосом. Во время оплодотворения мужская и женская гаметы сливаются в диплоидную зиготу. Специальные механизмы блокируют одновременное оплодотворение яйцеклетки двумя сперматозоидами.

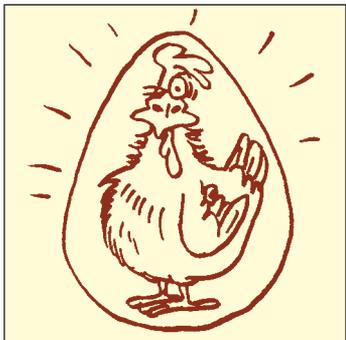
Гаметогенез: сперматогенез, оогенез.
Оплодотворение, искусственное оплодотворение

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Как связаны друг с другом следующие биологические понятия: гаметогенез, мейоз, оплодотворение, половое размножение?
2. • Что отличает оогенез от сперматогенеза?
3. • Что произошло бы при оплодотворении одной яйцеклетки несколькими сперматозоидами?
4. • В чём преимущества и недостатки наружного и внутреннего оплодотворения?
5. • В чём выражается чередование поколений у цветковых растений?

§ 23. Онтогенез – индивидуальное развитие организма

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Все клетки тела многоклеточного организма имеют одинаковый набор генов.

Факт 2. Ткани и органы многоклеточного организма состоят из клеток с различным химическим составом, строением и функциями.

- В чём противоречие приведённых фактов? Что в разных клетках сходно и что различно?
- На какой вопрос мы будем искать ответ? Какая проблема возникает в связи с изучением развития организма из одной клетки? Предложите свой вариант и сравните с авторским на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

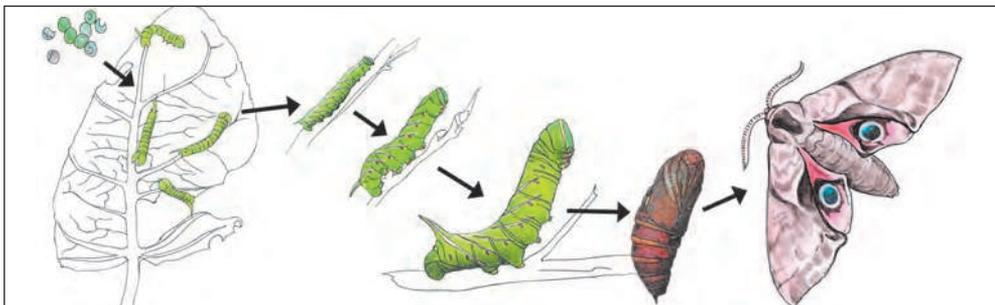
- Вспоминаем термины: онтогенез, эмбрион, метаморфоз, личинка (9 класс), зигота (§ 19)
- Чем индивидуальное развитие отличается от исторического развития? (9 класс)
- Что можно назвать наследственной программой организма? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Что такое онтогенез

- Что означает это слово, к какому объекту и периоду его применяют?

Индивидуальное развитие организма, или **онтогенез**, – это вся совокупность преобразований особи от зарождения до конца её жизни. Это процесс реализации наследственной программы, полученной особью от родителей (при половом размножении) или от одного родительского организма (при бесполом размножении). Исследованием онтогенеза занимается *биология развития*.



23.1. Индивидуальное развитие бабочки

- В чём смысл превращений в процессе онтогенеза?

У одноклеточных онтогенез, как правило, совпадает с клеточным циклом и протекает от одного деления клетки до другого или до гибели от неблагоприятных факторов среды. При делении родительской клетки появляются два потомка. В этом смысле одноклеточные потенциально бессмертны, хотя в действительности вероятность гибели каждой отдельной клетки весьма высока. Косвенно в пользу этого говорит их высокая плодовитость.

При бесполом размножении онтогенез может начинаться со споры, почки, черенка и т.п. При половом размножении онтогенез нового организма начинается с момента оплодотворения, т.е. с зиготы.

У многоклеточных организмов онтогенез делится на два важнейших периода: **эмбриональное**, или *зародышевое*, развитие; **постэмбриональное** развитие, включающее стадию личинки (или детства), стадию взрослого организма и стадию старения.

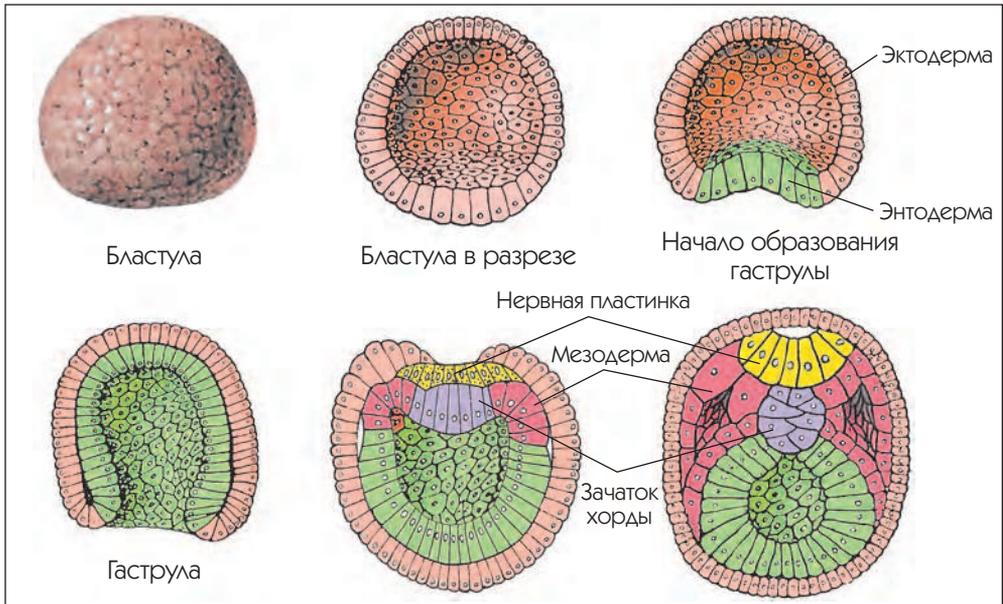
Закладка «фундамента» строения организма

- Какие процессы происходят в период эмбрионального развития и как они направляются в нужную сторону?

Эмбриональный период длится от момента образования зиготы до выхода зародыша из яйца, или рождения. Рассмотрим процессы, происходящие в этот период, на примере развития нашего просто устроенного предка – ланцетника.

Многоклеточный организм состоит из различных органов и тканей. Но прежде чем в онтогенезе произойдёт дифференцировка клеток, необходимо на первых порах получить некоторое множество клеток. Поэтому на первой стадии, которая называется **дроблением**, яйцеклетка митотически делится, в результате чего образуется 2, 4, 8 клеток и т.д. (рис. 23.2). Дробление идёт быстро, так как клетки при этом не растут и не дифференцируются. Заканчивается дробление образованием *бластулы* – полого шарика, стенка которого состоит из одного слоя клеток. Таким образом, в конце этого процесса в результате серии митозов образуется множество очень похожих по строению и химическому составу клеток, имеющих одинаковое количество ДНК, одинаковые хромосомы, одинаковые гены.

Каким же образом клетки разных органов и тканей оказываются различными по своему строению и функциям, т.е. дифференцированными? Дело в том, что в каждой клетке многоклеточного организма работает только небольшая часть генов, определяющая развитие в нужном направлении. Синтезируемые по матрице этих генов белки, будучи ферментами, запускают специфические реакции, что приводит к изменению химического состава и строения этих клеток и в конечном итоге к их развитию.



23.2. Дробление оплодотворённого яйца ланцетника и образование зародышевых листков

- Найдите на рисунке все процессы, описанные в тексте.

От чего же зависит, какие гены будут активированы в клетке? Во-первых, от собственного состояния клетки (её химизма, структуры), от того, какие стадии уже пройдены и какая будет следующей по очереди. Во-вторых, клетка реагирует на гравитационное поле Земли. В-третьих, на активацию генов могут повлиять с помощью химических сигналов соседние клетки.

Этих трёх способов реагирования клетки вполне достаточно, чтобы процесс считывания информации с ДНК регулировался так, как требуется в данный момент в данной клетке эмбриона.

Опыты по пересадке зародыша и его частей подтвердили, что различная активность генов в дифференцирующихся клетках определяется влиянием соседних клеток и тканей. Проиллюстрируем эти закономерности на примере образования зародышевых листков.

На нижнем полюсе бластулы клетки начинают делиться более активно и углубляются внутрь шарообразного зародыша, образуя впячивание. В результате однослойный зародыш превращается в двухслойный – *гаструлу*. Два слоя клеток при этом занимают в зародыше разное положение, а значит, испытывают на себе различное влияние соседей. В результате формируются **зародышевые листки**: наружный – *эктодерма* и внутренний – *энтодерма*. Между ними на стадии *нейрулы* образуется третий зародышевый слой – *мезодерма*.

Дальнейшее развитие зародыша связано с взаимодействием трёх зародышевых листков, из которых формируются все органы. У высших позвоночных и человека из эктодермы формируются нервная система, покровы, кожные железы, эмаль зубов, волосы. Энтодерма даёт начало тканям, выстилающим кишечник и дыхательные пути, образует печень и поджелудочную железу. Из мезодермы образуются мышцы, костный скелет, органы выделения, половой и кровеносной систем организма. В процессе развития органов между частями развивающегося зародыша существует взаимодействие: зачаток одного органа определяет местоположение и время образования другого органа. Цепь таких взаимовлияний и определяет направление развития многоклеточного организма.

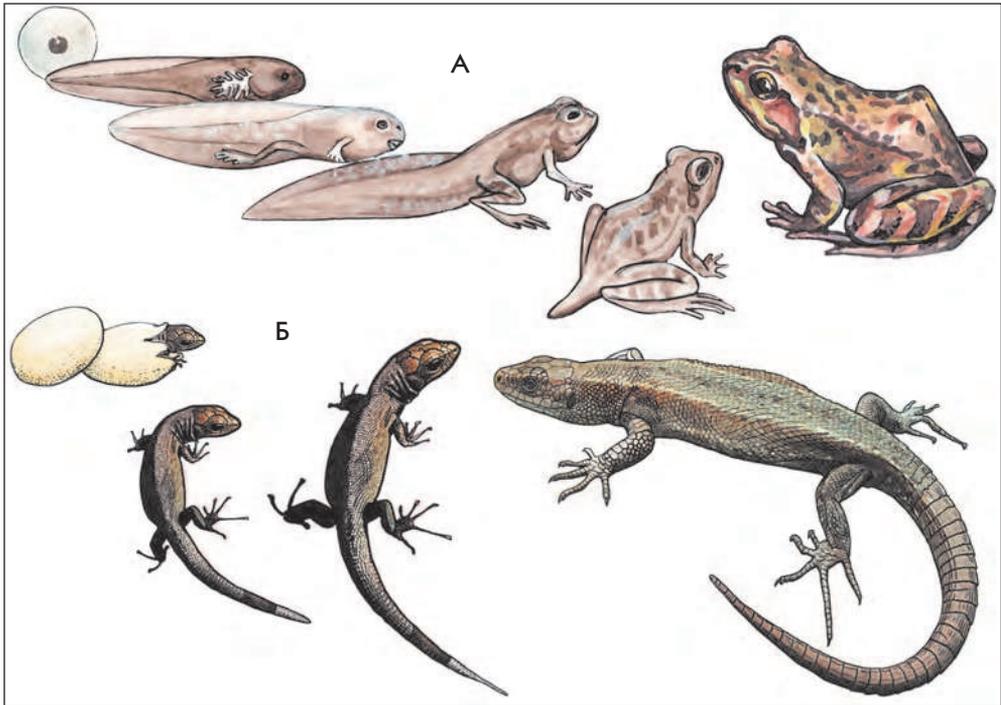
Эмбриональное развитие происходит за счёт вещества и энергии внешнего источника – материнского организма. Рождение превращает эмбрион (плод) в самостоятельную особь. В этот момент, например, у ребёнка включаются многие функции самообеспечения: кровообращение, дыхание, выделение, питание.

Прямое и непрямое развитие

- Чем определяется выбор пути постэмбрионального развития у животных?

Прямое развитие постепенно: его соседние стадии не имеют резких различий. Таково развитие человека и большинства позвоночных, насекомых с неполным превращением. В этом случае взрослая стадия развития мало чем отличается от детской или личиночной стадии, кроме размеров и способности к размножению. Важное достоинство этого способа развития заключается в том, что оно позволяет взрослому животному использовать опыт, приобретённый на ранних стадиях постэмбрионального развития. Это особенно важно для долгоживущих высших животных, в жизни которых обучение играет значительную роль. Способность к обучению у человека – самый яркий пример этого преимущества.

Непрямое развитие представлено личиночной стадией, не похожей на взрослый организм. За ней следует стадия превращения, или **метаморфоза**, в течение которой происходит резкая перестройка всей организации особи. Наконец, наступает взрослая стадия, не похожая на личиночную, и организм приобретает способность к размножению. Таково развитие многих паразитических червей (например, финка, личинка лентеца и взрослый червь), насекомых с полным превращением (гусеница, покоящаяся куколка и бабочка), бесхвостых амфибий (головастик и взрослая лягушка). Преимущество непрямого развития в том, что личинки и взрослые одного и того же вида могут использовать совершенно разные местообитания, способы и объекты питания. Но при этом опыт, приобретённый личинкой, бесполезен для взрослого животного.



23.3. Постэмбриональное развитие: А – непрямое (у лягушки); Б – прямое (у ящерицы)

Такой способ постэмбрионального развития характерен для паразитов с последовательной сменой хозяев и для короткоживущих организмов, которым врождённые инстинкты гораздо важнее, чем опыт, приобретаемый в течение жизни.

Старение и омоложение

- Какими признаками характеризуется старение?

Завершается индивидуальное развитие высших многоклеточных старением и смертью. Старение связано с морфологическими и физиологическими изменениями, понижающими интенсивность обмена веществ в организме. Снижается общая устойчивость организма к неблагоприятным факторам среды: инфекциям, резким изменениям температуры и давления, особенно в межсезонья, и т.п. Ослабевает способность к восстановлению структур и функций после нарушения. Одно из таких нарушений в конечном счёте завершается смертью.

Закономерности старения до конца не изучены. Они связаны с нарушением внутриклеточных процессов обмена и использования информации.

Старение необратимо, однако у просто устроенных организмов возможно частичное омоложение тканей и органов – избавление их от накопившихся дефектов. В его основе лежит регенерация нарушенных частей из ненарушенных. Дерево может омолодиться за счёт корневых отпрысков, усов, спящих почек на пне и т.п. Но чем сложнее устроен организм и чем сильнее взаимозависимость его частей, тем более затруднительно омоложение.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Индивидуальное развитие организма, или онтогенез, – это вся совокупность преобразований особи от зарождения до конца её жизни. Оно выражается в процессе реализации клетками наследственной программы. Развитие направляется взаимодействием частей развивающегося организма, которое определяет реализацию той или иной части наследственной программы в данной клетке (ткани). Различают два типа постэмбрионального развития: прямое (постепенное) и непрямое (с метаморфозом).

Онтогенез, или индивидуальное развитие.

Эмбриональное и постэмбриональное развитие. Дробление. Зародышевые листки. **Прямое и непрямое развитие.** Метаморфоз

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Почему дробление предшествует дифференцировке?
2. • Чем определяется направление дифференцировки клеток?
3. • В чём преимущества прямого и непрямого развития? Приведите примеры.
4. • Какие из приведённых сведений применимы к человеку?
5. • В чём преимущества прямого развития для становления человека как разумного существа?
6. • Почему при описании эмбрионального развития авторы учебников обычно ограничиваются описанием дробления и дифференцировки зародыша на зародышевые листки?
7. • Почему онтогенез состоит из длинного ряда превращений? Не проще ли сразу формировать взрослый организм?
8. • Почему нет мыслящих насекомых?



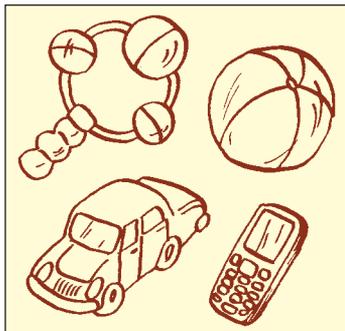
• • МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявление признаков сходства зародышей человека и других животных как доказательство их родства

Рассмотрите препараты или муляжи зародышей человека и других животных (в том числе и млекопитающих). Определите черты сходства и отличия и занесите их в таблицу. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения. Иллюстративный материал для неё можно подобрать в Интернете.

§ 24. Индивидуальное развитие человека

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Средняя продолжительность жизни человека в развитых странах – 70–80 лет.

Факт 2. Средняя продолжительность жизни сопоставимых с человеком по размерам млекопитающих: лошади – 20 лет, шимпанзе – 30–40 лет, собаки 10–12 лет.

- Предложите гипотезу, объясняющую несоответствие между приведёнными фактами.
- Как можно сформулировать проблему урока? Предложите свой вариант и сравните его с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое индивидуальное развитие? (§ 23)
- Вспоминаем термины: прямое развитие, эмбриональное и постэмбриональное развитие, старение. (§ 23)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Эмбриональное развитие

- Проследите этапы эмбрионального развития человека и объясните большое сходство с развитием животных.
- С помощью текста и таблицы выясните, какова последовательность и хронология оплодотворения и эмбрионального развития.

Индивидуальное развитие человека, как и других организмов с половым размножением, начинается с момента оплодотворения и завершается смертью.

Созревание яйцеклетки в организме женщины происходит каждый месяц и заканчивается к середине менструального цикла. Тогда происходит овуляция – выход яйцеклетки из яичника в брюшную полость, а затем в маточную трубу. Там чаще всего и происходит оплодотворение. Во время одного полового акта в организм женщины попадает более 200 млн сперматозоидов. Такая расточительность кажется на первый взгляд неоправданной, особенно учитывая, что все случаи многоплодия у человека укладываются в 1,5%. Однако избыточное количество сперматозоидов формирует химическую среду, способствующую слиянию гамет, и этим повышает вероятность оплодотворения.

Если у женщины вовремя не наступает менструация, это может быть первым признаком того, что она беременна.

Эмбриональное развитие человека длится около 280 суток и подразделяется на три периода: начальный (1-я неделя), зародышевый (2–8-я неделя) и плодный (с 9-й недели до рождения).

К концу первых суток после оплодотворения начинается дробление зиготы. Через 30 часов зародыш состоит из двух, а через 40 часов – из четырёх клеток. В результате многократных митотических делений образуется плотный шар, внутри которого находятся более тёмные и медленно делящиеся клетки, а снаружи – более светлые и быстро делящиеся. Это первый шаг к дифференцировке клеток. В будущем тёмные клетки дадут начало зародышу, а светлые превратятся в его *зародышевые оболочки*, обеспечивающие связь зародыша с телом матери (амнион и плацента) и выведение продуктов его обмена (аллантоис). Всё это время зародыш медленно движется по яйцеводу к матке. На 5–6-е сутки он, наконец, уже на стадии бластулы, попадает в матку и внедряется в её стенку. С этого момента зародыш начинает получать кислород и питательные вещества из крови матери.



Но зародыш может и не попасть в матку. Во-первых, он может погибнуть на ранних стадиях дробления, при этом женщина даже не заметит своей беременности. Причиной этого нередко бывают дефекты наследственного материала зародыша: среди эмбрионов, несущих хромосомные аномалии, доля погибших на 40% больше.

Во-вторых, зародыш может внедриться в стенку яйцевода, не дойдя до матки. Такой эмбрион обречён, а главное – внематочная беременность смертельно опасна для матери. Важно как можно раньше обнаружить эту аномалию и прервать беременность оперативным путём. Таким образом, самые ранние этапы развития весьма уязвимы.

За имплантацией следует гаструляция, а за ней – органогенез: сперва закладывается хорда, затем нервная трубка, позже – остальные органы (см. таблицу 1).

Таблица 1

Хронология эмбрионального развития человека

Период	Этапы развития
1-я неделя	Дробление. Имплантация зародыша.
2-я неделя	Обособление трёх зародышевых листков – эктодермы, мезодермы и энтодермы.
3-я неделя	Развитие нервной трубки. Начало развития головного и спинного мозга (первые органы). Длина зародыша 2 мм.
4-я неделя	Начало формирования сердца, кровеносных сосудов, крови и кишечника. Длина зародыша 5 мм.
5-я неделя	Развитие головного мозга. Начало закладки конечностей. Сердце начинает биться, перекачивая кровь. Длина зародыша 8 мм.
6-я неделя	Начало формирования глаз и ушных раковин.

Период	Этапы развития
7-я неделя	Развитие всех основных внутренних органов. Начало формирования конечностей – рук и ног. Длина плода 17 мм.
К 12-й неделе	Плод в основном сформирован и подвижен. За время, остающееся до рождения, он главным образом увеличивается в размерах. Длина плода 56 мм.
К 20-й неделе	Начинается рост волос, включая брови и ресницы. Длина тела 160 мм.
24-я неделя	Открываются глаза.
К 26-й неделе	Плод сформирован настолько, что выживает в случае преждевременных родов.
К 28-й неделе	Ребёнок много двигается, глотает, выделяет мочу.
К 30-й неделе	Обычно лежит головкой вниз, готовясь появиться на свет. Длина тела 240 мм.
40 недель	Рождение.

Постэмбриональное развитие

- Проследите этапы постэмбрионального развития человека, найдите и объясните значительные отличия от развития животных.

В постэмбриональном онтогенезе обычно выделяют три крупных этапа: **детство** и **юность** (дорепродуктивный), **зрелость** (репродуктивный) и **старение** (пострепродуктивный).



24.1. Индивидуальное развитие человека

- Как меняются пропорции тела человека с возрастом?

Важнейшей отличительной чертой человека от животных является **длительный период взросления**. Индивидуальная выгода от обучения в сочетании с богатством жизненного опыта, который человек получает

в период взросления, многократно превосходит все сравнения с животным миром. Поэтому биологические способности к обучению у человека необыкновенно развиты.

Это, в свою очередь, становится возможным благодаря тому, что врождённые черты поведения человека имеют общий характер и легко модифицируются под влиянием индивидуального опыта. Только в младенческом возрасте у человека заметны готовые врождённые реакции организма: дыхательный, сосательный, хватательный и другие безусловные рефлексы. Большинство же врождённых форм поведения служит лишь фундаментом, на котором выстраивается поведение, приобретённое в процессе обучения. Основой для него служит социальная жизнь, общение с людьми различных возрастных групп, обучение младших поколений старшими. Начальные формы такой социальной жизни и большой роли обучения мы унаследовали от своих предков – приматов, но у людей она достигла исключительного значения.

Известно, что индивидуальное обучение и длительный период взросления чаще встречаются и наиболее важны для долгоживущих организмов. Среди них человек – самый долгоживущий вид среди млекопитающих того же размерного класса. Если начальные этапы развития человека протекают в относительно благоприятных условиях, то в пору зрелости он приобретает весьма высокую устойчивость и сопротивляемость к вредоносным воздействиям. Репродуктивный период приходится на наилучшую физическую форму организма и имеет значительную продолжительность. Этим определяется возможность длительной заботы о детях, обеспечения их полноценным обучением и воспитанием.

Уважение к старости – человеческое качество, связанное с развитием разума. Значение пожилых людей с огромным жизненным опытом, которым они могут поделиться с другими членами семьи и соплеменниками, было осознано на заре цивилизации. В те времена, когда продолжительность жизни была невелика, старейшин – людей, приобретших знания и опыт в течение долгой жизни, глубоко почитали и берегли. Таким образом, постепенное увеличение продолжительности жизни человека имеет давние социальные причины. В последние столетия она неуклонно увеличивается за счёт улучшения материальных условий и развития медицины.

Критические периоды

- В какие периоды жизни человек наиболее уязвим и как это следует учитывать?

В онтогенезе человека существуют критические периоды, когда он особенно чувствителен к инфекциям и стрессирующим воздействиям разного рода. Эти периоды сведены в таблицу 2.

Таблица 2

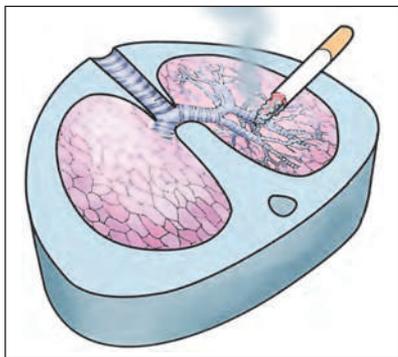
Критические периоды в физиологическом развитии человека

Период	Этапы развития
1-й день	Оплодотворение
5–7-е сутки	Имплантация зародыша в стенку матки
3–4-я недели	Закладка и дифференцировка нервного ствола
3–8-я недели	Закладка основных органов зародыша и формирование плаценты
15–22-я недели	Усиленный рост головного мозга и дифференцировка нервной ткани
20–24-я недели	Дифференцировка половой системы
9-й месяц	Рождение
1-й год жизни	Младенчество
11–12-й годы жизни	Половое созревание

- Как мать и её ближайшее окружение могут воспользоваться этой таблицей?

Самый первый критический период совпадает со временем зачатия и началом беременности. В этот период курение, употребление алкогольных напитков, наркотических препаратов и специфических аллергенов (например, цитрусовых) могут оказать необратимое воздействие на формирующиеся половые клетки. Рождение неполноценного ребёнка – большое несчастье.

На протяжении всего времени эмбрионального развития плод тесно связан с организмом матери через плаценту, обеспечивающую его питанием и кислородом. Поэтому здоровье и даже психическое состояние матери непосредственно влияют на его развитие. Например, никотин, проникая через плаценту в кровеносную систему плода, вызывает



24.2. • Что хотел сказать художник?

сужение сосудов, пониженное снабжение кислородом и питанием и приводит к задержке развития. У постоянно курящих женщин дети при рождении весят в среднем на 300–350 г меньше нормы, на 27% чаще случаются преждевременные роды и выкидыши на поздних сроках беременности, на 50% чаще вероятность развития порока сердца. У беременных, которые выкуривали в день по одной пачке сигарет, уровень смертности детей увеличивался на 20%, а у тех, кто выкуривал более одной пачки, – на 35%.

Но и взрослым курить вредно – это написано на каждой пачке сигарет. По данным международных организаций, ежегодно от болезней, связанных с курением, умирают более 5 млн человек. Каждый восемь секунд в мире преждевременно умирает курильщик, причём каждый десятый из них – россиянин. Много и длительно курящие люди в 10 раз чаще заболевают язвой желудка, в 12 раз – инфарктом миокарда, в 13 раз – стенокардией и в 30 раз – раком лёгких.

Легко проникает через плаценту и алкоголь. Его употребление во время беременности вызывает алкогольный синдром: задержку умственного развития, недоразвитие головного мозга (микроцефалию), повышенную возбудимость и невозможность сосредоточиться, пониженную скорость роста, слабость мышц. При обследовании полутора тысяч матерей и их детей отклонения от нормы наблюдались лишь у 2% детей, родившихся от матерей, которые совсем не употребляли спиртного. Этот показатель повысился до 9% среди детей «умеренно» пьющих матерей. У детей, матери которых сильно пили, показатель отклонения от нормы поднялся до 74%. Причем у последних, как правило, регистрировалось не одно, а несколько отклонений от нормы.

Наркотическая зависимость матери вызывает аналогичное привыкание ребёнка в период эмбрионального развития. В результате у ребёнка происходит «ломка» при рождении и всякий раз, когда наркотик перестаёт поступать с молоком матери. Наркотики влияют на нервную систему: у зависимых детей значительно быстрее, чем у взрослых, поражается головной мозг, обнаруживается задержка умственного развития и нарушение поведения. У 8% матерей-наркоманок беременность заканчивается мертворождением из-за отслойки плаценты, в 25% приводит к преждевременным родам и замедлению родов.

Даже употребление обычных лекарственных препаратов, считающихся безвредными, следует ограничить, особенно на ранних стадиях беременности и в критические периоды развития эмбриона.

Серьёзную опасность для развития плода могут представлять заболевания матери, особенно краснуха, гепатит В и ВИЧ-инфекция. Заражение краснухой на первом месяце беременности вызывает у 50% родившихся детей слепоту, глухоту, расстройства нервной системы и пороки сердца.

Всё это – разнообразные примеры вредных воздействий на эмбрион человека, защищённый телом матери. Недостаточное питание, как в количественном, так и качественном отношении, курение, алкоголь и наркотики, промышленное загрязнение окружающей среды, особенно воздуха и воды, радиоактивное излучение, стрессы и болезни – всё это негативно влияет на человека в любом возрасте. Но ребёнок намного чувствительнее. Он плачет, когда ему плохо. Эмбрион этого сделать не может.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Все стадии развития человека более продолжительны, чем у других млекопитающих того же размера и веса. В остальном эмбриональное развитие человека и млекопитающих очень похоже. Постэмбриональное развитие на первый взгляд отличается лишь большей продолжительностью. Но от всех животных человека отличает исключительная роль обучения и приобретения личного опыта. Разум – самая универсальная адаптация в природе – продлевает нам жизнь. Но бывает и «горе от ума»: вредные привычки, издержки индустриального общества, социальные конфликты. Несчастья ещё больше от сознания собственных ошибок.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● В какие периоды онтогенеза вероятность нарушений выше?
2. ● Как будущие родители должны готовиться к рождению детей?
3. ● В чём непреходящая ценность каждого возраста?
4. ● Как сделать так, чтобы не поддаваться вредным привычкам?
5. ● Можно ли изменить общество, которое призывает к здоровому образу жизни, но при этом не в состоянии обеспечить здоровой среды обитания?

ГЛАВА 3. НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ



В этой главе вы научитесь

понимать значение изменчивости и наследственности в жизни организмов.

Для этого вы должны уметь:

- характеризовать законы наследования Г. Менделя, их цитологические основы, важнейшие положения хромосомной теории наследственности, современные представления о гене;
- характеризовать природу наследственных болезней;
- приводить примеры изменчивости и наследственности у растений и животных и объяснять причину этого явления;
- характеризовать методы селекции и их биологические основы.

Использовать в быту элементарные генетические знания.

Для этого вы должны уметь:

- пользоваться знаниями по генетике и селекции для поддержания породной чистоты домашних животных (собак, кошек, аквариумных рыб и др.).

Оценивать поведение человека с точки зрения сохранения его здоровья.

Для этого вы должны уметь:

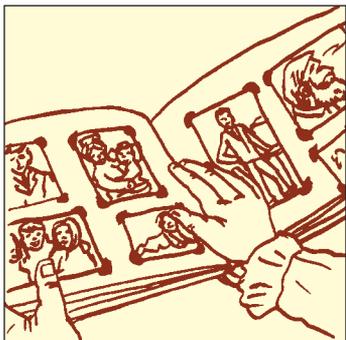
- применять биологические знания для обеспечения генетической безопасности (профилактика наследственных заболеваний, защита наследственности от нарушений окружающей среды).

Проверьте себя!

- Как связаны между собой явления наследственности и изменчивости?

§ 25. Зарождение науки генетики

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



– Как же он похож на свою бабушку! – говорит один из гостей другому.
 – Разве он может быть больше похож на бабушку, чем на маму?! – возражает отец.
 – Тем более что мужские признаки сильнее женских, – поддерживает его приятель.
 – Да что вы спорите, – вступается мама, – ведь он наш кровь от крови, поровну моей и мужа.

- Обобщите взгляды каждого спорщика. Какой из них вам ближе?

- Какие исследования нужны, чтобы выработать общую позицию? Предложите основной вопрос урока и сравните с авторским вариантом (с. 396).

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Кто заложил основы генетики? (9 класс)
- С помощью каких методов генетики изучают наследственность? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Наследственность и изменчивость

- Сравнивая потомков одних родителей, научитесь разделять их особенности, обусловленные наследственностью и изменчивостью.

С давних пор людей интересовало противоречивое свойство организмов передавать свои признаки в ряду поколений в общих чертах, но не полностью – так что новый организм имеет свои индивидуальные отличия. Противоречие состоит в том, что передача признаков объединяет два свойства: наследственность и изменчивость. **Наследственность** – способность потомков воспроизводить в индивидуальном развитии свойства предков. **Изменчивость** – свойство потомков приобретать новые признаки. Закономерности наследственности и изменчивости изучает наука **генетика**.

Формирование представлений о наследственности

- Какие проблемы интересовали учёных и какие заблуждения мешали найти верный путь их решения?

Ещё в доисторические времена люди, вероятно, отдавали себе отчёт в том, что признаки организмов наследуются. Они стремились вырастить цыплят от более яйценоских кур, посеять семена самых урожайных рас-

тений. Однако только в конце XIX в. появились первые научные знания, давшие впоследствии возможность осознанно управлять селекцией.

Быстрое развитие генетики началось с тех пор, как цитологи увидели расхождение хромосом при делении клетки и сопоставили этот факт с почти забытыми трудами Менделя, предположившего, что носителями наследственной информации служат неделимые частицы, а не жидкости.

Это было совсем не бесспорно. Наследование родительских свойств объясняли не иначе как смешиванием их крови, или «жизненных соков». В этом убеждало многообразие родительских признаков, плавность изменения в ряду потомков, трудность поддержания «чистокровности». Различные «теории» слитной наследственности лучше согласовывались с непрерывной изменчивостью большинства признаков: длины тела, формы ушной раковины, цвета кожи. Отсюда идёт бытующее до сих пор представление о долях крови, унаследованных потомками от разных предков.



Это представление лежит в основе «кошмара Дженкина», в котором Ч. Дарвин видел главное возражение против теории естественного отбора. В самом деле, если среди массы растений с белыми цветками появится растение с красными цветками, то при каждом скрещивании этот новый признак, независимо от его полезности, будет «разбавляться» вдвое. В ближайших поколениях он «растворится» в наследственном материале подавляющего большинства особей и исчезнет.

Другой загадкой наследования была способность микроскопических половых клеток передавать полную информацию о строении и функциях целого многоклеточного организма, определяя в нём различную роль астрономического числа клеток.



Над этой проблемой бились великие умы, от древнегреческого учёного и врача Гиппократ (V в. до н.э.) до Ч. Дарвина, предложившего гипотезу пангенезиса (1868). Согласно ей, все клетки тела выделяют мельчайшие частицы с информацией о своих свойствах, в том числе приобретённых, и направляют их в половые клетки, с которыми они переходят потомку. Сам Дарвин понимал бездоказательность гипотезы и считал её временной мерой, облегчающей понимание проблемы. Вскоре она была опровергнута экспериментами, а проблему наследственных факторов успешно решили благодаря развитию биологии в конце XIX в.

Мендель не видел единиц наследственности, он только предполагал их существование, так как они лучше всего объясняли результаты его опытов по передаче признаков от родителей к потомкам. Теперь мы знаем, что такие единицы – гены – представляют собой участки молекул ДНК. Гены как части молекул ДНК копируются и передаются дочерним клеткам. Так они передают потомкам наследственные свойства родителей.

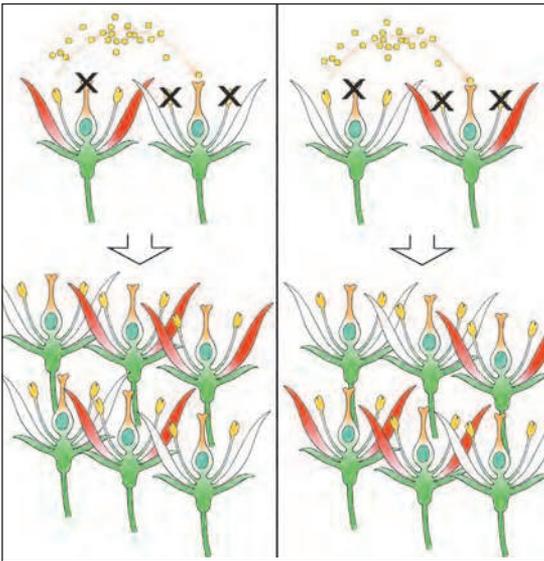
- Все ли клетки организма несут одинаковую ДНК? Как каждая из них использует наследственную информацию?

Гибридологический анализ – главный метод генетики

- Обратите внимание на термины, выделенные в тексте, и выскажите своё мнение о том, почему их содержание оставалось непонятым до исследований Менделя. В дальнейшем проверьте своё предположение.

Наряду с решением общих проблем учёных интересовали закономерности наследования различных признаков родителей. Аристотель (IV в. до н.э.) считал, что развитие организма начинается с борьбы между признаками отца и матери. Побеждают более сильные признаки, которые и определяют, в частности, пол и характер будущего ребёнка. Важнейшие черты, по его мнению, наследуются по мужской линии.

Из опыта стихийной селекции было известно, что путём длительной выбраковки отклоняющихся особей можно вывести «чистый» сорт или породу – *чистую линию* организмов, не дающую нежелательных отклонений признаков в потомстве. Наоборот, скрещивание особей из разных линий приводит к получению *гибридов* с большим разнообразием признаков. По мере развития науки метод наблюдения наследования постепенно вытеснялся методом *гибридологического анализа* – анализа характера наследования признаков путём системы скрещиваний.



25.1. Схема опытов И.Г. Кельрейтера

- Поясните смысл опытов Кельрейтера, показанных на схеме.

В конце XVIII в. сотрудник Российской академии наук И.Г. Кельрейтер (1733–1806) первым поставил строгие эксперименты по проверке *эквивалентности* (отсутствия преимущества) в наследовании по мужской и женской линии. Он проследил проявление *альтернативных* (несовместимых в одном организме) признаков, таких как окраска цветков у некоторых растений, и показал, что результат скрещивания не зависит от того, яйцеклетка или спермий несёт данный признак. Иными словами, оба родителя вносят равноценный вклад в наследственные свойства потомков.

К середине XIX в. были известны и другие закономерности наследования. Так, было замечено, что при скрещивании двух сортов (пород) в первом поколении образуются гибриды, все как один похожие друг на друга. Но во втором и последующих поколениях потомков происходит *расщепление* признаков: появляются особи, похожие на каждого из предков. Это позволило сформулировать два «рабочих» правила: о единообразии гибридов первого поколения и о расщеплении признаков во втором и последующих поколениях.

Было открыто явление *доминантности*. Показано, что часто все гибриды первого поколения по исследуемому признаку идентичны одному из родителей (его признак доминирует). При этом другой, *рецессивный* (не проявляющийся) признак не исчезает: после скрещивания гибридов между собой он снова проявляется у потомков второго поколения. Это рассматривалось как «возврат к родительским формам». Было также показано, что среди гибридов второго поколения встречаются внешне одинаковые организмы с различной наследственностью: одни из них дают расщепление признаков у потомков при самоопылении, а другие – нет.

Однако эти результаты не смогли изменить общие представления о природе наследственности. Биологический механизм процессов, скрытых за внешним проявлением признаков, оставался непонятым.

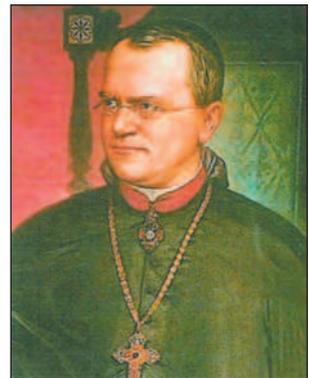
Грегор Мендель и его подход

- Сформулируйте особенности метода Г. Менделя и причины его успеха.

Решающий вклад в развитие генетики как науки осуществил Грегор Мендель (1822–1884), опубликовав в 1865 году статью «Опыты над растительными организмами», в которой он обобщил результаты своих многочисленных экспериментов.

Грегор Мендель был монахом, а позднее настоятелем монастыря в Брюнне, в Австро-Венгрии (теперь город Брно, Чехия). Свои знаменитые опыты он проводил с обычным горохом, который выращивал в монастырском саду. Как же Мендель, работая много лет в одиночку, увидел то, чего не смогли разглядеть его современники, связанные с научным миром? Его успех определялся прежде всего глубоко продуманной организацией научного исследования.

Во-первых, он выбрал исключительно удачный объект исследования – растения гороха.



25.2. Грегор Мендель



В норме гермафродитные цветки гороха оплодотворяются самоопылением. Мужские (спермии пыльцевого зерна) и женские (яйцеклетки в пестике) гаметы образуются с гарантией из одного и того же генетического материала, а плоды образуются после слияния этих гамет. Высевая полученные семена, легко убедиться в устойчивости признаков в ряду поколений, так как можно быть уверенным, что ни ветер, ни насекомые не занесли на опытные растения чужую пыльцу. Вместе с тем при необходимости исследователь может сам скрещивать разные растения, перенося в нужный момент кисточкой пыльцу одного растения на пестики другого. Такой способ позволяет легко получать гибриды между различными линиями с уверенностью за их происхождение. На поиск подходящего объекта и отработку надёжных методик гибридизации Мендель потратил несколько лет.

Во-вторых, Мендель, в отличие от многих, не пытался узнать всё и сразу, а строго ограничил свою задачу, стремясь глубоко проникнуть в суть происходящих процессов.



В большинстве опытов он наблюдал за наследованием одного хорошо заметного признака, выраженного двумя альтернативными (взаимоисключающими) вариантами. Им было получено от семеноводческих фирм 34 сорта гороха, из которых он отобрал 22 «чистых» (не дающих расщепления по изучаемым признакам при самоопылении) сорта. На проверку чистоты сортов ушло два года. Затем он в течение 8 лет проводил искусственную гибридизацию сортов, а полученные гибриды скрещивал между собой. Он изучил наследование семи признаков, получив в общей сложности около 20 тыс. гибридов второго поколения.

Третье и, может быть, главное обстоятельство – Мендель в своё время изучал математику и теорию вероятностей. Поэтому он предвидел возможность случайных отклонений результатов, понимал необходимость большого числа наблюдений и их строгого количественного учёта.



Основы этой теории очень просты. Рассмотрим лишь два опыта. Подброшенная вверх монета имеет равные шансы упасть вверх орлом или решкой. Теория предсказывает, что в этом опыте ожидаемая вероятность выпадения каждой стороны равна 0,5 (сумма вероятностей всех исходов всегда равна 1). Кроме того, она предсказывает, что реальный результат будет обязательно отличаться от 0,5 в ту или другую сторону, но это отличие будет тем меньше, чем больше сделано бросков (наблюдений). Более того, она способна предсказать вероятность любой величины отклонений. Второй опыт: подбросим две монеты одновременно. Выпадение орла на одной монете не зависит от того, выпал ли орёл на другой, это независимые события. Согласно теории, совместная вероятность двух независимых событий равна произведению вероятностей каждого из них. Поэтому наиболее вероятно, что два орла выпадут одновременно в $0,5 \cdot 0,5 = 0,25$, т.е. в четверти опытов. Можно точно определить заранее, с какой вероятностью реальный результат будет отличаться от ожидаемого на величину, например, более 1% за 1000 попыток.

Законы Менделя формировались до и после него с участием других исследователей. Основная заслуга Менделя не в том, что он первым увидел закономерности в наследовании признаков, а в том, что сумел найти им объяснение. Он сформулировал гипотезы о принципах наследования, подтвердил их результатами скрещиваний и создал стройную теорию, ставшую основой генетики как науки.

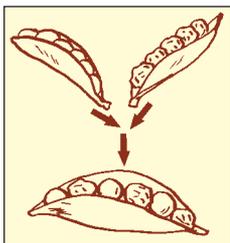
ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Развитие взглядов на механизм наследственности тормозилось неверным представлением о слитном «перетекании» признаков от родителей к потомкам, подобно раствору в жидкости. В то же время развивался гибридологический анализ. С его помощью до работ Менделя уже были известны явление доминирования, эквивалентность родительского вклада, единообразие первого поколения гибридов, расщепление признаков во втором поколении. Мендель разработал строго научный подход к анализу результатов гибридизации. Он впервые верно объяснил механизм наследования и создал стройную теорию, которая позднее подтвердилась цитологическими исследованиями и стала основой генетики как науки.

Наследственность. Изменчивость. Генетика

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Что такое наследственность и изменчивость?
2. ● Почему метод Менделя стал важным для генетики?
3. ● Какова роль генетики и цитологии в объяснении наследственности?
4. ● Почему основателем науки генетики считают Г. Менделя?
5. ● Почему для выведения породы требуется много поколений?



§ 26. Наследование отдельного признака

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Таблица 1

Результаты опытов Менделя по наследованию отдельного признака при скрещивании растений гороха

Признак	Поколение родителей P		Первое поколение гибридов F_1	Второе поколение гибридов F_2 (общее количество)		
	Вариант I	Вариант II		Вариант I	Вариант II	Соотношение
Поверхность семян	 гладкая	 морщинистая	 гладкая	 5474	 1850	0,747:0,253 7324
Окраска семян	 жёлтая	 зелёная	 жёлтая	 6022	 2001	0,751:0,249 8023
Окраска цветков	 красная	 белая	 красная	 705	 224	0,759:0,241 929
Форма плодов	 простая	 членистая	 простая	 882	 299	0,747:0,253 1181
Окраска плодов	 зелёная	 жёлтая	 зелёная	 428	 152	0,738:0,262 580
Положение цветков	 пазушное	 верхушечное	 пазушное	 651	 207	0,759:0,241 858
Длина стебля	 большая	 малая	 большая	 787	 277	0,740:0,260 1064
Итого:				14949	5010	0,749:0,251 19959

- Рассмотрите таблицу 1. Сравните признаки родителей и гибридов первого поколения. Сравните соотношение признаков во втором поколении. Какие результаты удивили Г. Менделя?
- Сформулируйте проблему, которую решал Г. Мендель, на основе результатов, помещённых в этой таблице. Сравните свою формулировку с авторской (с. 396).

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

Необходимый инструмент науки – особый язык. Он включает термины и обозначения, которым придаётся узкий, точный смысл. Это необходимо для того, чтобы научные построения и закономерности трактовались всеми однозначно, без разночтений.

- Повторите генетическую терминологию и обозначения, мысленно вставляя пропущенные слова. (9 класс)

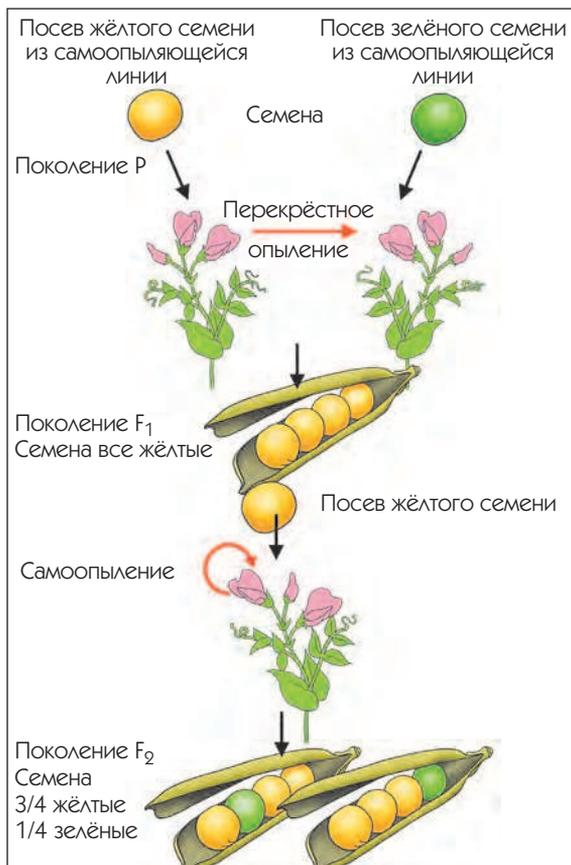
Термин	Объяснение
Ген	Элементарный носитель наследственной информации, представляющий собой определённый участок ... (10–11 класс, § 14)
Алели	Разновидности ... , определяющие альтернативные признаки и расположенные в разных, но гомологичных хромосомах, часто обозначаются буквами, например, А или а.
Гомозигота	Организм, несущий два ... алеля одного гена, например АА или аа.
Гетерозигота	Организм, несущий два ... алеля одного гена, например Аа.
Доминантный	Алель, определяющий фенотип даже в присутствии ... алеля.
Рецессивный	Алель, определяющий фенотип только в присутствии ... алеля. Способен передаваться скрытно.
	Родители – особи из ... линий.
Родители P ₁	... гибридное поколение.
Поколение F ₁	... гибридное поколение.
Поколение F ₂	Совокупность наблюдаемых ... организма.
Фенотип	Совокупность ... , лежащих в основе развития фенотипа.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Первый закон Менделя

- Запомните порядок действий и обозначения, используемые в гибридологическом анализе.

Содержание опытов Менделя состояло в следующем. Растения гороха, несущие выбранный вариант признака, сначала испытывали на *чистоту линии*, получая самоопылением несколько поколений потомков. Если все они устойчиво обладали тем же вариантом данного признака, то линия считалась чистой, свободной от отклонений. Тогда любое растение из этой линии скрещивали с растением из другой чистой линии, несущей противоположный, *альтернативный* вариант того же признака. От этих родителей (поколение P) получали первое поколение гибридных потомков (поколение F₁), от которых самоопылением



26.1. Многогибридное скрещивание

доминантным, а альтернативный ему, не проявившийся в первом поколении ни у кого из потомков, – **рецессивным**. Повторяя опыт с другими признаками, он получил тот же результат, подтверждающий правило: все гибриды первого поколения выглядят единообразно, доминантный вариант признака всегда подавляет проявление рецессивного. Это правило позднее получило название **закона доминирования**, или **закона единообразия первого поколения**, и считается первым законом Менделя.

Второй закон Менделя

- Прочитайте текст и найдите старое и новое в формулировке закона.

Среди гибридов второго поколения признак вновь «расщепился» на два родительских варианта: бо́льшая часть потомков несла доминантный вариант признака, а меньшая – альтернативный ему рецессивный вариант, не проявившийся в первом поколении. Подсчёт первых

получали второе поколение гибридов (поколение F₂). Количество потомков, несущих тот или иной вариант изучаемого признака, точно подсчитывалось. Подобную серию экспериментов Мендель повторял множество раз. На разных растениях он изучил наследование альтернативных пар вариантов семи признаков, получив от них около 20 тыс. гибридов второго поколения (табл. 1).

- Объясните порядок гибридологического анализа на примере, изображённом на рисунке 26.1.
- Прочитайте о единообразии первого поколения и сформулируйте своими словами первый закон Менделя.

При анализе результатов Мендель обнаружил, что у всех гибридов первого поколения признак выражен лишь вариантом одного из родителей. Этот вариант признака называется **доминантным**.

результатов показал, что соотношение между ними – приблизительно $3/4 : 1/4$ (т.е. 75% доминантных и 25% рецессивных, или 3:1). Чем больше потомков было получено, тем точнее их соотношение соответствовало $3/4 : 1/4$. Это численное правило оказалось верным и для других изученных признаков. Расщепление признаков во втором поколении в соотношении 3:1 вошло в историю как **закон расщепления**, или **второй закон Менделя**.

Гипотеза чистоты гамет

- Объясните, в чём суть гипотезы чистоты гамет.

Изучение отдельных признаков с альтернативным проявлением подвело Менделя к мысли, что эти признаки не сливаются, как жидкости, а передаются иначе: как частицы, по принципу «есть–нет», в чистом виде, без всякого смешения, с помощью неделимых (*дискретных*) наследственных задатков, попадающих в гаметы родителей. Таким образом, он выдвинул гипотезу о чистоте гамет.

Мендель впервые обратил внимание на количественные результаты скрещиваний. Он заметил, что вероятность проявления рецессивного варианта признака в поколении F_2 в среднем равна вероятности совпадения двух независимых случайных событий, из которых каждое случается в половине случаев: $1/4 = 1/2 \cdot 1/2$. Расщепление показало, что каждое растение F_1 способно производить потомков обоих типов: как с доминантным, так и с рецессивным выражением признака. Следовательно, каждое растение F_1 имеет наследственные задатки обоих типов: по одному задатку доминантного (A) и рецессивного (a) варианта признака, т.е. комбинацию Aa . При образовании гамет каждая из них получает лишь один задаток – A или a – с равной вероятностью $1/2$.

Таблица 2

Соотношение гамет у поколения F_1 и их комбинаций в поколении F_2

		Женские клетки (Aa)	
		Гаметы F_1 :	
Мужские клетки (Aa)	$1/2 A$ (50%)	$1/4 AA$ (25%)	$1/4 Aa$ (25%)
	$1/2 a$ (50%)	$1/4 Aa$ (25%)	$1/4 aa$ (25%)

При слиянии двух гамет они не смешиваются, но доминантный задаток подавляет проявление рецессивного. В результате потомок может получить задаток a с вероятностью $1/2$ от отца и с такой же вероятностью – от матери, а два рецессивных задатка aa от обоих – с вероятностью $1/2 \cdot 1/2 = 1/4$. Остальные $3/4$ потомков получают комбинацию Aa либо AA , поэтому у них свойство рецессивного задатка не проявля-

ется. Следовательно, комбинация у потомков пары задатков от двух родителей объясняет численное соотношение различных потомков при расщеплении 3:1.

Гипотеза чистоты гамет подсказывала, что родительские чистые линии имели комбинации из пары одинаковых задатков (только AA либо только aa). На её основе Мендель также смог предсказать результаты скрещивания потомков F_1 (Aa) с каждой родительской линией. Во всех случаях гипотеза подтвердилась.

- Обсудите, можно ли считать эту гипотезу доказанной и какова её роль в биологии.

Как же различить внешне одинаковые особи с выраженным доминантным признаком, несущие задатки Aa и AA ? Для этого достаточно скрестить их с рецессивной родительской линией aa . Если особь несёт рецессивные задатки, они проявятся у половины потомков. Эту разновидность скрещивания Мендель назвал *анализирующим* скрещиванием.

Современное описание опытов Менделя

- Проверьте своё знание языка генетики и изложите на нём один из опытов, помещённых в таблице в начале параграфа.

Тип экспериментов, позволивших Менделю сформулировать два основных правила генетики, назван **моногибридным скрещиванием**. Само слово указывает, что в этих опытах исследуются гибриды, различающиеся по одному признаку. Но нельзя забывать, что скрещивание можно считать моногибридным, только когда установлена чистота родительских линий по выбранному признаку и проведён анализ двух поколений их потомков. Наследственные задатки, ответственные за определённый признак, современная наука определяет как *гены*. Альтернативные варианты одного признака (например, A и a) теперь называются **аллельными генами**, или **аллелями**, – разновидностями данного гена. Комбинацию генов в организме (например, Aa) называют его **генотипом**, а их внешнее проявление – **фенотипом**. По сочетанию аллелей в генотипе различают организмы **гомозиготные** (например, AA) и **гетерозиготные** (например, Aa) по данному признаку.

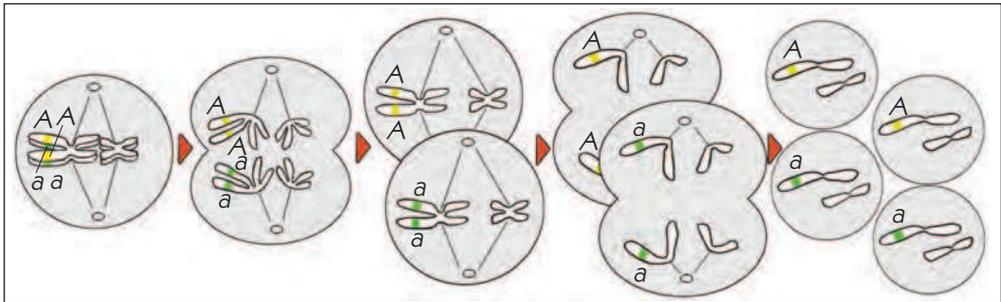
С использованием современных понятий первый закон Менделя определяет, что при моногибридном скрещивании первое поколение гибридов единообразно по фенотипу и генотипу, а именно: по фенотипу все гибриды первого поколения характеризуются доминантным признаком, по генотипу всё первое поколение гибридов гетерозиготное. Второй закон Менделя гласит: при моногибридном скрещивании во втором поколении гибридов наблюдается расщепление по фенотипу в соотношении 3:1 (т.е. около $3/4$ гибридов второго поколения имеют доминантное проявление признака, около $1/4$ – рецессивное). Предположение Менделя – гипотезу чистоты гамет – теперь называ-

ют **законом чистоты гамет**. Его можно сформулировать следующим образом: при образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один аллель из пары аллелей данного гена.

Цитологическая основа открытий Менделя

- Что происходит с аллельными генами при моногибридном скрещивании? Как знание мейоза помогает объяснить его результаты?

Цитологические исследования позволили обнаружить материальные носители наследственных задатков – хромосомы. Изучение их поведения в мейозе (рис. 26.2) доказало верность рассуждений Менделя.



26.2. Расхождение аллельных генов по гаметам во время мейоза

В обычной диплоидной клетке каждая хромосома имеет гомологичную пару. Следовательно, каждый признак представлен в клетке двумя аллельными генами, занимающими одинаковое положение в гомологичных хромосомах. При образовании половых клеток, во время *первого* мейотического деления, гомологичные хромосомы расходятся в разные клетки, а затем попадают в разные гаметы, так что каждая гамета несёт только один аллельный ген из пары (поэтому она «чиста» от примеси альтернативных задатков). У гомозиготного организма все гаметы одинаковы в отношении данного признака, а у гетерозиготного – различны. У гетерозигот образуется два и только два сорта гамет в строго равном количестве. В моногибридном скрещивании зигота поколения F_2 получает рецессивный аллель с вероятностью $1/2$ от каждого из родителей. Следовательно, вероятность получения этой зиготой рецессивного аллеля от обоих родителей равна $1/4$ ($1/2 \cdot 1/2$). Поэтому число потомков с рецессивным фенотипом также составит $1/4$ от общего их числа плюс случайные отклонения. В силу статистических законов доля отклонений уменьшается с ростом числа наблюдений. Соответственно, соотношение доминантных и рецессивных фенотипов стремится к 3:1.

К настоящему времени обнаружено много новых генетических и цитологических закономерностей, действие которых при определённых условиях накладывается на действие законов Менделя и изменяет

результат расщепления признаков. Однако одновременное действие различных законов обычно для биологических процессов и не отменяет справедливость каждого из них.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

При скрещивании чистых линий организмов действуют следующие закономерности. **Первый закон Менделя**, или **закон единообразия гибридов первого поколения**: при скрещивании двух гомозиготных организмов, отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных признаков, всё первое поколение гибридов (F1) окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей. **Второй закон Менделя**, или **закон расщепления**: при скрещивании двух гетерозиготных потомков первого поколения между собой во втором поколении наблюдается расщепление в определённом числовом отношении: по фенотипу 3:1, по генотипу 1:2:1. Основываясь на количественном соотношении потомков, Мендель обосновал **закон чистоты гамет**, согласно которому наследственные задатки различных признаков в организме не смешиваются и передаются потомкам в неизменном виде. При этом каждый признак определяется парой задатков, унаследованных по одному от отца и матери как случайная комбинация их гамет.

Моногибридное скрещивание. Аллельные гены. Гомозиготность и гетерозиготность. Фенотип и генотип

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Попробуйте описать моногибридное скрещивание на другом примере, изученном Г. Менделем (необходимые сведения возьмите из таблицы 1 на с. 152).
- Что можно проверить с помощью анализирующего скрещивания?
- Законы Менделя носят статистический характер. Мейоз же предопределён и в последовательности стадий, и в своём результате. Какие события в процессе скрещивания придают расщеплению случайный характер?
- Чем будет отличаться скрещивание диких особей из природы от моногибридного? Какие из изученных закономерностей будут проявляться всегда?
- У человека карий цвет глаз доминирует над голубым. Каков генотип женщины с карими глазами, если в её браке с голубоглазым мужем у одного ребёнка глаза карие, у другого – голубые? Выберите ответ: гомозиготный / гетерозиготный / скорее всего, гетерозиготный.
- У норки коричневая окраска меха доминирует над голубой. Как определить, является ли коричневая самка гомо- или гетерозиготной?

• МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Моделирование комбинаций признаков с помощью бросаний монет

Возьмите две монеты. Кидайте их и записывайте результаты в таблицу. Сравните ваши результаты с теоретически ожидаемыми при 5 бросках и 20 бросках. Запишите данные в таблицу. Сделайте вывод о роли количества измерений в приближении результатов к теоретически ожидаемым.

Орёл и орёл		Орёл и решка		Решка и решка	
Теор.	Практ.	Теор.	Практ.	Теор.	Практ.
1/4		2/4		1/4	

§ 27. Сочетание родительских признаков

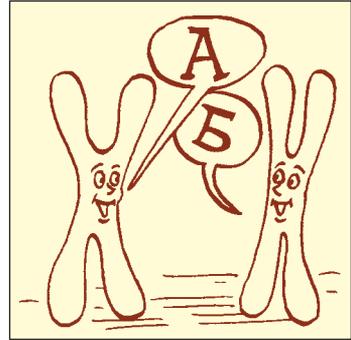
ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

В предыдущем параграфе рассмотрено комбинирование одной пары альтернативных признаков. Совершенно очевидно, что организмы различаются по многим признакам.

- Как вы считаете, какую следующую задачу должен был поставить Мендель? Сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что обозначают термины: ген, аллель, доминантный и рецессивный аллели, гомозигота, гетерозигота, генотип, фенотип, гомологичные хромосомы? (§ 26)



РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Язык обозначения генов

- Разберитесь в принципах буквенных обозначений генов. Это поможет избежать ошибок при решении генетических задач.

Чтобы не путать аллельные и неаллельные гены, в языке генетики принята система буквенных обозначений. Гены, ответственные за различные признаки, соответствуют разным участкам ДНК и обозначаются разными буквами: *A*, *B*, *C* и т.д., а при необходимости – сокращёнными словами. По отношению друг к другу гены *A*, *B* и *C* – это неаллельные гены. Каждый из них в хромосоме представлен одним из нескольких взаимозаменяемых вариантов – аллельных генов, или аллелей. Они кодируют альтернативные варианты одного и того же признака и поэтому обозначаются одной и той же буквой: *A*, *a*, *a1*, *a2* и т.д. Все аллели одного гена соответствуют одному и тому же участку ДНК в определённой хромосоме. Поэтому одна хромосома всегда имеет только один из аллельных генов, а диплоидный набор – два аллеля (одинаковых или различных). Доминантный аллель принято обозначать заглавной буквой, а рецессивный – строчной.

Дигибридное скрещивание

- Изучите новый тип гибридологического анализа и его условия.

Два сорта гороха, различные по окраске семян, – те самые, на примере которых Г. Мендель исследовал моногибридное скрещивание, – были чистыми и по другим признакам. Изучая наследование цвета семян, он не мог не заметить, что другой признак – морщинистость семян – встречается у потомков в различных комбинациях с цветом. Мендель

поставил новую задачу: изучить закономерности сочетания вариантов двух признаков, т.е. порядок наследования неаллельных генов, каждый из которых представлен парой аллелей.

- Какие варианты этих признаков доминируют? Вспомните порядок наследования каждого признака по отдельности. (§ 24)

Для скрещивания были взяты две чистые линии (P): одна с доминантными вариантами обоих признаков (AABB), другая – с рецессивными (aabb). Такой тип эксперимента называется **дигибридным скрещиванием**, поскольку в нём контролируют наследование двух признаков. Остальные условия – проверка чистоты линий, сравнение трёх поколений (P, F₁, F₂) – так же необходимы, как и для моногибридного скрещивания.

Закон независимого наследования признаков

- Убедитесь, что варианты двух признаков образуют случайные сочетания.

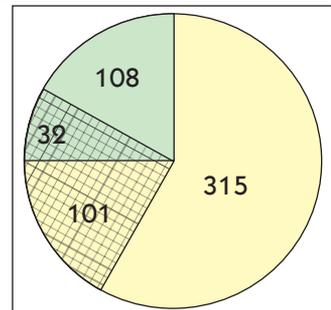
Расщепление вариантов каждого признака во втором гибридном поколении (F₂) по отдельности должно дать родительские фенотипы в соотношении 3/4 : 1/4 – точно так же, как в моногибридных опытах. Но по какому принципу варианты цвета и формы горошин сочетаются друг с другом? Если два признака наследуются независимо, то они должны сочетаться случайным образом. Предсказать любое такое сочетание – простая математическая задача (см. табл.): его вероятность равна произведению вероятностей каждого события по отдельности (плюс случайное отклонение).

Таблица 1

Расчёт соотношения вариантов двух признаков в поколении F₂ (выделено серым фоном) при независимом наследовании

		Расщепление по форме семян	
		3/4 гладкие	1/4 морщинистые
Расщепление по окраске семян	3/4 жёлтые	9/16 жёлтые гладкие	3/16 жёлтые морщинистые
	1/4 зелёные	3/16 зелёные гладкие	1/16 зелёные морщинистые

Проделав соответствующие опыты много раз, Мендель получил соотношение фенотипов, очень близкое к расчётному (рис. 27.1). Тем самым он подтвердил гипотезу о *независимом наследовании признаков*, которая теперь носит название **третьего закона Менделя**.

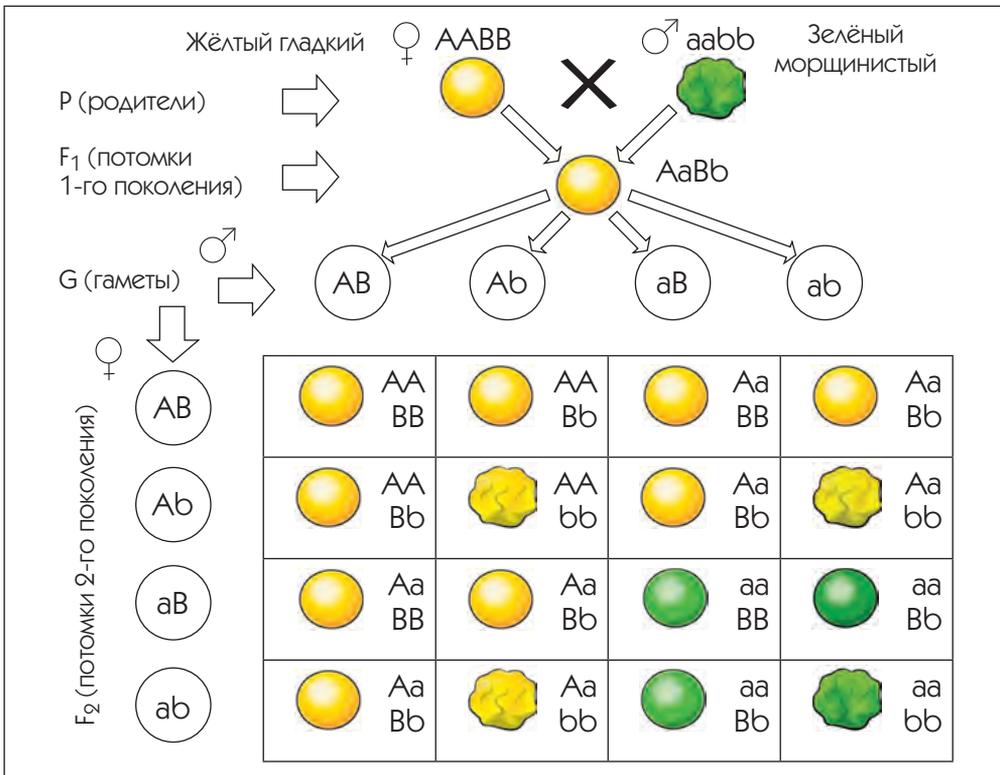


27.1. Фенотипы, полученные в опыте

Соотношение выраженных признаков

- Объясните, почему схема дигибридного скрещивания в F_2 имеет 16 ячеек.

Организм получает родительские признаки в виде двух гамет. Следовательно, гены, определяющие варианты окраски и формы семян, образуют свободные сочетания ещё в гаметах каждого из родителей. Гибриды первого поколения имеют единообразный генотип $AaBb$. В мейозе он расщепляется на четыре типа гамет: AB , Ab , aB и ab . При независимом попадании генов каждого признака в гамету эти сочетания образуются с равной вероятностью – по $1/4$ каждого типа, как в мужских, так и в женских частях растений. Как мы убедились ранее, при оплодотворении гаметы встречаются друг с другом с равной вероятностью, независимо от их генотипа. Поэтому у гибридов второго поколения образуется 16 равновероятных сочетаний (рис. 27.2).



27.2. Расщепление признаков при образовании гамет и их объединение при оплодотворении

- Определите по рисунку расщепление каждого признака в отдельности. Что у вас получилось? Почему некоторые генотипы имеют одинаковое выражение в фенотипе?

Если известна доля каждого генотипа, то можно оценить и соотношение фенотипов, ожидаемое при независимом комбинировании признаков. Гетерозиготные генотипы внешне неотличимы от доминантных гомозигот. Сложив их доли, получим соотношение фенотипов:

$$9/16 (AABB + AaBB + AABb + AaBb) : 3/16 (AAbb + Aabb) : \\ 3/16 (aaBB + aaBb) : 1/16 (aabb).$$

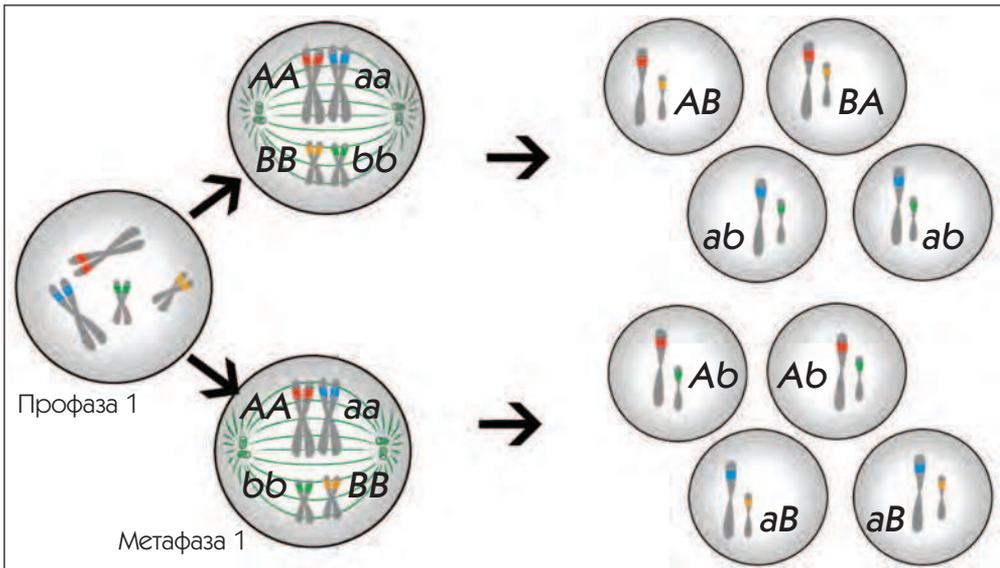
Заменим многоточием аллельные гены, не влияющие на фенотип, и получим:

$$9/16 A..B.. : 3/16 A..bb : 3/16 aaB.. : 1/16 aabb \\ \text{или} \\ 9 A...B... : 3 A...bb : 3 aaB... : 1 aabb.$$

Цитологическая основа третьего закона Менделя

- Определите, при каком условии гипотеза независимого комбинирования признаков становится законом.

Цитологической основой третьего закона Менделя служит мейотическое деление, в котором разные пары гомологичных хромосом расходятся по гаметам независимо друг от друга. Допустим, у организма с генотипом $AaBb$ гены признаков A и B находятся в разных хромосомах (рис. 27.3). Как аллели A, a, B, b могут сочетаться в гаметах? Очевидно, что если гамета получила хромосому с аллелем a , то вероятность, что она получит также хромосому с аллелем B или b , одинакова и равна $1/2$.



27.3. Цитологические основы дигибридного скрещивания

При первом делении мейоза судьба каждой половой клетки с равной вероятностью может пойти по тому или другому пути.

Другое дело – если гены признаков *A* и *B* находятся в одной хромосоме. Тогда они, скорее всего, будут наследоваться не независимо, а совместно (сцепленно, см. ниже). Мендель не рассматривал такие случаи, но позднее выяснилось, что они достаточно обычны. Учитывая это, в современном виде третий закон Менделя формулируют так: признаки, гены которых находятся в *разных парах* гомологичных хромосом, комбинируются в потомстве независимо друг от друга.

Основы генетики, заложенные Менделем

- Рассмотрите каждое положение Менделя: в чём его новизна по сравнению с выводами предшественников?

Мендель подытожил свои наблюдения в трёх правилах наследования, которые имели силу закона в отношении изученных им признаков гороха. Сейчас известно, что наследование множества, если не большинства признаков, происходит сложнее. Этих правил недостаточно, чтобы надёжно предсказывать результаты любого скрещивания. И не удивительно: Мендель сознательно ограничил свои исследования изучением простых случаев, благодаря чему смог проникнуть в их суть. Главная заслуга Менделя в том, что из своих опытов он вывел несколько общих положений, заложивших основы генетики как науки. На современном языке они звучат так:

1. Наследственные признаки определяются *дискретными* единицами – генами, которые передаются от родителей к потомкам в процессе размножения.
2. Каждый такой признак у диплоидного организма определяется *парой* генов.
3. Гены, определяющие один признак, могут находиться в отношении *доминирования*: в гетерозиготном организме один из них (доминантный) маскирует проявление другого (рецессивного).
4. При образовании гамет происходит *расщепление* аллельных пар генов: они расходятся в разные гаметы.
5. При оплодотворении каждый потомок *восстанавливает* парность аллельных генов, получая по одному из них в гамете каждого из родителей.
6. Гены в организме *не смешиваются*, а сохраняются обособленными, хотя могут не проявляться, существовать в замаскированном виде и вновь проявляться в следующих поколениях.
7. Гены одной пары передаются *независимо* от генов других пар, если они находятся в разных хромосомах.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Третий закон Менделя, или закон независимого наследования, гласит: при скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум (и более) парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях (как и при моногибридном скрещивании). Причина этого явления – в том, что разные пары гомологичных хромосом расходятся по гаметам независимо друг от друга, а гаметы при оплодотворении сливаются в случайном сочетании. Заслуга Менделя состоит в том, что он не только выявил, но и объяснил закономерности наследования с помощью гипотез, которые впоследствии подтвердились цитологическими исследованиями.

Дигибридное скрещивание

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Попробуйте описать дигибридное скрещивание на другом примере, изученном Г. Менделем (белые и красные цветки, зелёные и жёлтые горошины).
2.  • Поработайте в паре: один произносит генетический термин, а другой объясняет, что он обозначает. Потом поменяйтесь ролями.
3. • Сколько типов гамет образуется у особи с генотипом $AaBb$, если известно, что гены A и B расположены в разных хромосомах?
4. • У человека тёмный цвет глаз (A) доминантен по отношению к голубому (a), наличие веснушек (C) доминирует над их отсутствием (c). Гены находятся в разных хромосомах. Женщина с голубыми глазами и без веснушек выходит замуж за мужчину с карими глазами и веснушками. Может ли у неё родиться ребёнок, похожий на неё? Каков в этом случае должен быть генотип мужа?
5. • (Сложное). Красная окраска и круглая форма плодов томата – доминантные признаки, а жёлтая окраска и грушевидная форма – рецессивные признаки. Подберите родителей (фенотипы и генотипы), чтобы в потомстве появились поровну все возможные варианты сочетаний (красный и круглый, красный и грушевидный, жёлтый и круглый, жёлтый и грушевидный).

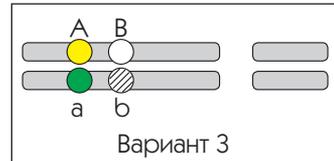
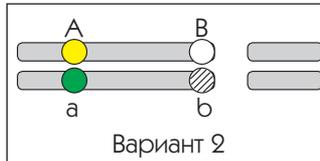
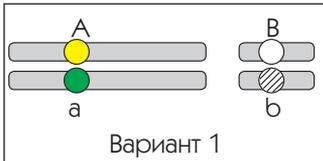
§ 28. Сцепленное наследование

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Количество генов в наследственном коде организма исчисляется десятками тысяч, а число хромосом – десятками. Из этого нетрудно сделать вывод, что в одной хромосоме счёт генов обычно идёт на тысячи. При проведении дигибридного скрещивания мы можем столкнуться с различными вариантами расположения тестируемых генов в хромосомах.



- Сравните три варианта расположения генов. В каком случае дигибридное скрещивание не приведёт к расщеплению по законам Менделя? Попробуйте предсказать результаты.



- Определите тему урока и сравните с вариантом авторов на с. 396.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Чем отличается расщепление признаков при моно- и дигибридном скрещивании? (§ 26–27)
- Что такое мейоз, из каких фаз и стадий он состоит? (§ 16)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Сцепленное наследование признаков

- Как отличить сцепленное наследование от независимого?

После открытия хромосом и мейоза учёные вспомнили о работах Менделя потому, что полученные им выводы превосходно подходили под поведение хромосом в процессе образования гамет. Они решили, что хромосомы – это и есть те самые наследственные задатки признаков, о поведении которых говорят все выводы Менделя. Многие лаборатории в разных странах мира взялись проверять, действительно ли это так, на других группах организмов.

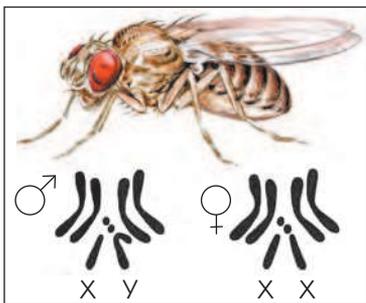
Закон независимого комбинирования двух признаков предсказывает, что если один из родителей производит только гаметы AB , а другой – ab , то первое поколение производит четыре типа гамет – AB , Ab , aB , и ab – с равной частотой. Именно поэтому комбинации родительских признаков дают расщепление фенотипов $9:3:3:1$. Но новые исследователи

обнаружили такие пары признаков, которые не подчиняются этому закону. Пропорция расщепления получалась иной, она говорила о том, что два родительских типа гамет – AB и ab – образуются намного чаще, чем перекрёстные сочетания Ab и aB . И таких случаев оказалось немало. Проявление у потомков родительского сочетания признаков чаще, чем ожидается, названо *сцепленным наследованием*.

Группы сцепления генов

- Почему признаки наследуются группами?

Чтобы понять причины сцепленного наследования, учёным надо было провести тысячи дигибридных скрещиваний по разным парам признаков



28.1. Дрозофила и набор её хромосом

и подсчитать, какие пары наследуются независимо, а какие – сцеплённо. Наибольших успехов добилась группа американских генетиков под руководством Томаса Моргана (1866–1945). Они избрали объектом своих опытов дрозофилу – плодовую мушку с небольшим числом хромосом и высокой плодовитостью. Её можно разводить в пробирке, поместив туда немного питательной смеси. Развитие мух проходит за 10 дней, так что дигибридное скрещивание даёт результаты уже через три недели.

Исследовав пары всех известных признаков дрозофилы, учёные обнаружили, что не только пары, но и целые группы признаков наследуются совместно, причём таких групп сцепления четыре – ровно столько, сколько различных хромосом содержит гамета дрозофилы. Следовательно, каждая хромосома несёт множество более мелких единиц наследственности – генов, соответствующих отдельным признакам. Хромосомы наследуются независимо, а гены, расположенные в одной хромосоме, образуют общую группу сцепления и наследуются совместно.

Так было установлено, что *число групп сцепления равно числу пар хромосом* в клетках данного организма, т.е. гаплоидному числу хромосом. Это явление вошло в науку под названием **закона Моргана**, а сам учёный был удостоен Нобелевской премии. Открытие было подтверждено и на многих других организмах. Оно легло в основу *хромосомной теории наследственности*.

Перекрёстное наследование сцепленных генов

- Как происходит расщепление сцепленных генов в потомстве?

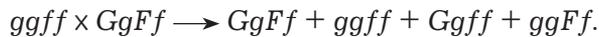
Пары признаков, входящих в одну группу сцепления, чаще переходят в одну гамету вместе, чем порознь. Всё же и они образуют гаметы

не только родительского, но и перекрёстного типа – хотя и реже, чем при независимом комбинировании. Благодаря огромному числу проведённых скрещиваний удалось точно подсчитать, какую долю составляют перекрёстные гаметы для каждой пары признаков.

Рассмотрим совместное наследование двух признаков дрозофилы (см. ниже): окраски тела (G – серое, g – чёрное) и формы крыла (F – нормальное, f – укороченное). Скрестим чистые линии, доминантную и рецессивную, по обоим признакам:

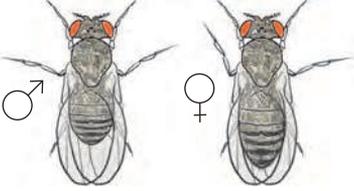


Затем проведём анализирующее скрещивание:



Все генотипы хорошо различимы по фенотипу, и потомков каждой группы легко подсчитать, а соотношение выразить в процентах и сравнить результат с ожиданием.

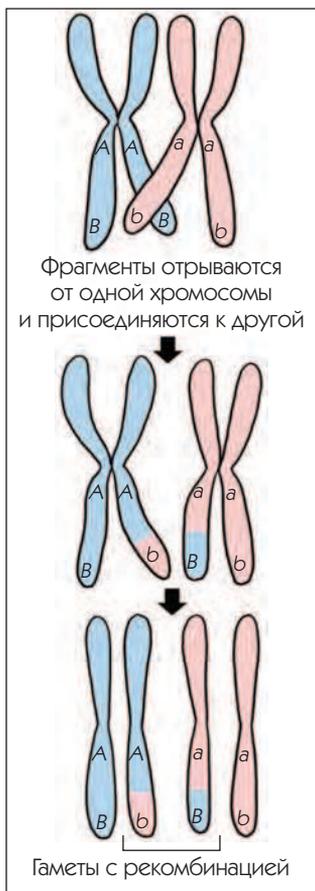
Соотношение потомков от анализирующего скрещивания

		Гаметы потомка F_1			
		GF	gF	Gf	gf
					
Гаметы рецессивного родителя gf		$Ggff$	$ggff$	$Ggff$	$ggff$
Соотношение генотипов	при независимом наследовании	25%	25%	25%	25%
	при жёстком сцеплении	50%	50%	0%	0%
	фактический результат	41,5%	41,5%	8,5%	8,5%

- Определите, какие фенотипы получены в результате анализирующего скрещивания при трёх приведённых предположениях.

При независимом комбинировании мы ожидаем равное соотношение гамет всех четырёх типов (по 25%). При сцепленном наследовании, казалось бы, должны образоваться только гаметы родительского типа, в которых варианты признаков связаны: G с F , а g – с f . Фактический результат показывает, что перекрёстные сочетания – Gf и gF – тоже образуются, но их втрое меньше (по 8,5%), чем если бы комбинации образовывались случайно (по 25%).

Вывод: гены G и F принадлежат к одной группе сцепления, так как чаще наследуются совместно. У гетерозиготной особи из каждой сотни гамет 17 содержат перекрёстное сочетание аллелей.



Кроссинговер

- Что такое кроссинговер и в какой момент он происходит?

Характерная особенность мейоза – конъюгация хромосом перед первым делением.

Вспомним, как это происходит. После репликации (удвоения хроматид) гомологичные хромосомы, унаследованные от разных родителей, находят друг друга и тесно переплетаются, образуя тетрады. Затем тетрады выстраиваются в экваториальной плоскости ядра и растягиваются нитями веретена. При этом каждая тетрада снова разделяется на родительские хромосомы, которые расходятся к противоположным полюсам. Т. Морган высказал предположение, что во время конъюгации хромосомы иногда могут обмениваться гомологичными участками, как это показано на схеме (рис. 28.2). Явление перекрёстного обмена участками хромосом назвали **кроссинговером**. К 70-летию Т. Моргана в 1936 г. были получены экспериментальные доказательства существования кроссинговера. Это стало ещё одним важным положением хромосомной теории наследственности.

Обмен участками хромосом – важный механизм увеличения комбинативной изменчивости.

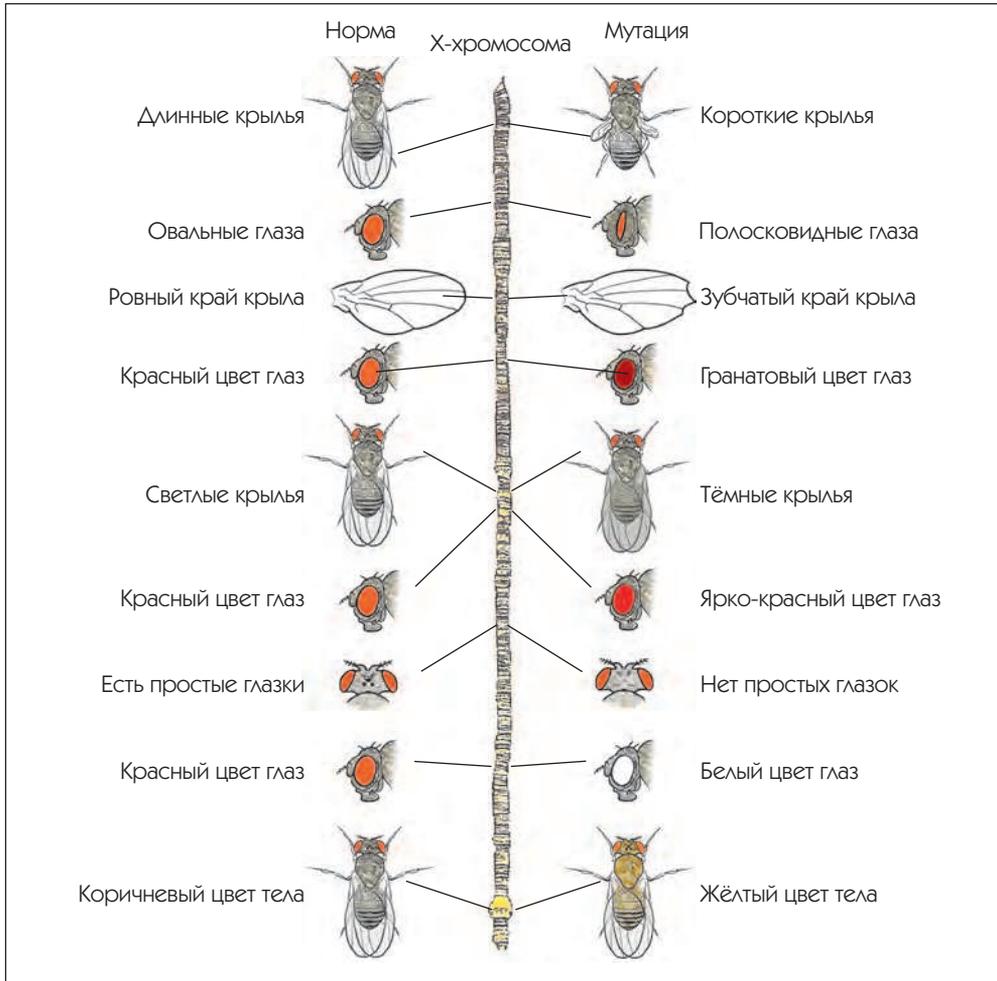
28.2. Обмен участками гомологичных хромосом в мейозе

Генетические карты

- Как доля рекомбинантных (перекрёстных) гамет помогает найти место гена в хромосоме?
- В каком случае кроссинговер между сцеплёнными генами более вероятен: если они расположены у одного конца хромосомы или на разных концах?
- Представьте, что хромосома – не линейная структура, а квадратная площадка, усеянная генами. Как можно отвергнуть эту гипотезу по результатам скрещиваний?

Многочисленные скрещивания показали: кроссинговер между разными генами происходит с разной частотой. Более того, было показано, что если, к примеру, между генами *A* и *B* частота перекрёста 15%, а между генами *B* и *C* – 5%, то перекрёст между генами *A* и *C* происходит либо в 20% случаев (если ген *C* расположен с краю), либо в 10% (если ген *C* находится между *A* и *B*).

Так генетики доказали, что гены расположены в хромосоме линейно, определили относительное расстояние между генами и открыли возможность построения **генетических карт** (рис. 28.3). Окрашивание дефектных хромосом позволило установить связь между внешним видом (формой, размерами) хромосом и группами сцепления. К настоящему времени построены подробные генетические карты дрозофилы, человека, пшеницы и многих других видов организмов.



28.3. Участок генетической карты дрозофилы

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Хромосомная теория, созданная трудами Т. Моргана и его сотрудников, гласит:

- 1) число групп сцепления признаков соответствует числу пар гомологичных хромосом;
- 2) гены, расположенные в одной хромосоме, образуют группу сцепления;
- 3) гены в хромосоме расположены в линейном порядке;
- 4) в результате кроссинговера гомологичные хромосомы могут обмениваться гомологичными участками;
- 5) частоты кроссинговера позволяют построить генетические карты хромосом.

Хромосомная теория наследственности. Сцепленное наследование. Группы сцепления. Закон Моргана. Кроссинговер. Генетические карты

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • В чём состоит явление сцепленного наследования? По каким признакам его можно отличить?
2. • Какие причины заставили исследователей предположить, что наследственные задатки находятся в хромосомах?
3. • Два гена, *A* и *B*, расположены в одной хромосоме. У одного из родителей имелись только доминантные, у другого – только рецессивные. Могут ли среди их потомков быть особи с проявлением доминантного признака по одному гену (*A*) и рецессивного – по другому (*b*)? В каком поколении это может произойти и с каким явлением связано?
4. • На какой фазе и стадии мейоза происходит конъюгация хромосом и возможен кроссинговер?

§ 29. Генетика пола

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Оптимист: Вот было бы здорово, если бы можно было заказать пол своего будущего ребёнка!

Пессимист: Вот возникнет мода на мальчиков – так они себе потом невест не найдут...

- Почему в природе таких проблем не возникает? Предложите основной вопрос урока и сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

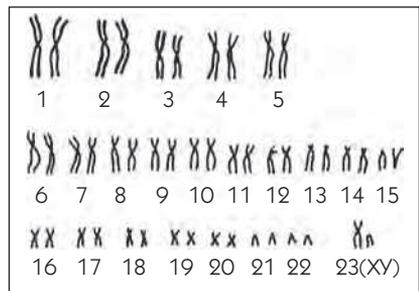
- Что такое хромосомы? Какие вещества входят в их состав? (§ 8–9, 15)
- Что означает эквивалентность наследования по мужской и женской линии? (§ 25)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Хромосомное определение пола у человека

- Объясните, какой механизм обеспечивает равное соотношение полов в каждом поколении.

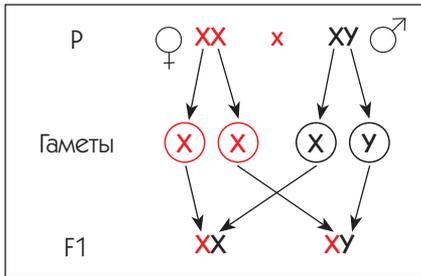
подавляющее большинство организмов диплоидны: они имеют двойной набор хромосом. У каждой хромосомы есть гомологичная пара. Этот факт в сочетании с редукцией числа хромосом в мейозе оказался очень важным для понимания смысла законов Менделя. Гомологичные хромосомы не только обладают внешним сходством, но и способны «узнавать» друг друга при образовании бивалентов в начале мейоза. У большинства раздельнополых организмов, однако, парность хромосом нарушается у одного из полов: одна парная хромосома заменена на непарную, обычно укороченную, иной формы (рис. 29.1). Из этого наблюдения учёные сделали вывод, что непарные хромосомы определяют пол организма, и их назвали **половыми хромосомами**. Остальные, в отличие от них, называются **аутосомами**.



29.1. Набор хромосом мужчины

Пол, у которого все хромосомы парные, включая половые, называют **гомогаметным**, а пол с непарными половыми хромосомами – **гетерогаметным**.

- Определите по рисунку 29.2 гомо- и гетерогаметный пол человека.



29.2. Наследование половых хромосом на примере человека

пола – это приспособление, с помощью которого достигается равное соотношение полов (рис. 29.2).

Открытие половых хромосом было первым случаем в истории генетики, когда видимые признаки организма удалось напрямую связать со свойствами их генотипа, с морфологически различающейся парой половых хромосом. Впоследствии оказалось, что в половых хромосомах находятся многие признаки пола, и не только они. В то же время гены, расположенные в неполовых хромосомах (аутосомах), также влияют на формирование половых признаков.



В Y-хромосоме человека содержится ген, под контролем которого на 6-й неделе развития вырабатывается белок, под воздействием которого у эмбриона начинается формирование мужской половой системы. В течение этого процесса выделяются гормоны, которые запускают работу генов в различных – не только половых – хромосомах. Они развивают и поддерживают мужские признаки в течение жизни. Если в наборе нет Y-хромосомы, то соответствующий белок не вырабатывается. С 6-й недели те же клетки эмбриона автоматически начинают формировать женскую половую систему. Позднее к управлению процессом подключаются другие гены.

Наследование, сцепленное с полом

- С помощью текста и рис. 29.3 объясните специфику наследования признаков, сцепленных с полом.

Если гены, отвечающие за развитие определённого признака, расположены в аутосомах, то наследование происходит независимо от того, кто из родителей (мать или отец) является носителем изучаемого признака. Эти закономерности полностью соответствуют явлению эквивалентности наследования по мужской и женской линии, которое обосновал И.Г. Кёльрейтер.

В половых хромосомах также содержатся гены. Но если в X-хромосоме расположено более тысячи генов, то в Y-хромосоме – лишь несколько десятков. В женских клетках по две X-хромосомы, и за каж-

Простейшее скрещивание, которое приводит к расщеплению признака в отношении 1 : 1, – это анализирующее скрещивание между гомозиготой и гетерозиготой. У человека и большинства животных один пол гетерозиготен по целой паре хромосом. Половые хромосомы мужчины различны, их обозначают XY. Женский набор содержит две одинаковые хромосомы XX. Наличие гомо- и гетерогаметного

дый признак отвечают два аллельных гена. А в клетках мужчины всего одна X-хромосома, и большинство расположенных в ней генов не имеет аллельной пары. Поэтому они проявляются в фенотипе вне зависимости от того, доминантные они или рецессивные. Эти гены называют *сцепленными с полом*. Наследование кодируемых ими признаков отличается от наследования признаков, кодируемых генами, расположенными в аутосомах.

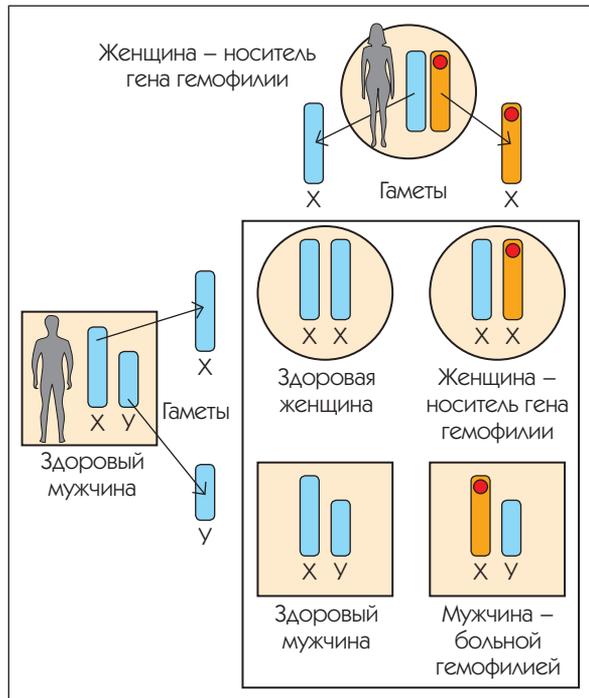
Если какой-нибудь рецессивный признак встречается у гетерогаметного пола чаще, то это свидетельствует о том, что он сцеплен с полом. Генетические аномалии (мутации) обычно рецессивны. Если такая мутация сцеплена с полом, то у мужчин она проявляется всегда, а у женщин – только в гомозиготном состоянии.



Мутации довольно редки. Если мутантный аллель встречается, предположим, 1 на 1000 нормальных, то вероятность его проявления у мужчин $1/1000$, а женщина с такой же вероятностью может быть носителем мутации в гетерозиготном состоянии. Вероятность получить два одинаковых аллеля равна $1/1000 \cdot 1/1000 = 1/1\ 000\ 000$, а скорее всего, ещё меньше, если этот аллель проявляется как тяжёлый недуг.

К числу таких наследственных аномалий относится очень тяжёлое заболевание *гемофилия*, при котором кровь теряет способность свёртываться. У гемофиликов даже небольшая царапина может вызвать длительное кровотечение и без медицинской помощи приводит к смерти. Рецессивный ген гемофилии проявляется только у мужчин, а женщины – носительницы одного рецессивного гена чувствуют себя здоровыми. Но что ожидает их детей?

- По схеме (рис. 29.3) определите соотношение больных и здоровых детей каждого пола.



29.3. Схема наследования гемофилии

Аналогично гемофилии наследуется целый ряд признаков, например дальтонизм у человека.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

У большинства организмов половые различия связаны с особенностями строения половых хромосом. Наличие половых хромосом надёжно обеспечивает равное соотношение полов при рождении. Наследование признаков, гены которых расположены в половых хромосомах, называется наследованием, сцепленным с полом.

Половые хромосомы, аутосомы. Гомогаметный и гетерогаметный пол

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● В чём сходство механизма определения пола с анализирующим скрещиванием?
2. ● Какие причины заставили исследователей предположить существование отклонений от законов Менделя при наследовании признаков, сцепленных с полом?
3. ● Мужчины часто предъявляют претензии женщинам, что они родили дочку вместо сына или наоборот. С учётом изученного механизма объясните, от чьих гамет зависит пол будущего ребёнка.
4. ● Вы – сотрудник медико-генетической консультации. К вам пришла пара, которая хочет завести ребёнка. У жены отец был дальтоником, а у мужа среди родственников такого заболевания не было. Каковы шансы рождения сына-дальтоника?
5. ● Известны ли вам генетические механизмы определения пола иные, чем у человека?
6. ● На ваш взгляд, как должен поступить учёный, который открывает способ управления полом?

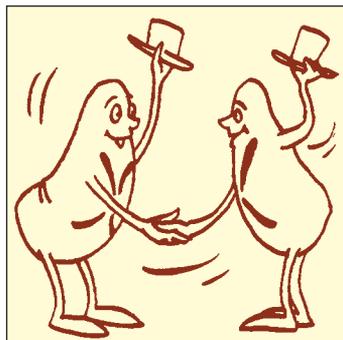
§ 30. Взаимодействие генов

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Организм – единое целое, в основе этой целостности лежит взаимная согласованность строения и функций его частей: клеток, тканей и органов.

Факт 2. В хромосомах находятся гены, каждый из которых влияет на определённый признак организма. При скрещиваниях происходит *случайное комбинирование* независимых наследственных задатков. Они определяют *случайный* набор функций будущего организма.

- В чём противоречие? Какая проблема возникает из этих двух фактов? Предложите свой вариант и сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое доминирование? (§ 26)
- Что означает независимое наследование аллеля и гена? (§ 26–27)
- Как реализуется наследственная информация в организме? (§ 15)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Взаимодействие аллельных генов

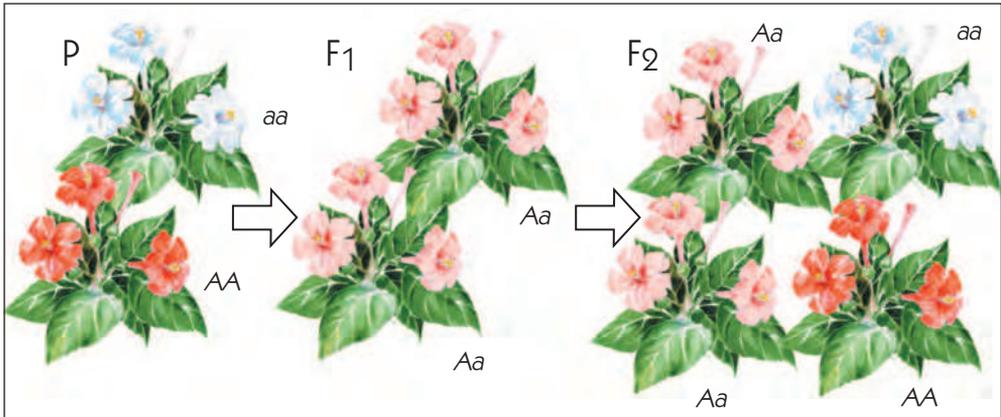
- Как два аллеля могут определять три варианта признака?

На страницах учебника мы уже неоднократно рассматривали такое взаимодействие аллельных генов, при котором в гетерозиготе один из генов проявляет *полное доминирование* над другим. Примером полного доминирования служит жёлтый цвет семян гороха по отношению к зелёному, серая окраска дикого типа у дрозофилы по сравнению с чёрной, нормальное развитие крыльев по отношению к укороченной длине.

Другой тип взаимодействия аллельных генов – **неполное доминирование** (рис. 30.1). При этом фенотип гетерозиготы имеет промежуточный характер, в нём проявляются свойства, обусловленные обоими аллелями.



Механизм таких взаимодействий обычно довольно прост. Доминантный аллель кодирует синтез определённого белка – строительного материала или фермента, а рецессивный не кодирует ничего. Одного работающего гена часто достаточно, чтобы обеспечить нормальную функцию. Но иногда количество белка тоже важно. Например, в белых цветках рецессивные аллели не вырабатывают никакого пигмента. У гетерозиготного растения один ген вырабатывает красный пигмент – его цветки розовые. Если же работают два доминантных гена, то цветки получаются ярко-красными.



30.1. Неполное доминирование у ночной красавицы

- Проявление каких генотипов различается в случаях с полным и неполным доминированием? Как это влияет на расщепление?

Множественные аллели

- Как наследуются признаки одного гена с тремя и более аллелями?

До сих пор мы рассматривали две альтернативные формы существования каждого гена. В природных популяциях каждый ген представлен множеством аллелей, но более часто встречается лишь один из них («норма», или «дикий тип»). Другие представляют собой менее удачные мутации этого аллеля или даже вредные мутации, снижающие жизнеспособность. Но бывает, что несколько мутаций встречаются с примерно равной частотой и взаимодействуют друг с другом. Такое взаимодействие называют **множественным аллелизмом**. При этом у каждой диплоидной особи может быть, конечно же, не более двух различных аллелей одного гена.

Множественный аллелизм характерен для наследования групп крови у млекопитающих. Например, у человека группы крови определяются тремя аллелями одного и того же гена – A , B и 0 (ноль). Доминантные аллели A и B вырабатывают ферменты, присоединяющие к поверхности эритроцита определённый сахар, а рецессивный аллель 0 не вырабатывает никакого фермента. Таким образом, люди с различными группами крови будут иметь следующие наборы генов: I группа – 00 , II группа – AA или $A0$, III группа – BB или $B0$, IV группа – AB . Два доминантных аллеля не подавляют друг друга, а совместным действием определяют новый признак – группу крови, добавление которой к другим ведёт к свёртыванию.

Взаимодействие неаллельных генов

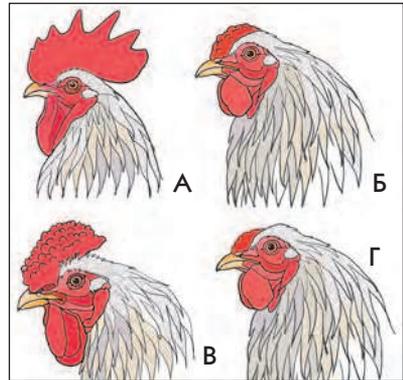
- Прочтите текст, рассмотрите схемы и объясните, в чём эти случаи схожи, а чем отличаются от рассмотренных примеров моно- и дигибридного скрещивания.

Комплементарностью, или комплементарным взаимодействием генов, называют совместное влияние неаллельных генов на фенотипическое проявление признака. При этом в доминантной форме каждый ген в отдельности (Ab или aB) и их совместное действие (AB) приводят к разным фенотипическим проявлениям признака.

Комплементарное взаимодействие наблюдается при наследовании формы гребня у кур (рис. 30.2). Розовидный гребень определяется доминантным аллелем A ($A.bb$). Гороховидный гребень определяется доминантным аллелем B (aaB). Ореховидный гребень определяет присутствие в генотипе двух доминантных аллелей разных генов ($A.B$).

Скрещивание выглядит так:

Р: $AAbb$	x	$aaBB$
Розовидный		Гороховидный
гребень		гребень
F ₁ : $AaBb$		
Ореховидный гребень		



30.2. Формы гребня у кур:
 А – простой; Б – гороховидный;
 В – розовидный; Г – ореховидный

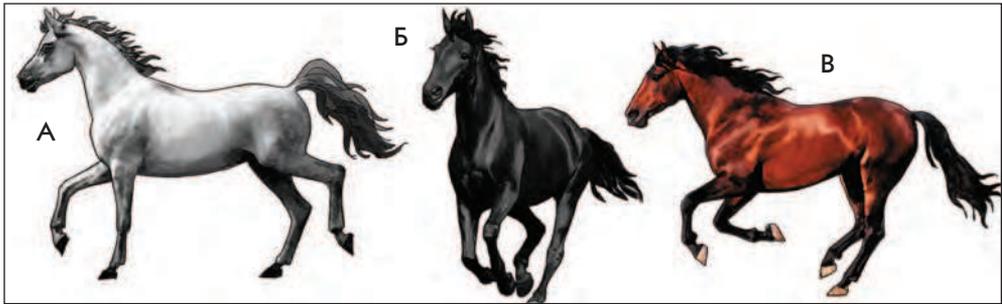
Здесь выполняется правило единообразия гибридов первого поколения (F_1), но потомки оказываются «ни в мать, ни в отца».

- Теперь можно расписать расщепление аллелей и фенотипических признаков во втором поколении (F_2), используя таблицу для дигибридного скрещивания (см. § 25), подставив в неё данные о фенотипическом проявлении генотипов кур с разными формами гребней.

Эпистазом, или эпистатическим взаимодействием генов, называют случаи подавления доминантного гена другим, неаллельным ему доминантным геном. Это явление было открыто при анализе мастей (окраски) у лошади (рис. 30.3).

Серую, или мышастую, масть (раннее поседение) определяет доминантный аллель C . Чёрную, или вороную, масть определяет доминантный аллель B , а рыжую или гнедую – рецессивный аллель b .

Гомозиготы CC и гетерозиготы Cc всегда будут мышастыми из-за раннего поседения, независимо от того, каким аллелем представлен другой ген (B или b).



30.3. Масти (окраски) у лошади: А – серая, или мышастая; Б – чёрная, или вороная; В – рыжая или гнедая

Р: $CCBB$ х $ccbb$
Серая масть Рыжая масть

F₁: $CcBb$ х $CcBb$
Серая масть

F₂: 9 C...B... : 3 ccB... : 3 C...bb : 1ccbb

В классическом дигибридном расщеплении Г. Менделя во втором поколении гибридов было четыре класса генотипов, различающихся по фенотипу (см. § 25).

- Какие три фенотипических класса получатся во втором поколении при данном скрещивании?

Полимерией, или полимерным взаимодействием генов, называют зависимость фенотипического выражения признака от количества неаллельных доминантных генов, вносящих вклад в его развитие. Например, в результате скрещивания краснозёрных пшениц с белозёрными установлено, что растения с генотипами $AABB$ имеют красные зёрна, растения с генотипами $aabb$ – белые зёрна, растения с любыми тремя доминантными генами – красноватые зёрна, растения с двумя доминантными генами – рыжие зёрна, растения с одним доминантным геном – жёлтые зёрна. Иными словами, накопление определённых неаллельных генов может вызвать изменение выраженности признака.

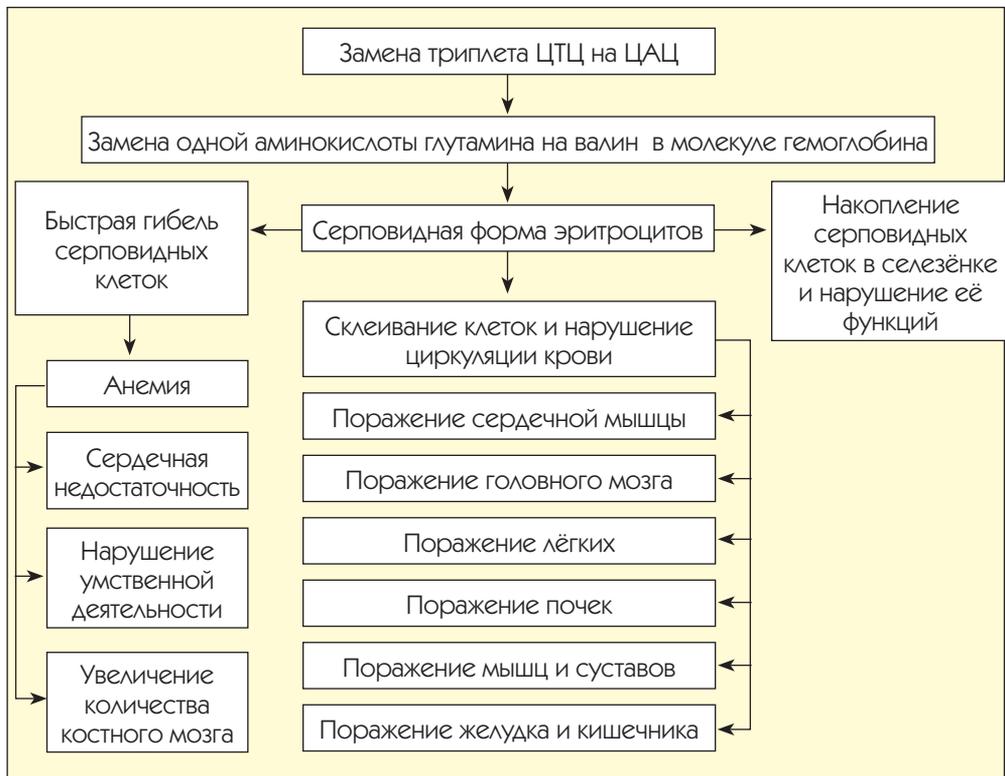


Уже зная механизм взаимодействия аллельных генов, мы можем предположить аналогичные неаллельные эффекты. Каждый ген производит некоторый белок, а признак может определяться взаимодействием белков: пигментов, смешение которых даёт новый оттенок; ферментов, уничтожающих созданный пигмент или, например, вызывающих усиленное деление некоторых клеток. Полимерные гены могут просто увеличивать выработку одного белка. Однако нередко всё происходит намного сложнее.

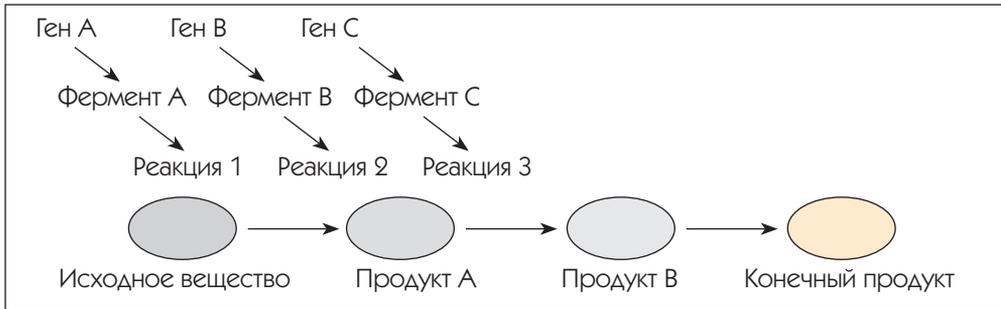
Взаимодействие генов при образовании целостного фенотипа

- Правильно ли утверждение, что каждый ген генотипа отвечает за развитие одного отдельного признака организма?

Изучая генетику, мы привыкли наблюдать, что каждый ген вызывает развитие определённого признака. Однако в природе случаи, в которых гены влияют не на один, а на многие признаки организма, т.е. **множественное действие гена**, встречаются довольно часто. Просто их не рассматривают при описании генетических закономерностей из-за сложности получаемой картины. Приведём в качестве примера всего один классический случай с серповидно-клеточной анемией (рис. 30.4) – влияние небольшой мутации одного из генов на целый комплекс органов и систем органов человека. Организм – сложная система. Выведение из строя всего одного его элемента может привести к целой цепи изменений в его функционировании.

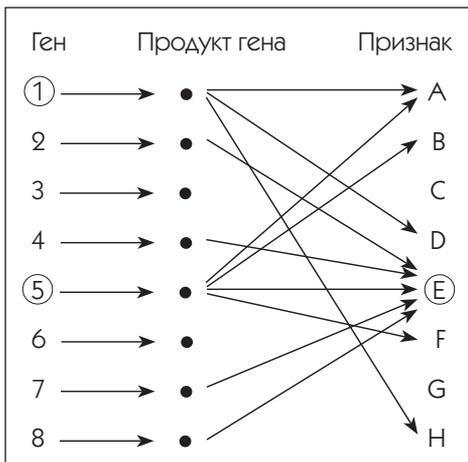


30.4. Серповидно-клеточная анемия – нарушение, возникающее при замене всего одного основания в триплексе ДНК



30.5. Влияние многих генов на любые из продуктов клеточных реакций

Признаки организма – это не только его форма и окраска, но и особенности физиологии, включая нервную систему, уровень секреции гормонов и другие механизмы регуляции, вплоть до поведения. Все признаки в конечном счёте обусловлены химическими реакциями, происходящими в организме и его клетках. Они контролируются ферментами, а синтез ферментов совершается по матрице ДНК. Различают простые и сложные признаки: простой признак – результат работы одного гена, сложный – многих (двух и более). Как правило, для формирования сложного признака должно произойти несколько химических



30.6. Схема взаимодействия вторичных продуктов генов при определении признаков организмов

реакций, зависящих от работы нескольких генов (рис. 30.5). Это явление получило название *полигенного* наследования признака.

Таким образом, в общем случае правильнее говорить не о влиянии одного гена на один признак, а о целостном влиянии всего набора генов – генотипа – на весь набор признаков – фенотип (рис. 30.6). Учитывая это, нетрудно понять, как велико влияние наследственности на все регуляторные функции организма, обеспечивающие его целостность. Иначе говоря, генотип с помощью отдельных «слов»-генов кодирует целостный организм.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

В основе формирования каждого сложного признака организма лежит множество химических реакций, каждая из которых управляется ферментами, закодированными в генах. Каждый такой признак организма – результат полигенного наследования. Но и большинство генов обладает множественным действием на признаки организма.

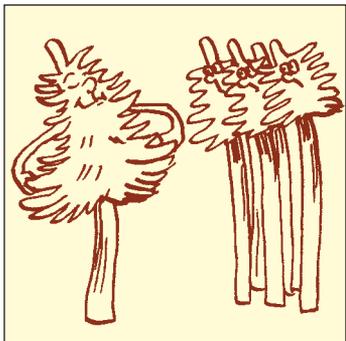
Полное и неполное доминирование, множественный аллелизм. Комплементарность, эпистаз, полимерия.
Множественное действие генов. Полигенное наследование

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Что такое множественное действие генов и полигенное наследование?
- Дискретность наследственных задатков (генов) – главное обобщение Грегора Менделя. Можно ли сказать, что такой же дискретностью обладают и определяемые генами признаки фенотипа?
- Могут ли потомки обладать признаками, которых не имели их родители?
- У матери была II группа крови (генотип AA), у отца – III (генотип BO). Какая группа крови может быть у их детей?
- Цвет кожи наследуется путём полимерии. Генотип чернокожего отца – AABBCDD, его белой супруги – aabccdd. Какого цвета будет кожа их потомка?
- У кур чёрная окраска оперения доминирует над белой. Все гетерозиготные особи имеют голубую окраску оперения. Какое получится потомство по окраске оперения, если голубых кур скрестить с белыми петухами? А если голубых – с чёрными? Дайте объяснение.

§ 31. Современные представления о наследственности

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Ученик: Ген – это элементарная единица наследственности. По сути, это участок ДНК в ядре клетки, в нём записана информация о строении молекулы белка.

Учитель: Всё не так просто. Во-первых, настоящее ядро есть только у эукариот. Во-вторых, даже у них гены расположены не только в ядре. В-третьих, информация о структуре белка – это только часть гена. К тому же, в-четвёртых, многие гены не кодируют белков. Ну и, в-пятых, выяснилось, что регуляторные последовательности ДНК, которые сами по себе ничего не кодируют, – тоже часть наследственности.

- Сравните знания о компьютере, которыми владеет пользователь, программист и разработчик электронных систем. Сформулируйте проблему аналогичного углубления знаний о механизмах наследственности. Свой ответ сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что обозначают термины: цитоплазма, пластыды, митохондрии, центриоли, ядро, хромосомы, ген, биосинтез белка, фермент? (§ 11–12, 15)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Концепция «ген – признак»

- Какие промежуточные этапы связывают ген и признак?
- Почему изучение связи между геном и признаком предшествовало познанию всех промежуточных этапов этого взаимодействия?

Представление Менделя о единицах наследственности опиралось на результаты скрещиваний. По расщеплению признаков в потомстве он смог восстановить основные черты поведения наследственных задатков. Каждый задаток, по его мнению, несёт ответственность за развитие определённого признака организма. Открытие мейоза позволило соотносить законы Менделя с поведением хромосом. С развитием хромосомной теории за единицу наследственности был принят ген – участок хромосомы, связанный с развитием определённого признака.

Развитие молекулярной биологии позволило объяснить механизм реализации наследственной информации в клетке. С позиций этой науки, ген представляет собой участок ДНК, на котором нуклеотиды несут информацию о молекуле белка. Теперь мы знаем, что в процессе биосинтеза белка наследственная информация переписывается на иРНК, а на основе этой молекулы, как на матрице, в рибосомах синтезируются белки организма. Среди функций белков важнейшие – фер-

ментативная и структурная. Благодаря ферментам происходят химические реакции в клетке, причём только в нужном месте и в нужное время. Таким образом формируются все свойства организма. В результате ген стал восприниматься как участок ДНК, в котором закодирована информация о строении молекулы белка.

Ген → белок → фермент →
→ химическая реакция → признак →
→ структура → признак.

Реализацию генетической информации при помощи процессов транскрипции и трансляции называют *экспрессией генов*.

Классическое представление о гене как о единице наследования элементарных структур и функций сыграло и продолжает играть большую роль в развитии генетики, медицины, селекции, биохимии. На основе этой концепции была открыта структура молекулы ДНК, принципы генетического кодирования, транскрипции и трансляции информации. Вместе с тем она не давала объяснения, достаточного, чтобы влиять на генетический аппарат и его работу.

Структура гена

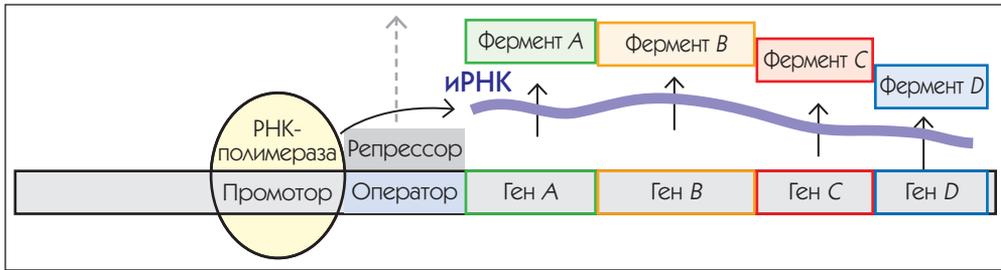
- Что добавляют новые знания о структуре генов?
- Какую роль играет структура генов и их регуляции?

Если ген – это только последовательность нуклеотидов, однозначно определяющая структуру РНК и белка, то многие вопросы остаются неясными. Каким образом на каждом этапе развития в каждой клетке организма включаются только те гены, которые нужны для её жизнедеятельности? Как происходит регуляция генной активности?

Первые данные были получены при изучении прокариот, в основном кишечной палочки. Её кольцевая молекула ДНК содержит миллионы пар нуклеотидов, на которых размещается более 5 тыс. генов. Гены, расположенные друг за другом, образуют функциональные группы – *опероны*, объединяющие от 1 до 10 генов, а иногда и больше. Опероны разделены межгенными промежутками, сравнимыми по длине с самими генами.

Гены одного оперона экспрессируются и регулируются совместно, так как их продукты участвуют во взаимосвязанных реакциях. В начале оперона имеется *промотор* – участок ДНК, ответственный за начало транскрипции (считывания информации с ДНК на иРНК). На другом конце оперона расположен *терминатор* – место остановки транскрипции.

Рассмотрим в качестве примера лактозный оперон кишечной палочки, содержащий три гена. Они кодируют белки-ферменты, необходи-



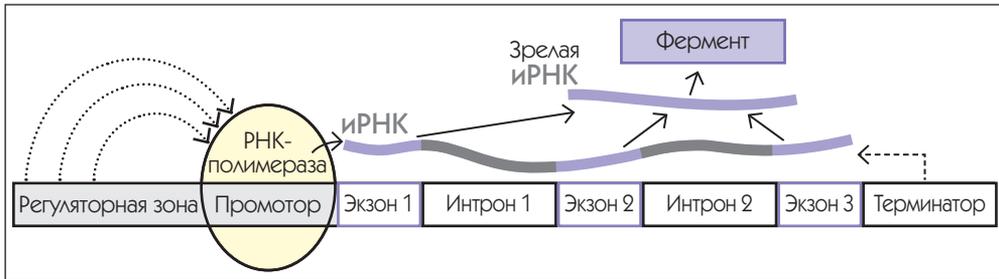
31.1. Оперон – система совместной экспрессии и регуляции функционально связанных генов

мые для питания сахаром-лактозой. В начале оперона, на *промоторе*, располагается фермент транскрипции – РНК-полимераза. Следующий за промотором участок – *оператор* – занят белком-репрессором, чувствительным к лактозе. Он преграждает путь РНК-полимеразе и тем самым блокирует транскрипцию в этом опероне. Когда поблизости появляются молекулы лактозы, репрессор покидает своё место и связывается с одной из них, открывая дорогу для считывания иРНК со всех генов оперона. Синтезированные на ней ферменты начинают превращать лактозу в вещества, необходимые кишечной палочке, позволяя ей жить и размножаться. Когда лактоза закончится, освободившийся белок-репрессор снова займёт своё место на операторе – и производство ненужных более ферментов прекратится.

Так лактозный оперон в нужное время обеспечивает синтез нужных ферментов, причём в равных количествах, для всех стадий превращения лактозы. Когда бактерия попадёт на другой субстрат, заработает другой оперон. Разные опероны могут регулироваться разными способами: например, вместо активации субстратом (как в случае лактозного оперона) может использоваться ингибирование продуктом.

Большинство генов эукариот не объединены в опероны, имеют более сложное строение и регулируются иначе, чем прокариотические. Так же как бактериальные гены, они имеют места начала и конца транскрипции – *промоторы* и *терминаторы*. Кодрующие части гена (*экзоны*) зачастую перемежаются некодирующими вставками (*интронами*), которые копируются при транскрипции. Последовательности, соответствующие интронам, вырезаются из первичного РНК-транскрипта, и его кодрующие области сшиваются при помощи процесса, который получил название *сплайсинг* (сшивание). Согласованная работа эукариотических генов обеспечивается обширными *регуляторными зонами*.

Ядерная ДНК эукариот, как правило, содержит в тысячи раз больше нуклеотидов, чем ДНК прокариот, но на долю генов приходится не более 5%. Какую же функцию выполняет большая часть ДНК? Почему



31.2. Схема устройства типичного эукариотического гена

она избыточна? Есть весьма убедительные данные в пользу её колоссальной регуляторной роли. Именно эта часть ДНК может определять различия между организмами, например такими, как ящерица и мартишка, даже если их наборы генов в значительной мере сходны. Тем не менее часть некодирующей ДНК может вообще быть рудиментом – инактивированными генами (псевдогенами), остатками вирусов или бывшими регуляторными участками, которые играли важную роль у предков.

Современные достижения в изучении генов помогут научиться управлять их деятельностью в нужном человеку русле, т.е. будут способствовать развитию генной инженерии, медицины, биотехнологии.

Программа «Геном человека»

- Почему учёные всего мира придают большое значение данной программе?

Гено́м – это совокупность всех генов, характерных для гаплоидного (одинарного) набора хромосом данного вида. Таким образом, геном описывает совокупность генетических признаков (таких, как пигментация горошины), а не их разновидностей – аллелей (зелёный, жёлтый пигменты и т.п.).

В отличие от генотипа, геном представляет собой характеристику вида, а не особи. Установление количества генов, их точного положения в хромосомах, детальной внутренней структуры, включая нуклеотидную последовательность, – задача исключительной сложности. В современной генетике изучение генома человека имеет приоритетное значение. В ходе этих исследований уже получены многие сведения, описанные в предыдущей рубрике.

Во второй половине 80-х годов XX века группа учёных США во главе с Д. Уотсоном начала работу над проектом, названным впоследствии «Геном человека». К этому проекту присоединились учёные многих стран, в том числе и России. Цель данного проекта заключалась в том, чтобы представить в виде карты полную последовательность ДНК

человека. По своим затратам этот проект сопоставим с космическим. Учитывая, что ядерная ДНК человека содержит $5 \cdot 10^9$ пар нуклеотидов, только объём описания генома займёт несколько сотен тысяч страниц. Эта работа не только позволит установить множество ещё не известных закономерностей, относящихся ко всем высшим организмам, но и даст бесценные практические результаты в области медицины.

В 80-х годах прошлого века технологии были слишком примитивными для решения поставленной задачи. 90-е годы вошли в историю как годы уверенного совершенствования наших возможностей определять последовательность полных геномов. Суть метода в том, что определяемую ДНК организма разбивают на множество небольших фрагментов, каждый из которых вводят в автомат, определяющий последовательность ДНК путём сравнения с искусственными цепочками нуклеотидов. Затем сложнейшие компьютерные программы, разыскивая идентичные участки, заново собирают из определённых фрагментов в исходную последовательность. В феврале 2001 года был опубликован первый предварительный набросок генома человека.

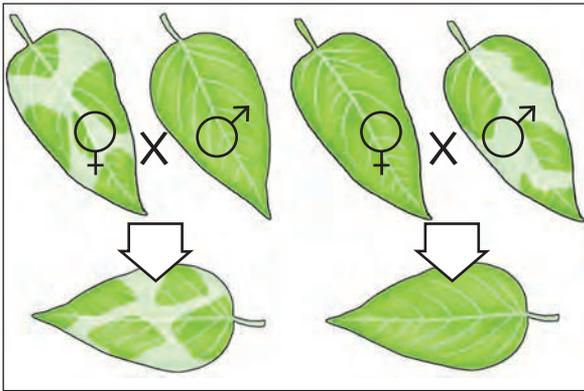
На следующем этапе предстоит выяснить, что представляют собой все гены и как кодируемые ими белки объединяются, образуя биологический портрет человека. По оценкам учёных, на то, чтобы получить все данные и понять все механизмы реализации генома человека, потребуется ещё не одно десятилетие.

Цитоплазматическая наследственность

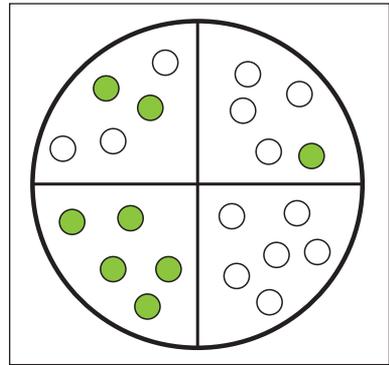
- Почему наследование пестролистности связывают не с мейозом, а с митозом? В чём главная особенность внеядерной наследственности?

Молекулы ДНК, заключённые в хромосомах ядра, играют ведущую роль в наследовании свойств организма. Вместе с тем нуклеиновые кислоты обнаруживаются и вне ядра. В начале эмбрионального развития животных в цитоплазме происходит трансляция молекул иРНК, попавших в зародыш из яйцеклетки матери. Таким образом, в зародыше может продолжаться экспрессия даже тех генов дедушки и бабушки, которых у этого зародыша нет! Как отдалённые потомки симбиотических бактерий, митохондрии и пластиды имеют собственные геномы, похожие на бактериальные? Они обеспечивают внеядерную, цитоплазматическую наследственность.

Внеядерный тип наследственности открыли вскоре после ядерной, изучая пестролистность садового растения – ночной красавицы. Наряду с обычными зелёными листьями, у неё встречаются пёстрые листья с участками, лишёнными хлорофилла, и целые ветви с белыми листьями (рис. 31.3 – 31.4). При опылении цветков с пестролистных ветвей пыльцой цветков с зелёных ветвей и наоборот результаты получались



31.3. Результаты скрещиваний при наследовании пестролистности у ночной красавицы



31.4. Схема случайного распределения белых и зелёных пластид при клеточном делении

различные. Если семечки были с пестролистных ветвей, то потомство получалось пестролистным, а если с зелёных – зелёным. Пыльца не влияла на окраску листьев, признак передавался только по материнской линии.

Пестролистность обусловлена наличием двух типов пластид: хлоропластов, содержащих хлорофилл, и лейкопластов, лишённых хлорофилла. Пластиды имеют собственную ДНК и размножаются делением самостоятельно, независимо от деления клеток. Во время роста растения, при каждом делении клеток, в митозе пластиды распределяются по дочерним клеткам случайно, в зависимости от того, как пройдёт клеточная стенка между дочерними клетками. Если цитоплазма материнской клетки содержит хлоропласты и лейкопласты, то дочерняя клетка может получить пластиды: 1) только зелёные; 2) только бесцветные; 3) и зелёные, и бесцветные. Если клетка получила пластиды только одного типа (зелёные или бесцветные), то дальше все её потомки будут одноцветными. Пестролистные побеги и пёстрые листья образуются только из клеток, несущих оба типа пластид.

При половом размножении наследование пестролистности связано не с ядерной ДНК, а с порцией пластид, которую потомок получает от матери – вместе с цитоплазмой материнской клетки.

Внешние признаки цитоплазматической наследственности обнаружены у львиного зева, кукурузы и других растений. У дрожжей различная способность к дыханию также наследуется с цитоплазмой. Она связана с самовоспроизведением других цитоплазматических органоидов – митохондрий. С наследованием митохондрий у человека связаны некоторые редкие заболевания; в их числе атрофия зрительного нерва.

- Вспомните основные различия между мужскими и женскими гаметами. Как они влияют на наследование цитоплазмы? От кого из родственников вы унаследовали все свойства митохондрий?

Таким образом, **цитоплазматическая наследственность** – это внеядерная, нехромосомная наследственность, осуществляемая молекулами ДНК пластид и митохондрий. Их свойства передаются только от материнского организма – с цитоплазмой яйцеклетки. Поэтому изучение внеядерной ДНК позволяет проследить наследование по материнской линии.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Концепция «ген-признак» сыграла и продолжает играть важную роль в решении многих вопросов биологии. Для управления наследованием необходимо более глубокое понимание структуры и функций генов. Хромосомная ДНК, кроме участков, кодирующих структуру белков, включает обширные области, регулирующие момент, условия и порядок считывания кода. Их доля возрастает с увеличением сложности организмов. При ведущей роли хромосомной наследственности она определяет не все признаки организма. Её дополняет цитоплазматическая наследственность, которая осуществляется только по материнской линии. Международные усилия современной генетики сосредоточены на изучении не только отдельных генов, но и геномов в целом, в том числе и генома человека.

Цитоплазматическая наследственность. Геном

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Какие новые сведения по биологии расширяют наши представления о генах, полученные во времена Г. Менделя и Т. Морганя?
2. • Какие сведения о наследовании, помещённые в этом параграфе, вам показались самыми важными?
3. • Какие закономерности хромосомной наследственности не выполняются при цитоплазматической наследственности?
4. • В чём различие регуляторной и структурной частей гена?
5. • На ваш взгляд, как люди могут воспользоваться результатами программы «Геном человека»?

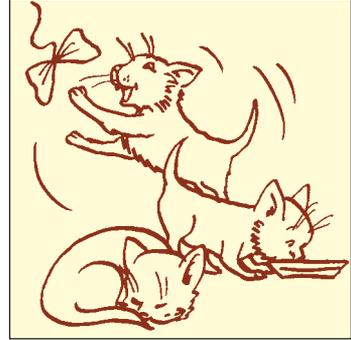
§ 32–33. Изменчивость – общее свойство живого

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Мнение 1. Братья с самого рождения различны: они не только похожи на разных родителей, но и имеют свои особые отличия. Не все рождаются сильными, умными и смелыми.

Мнение 2. От условий дальнейшей жизни и воспитания зависит, будет ли каждый из них сильным или слабым, умным или глупым, смелым или трусливым.

- Задайте тему исследования, которое определит справедливость или ложность каждой точки зрения. Сравните её с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие известные вам законы наследственности делают изменчивость необходимым свойством живого? (§ 26–29)
- Что такое комбинативная изменчивость, мутации, модификации? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

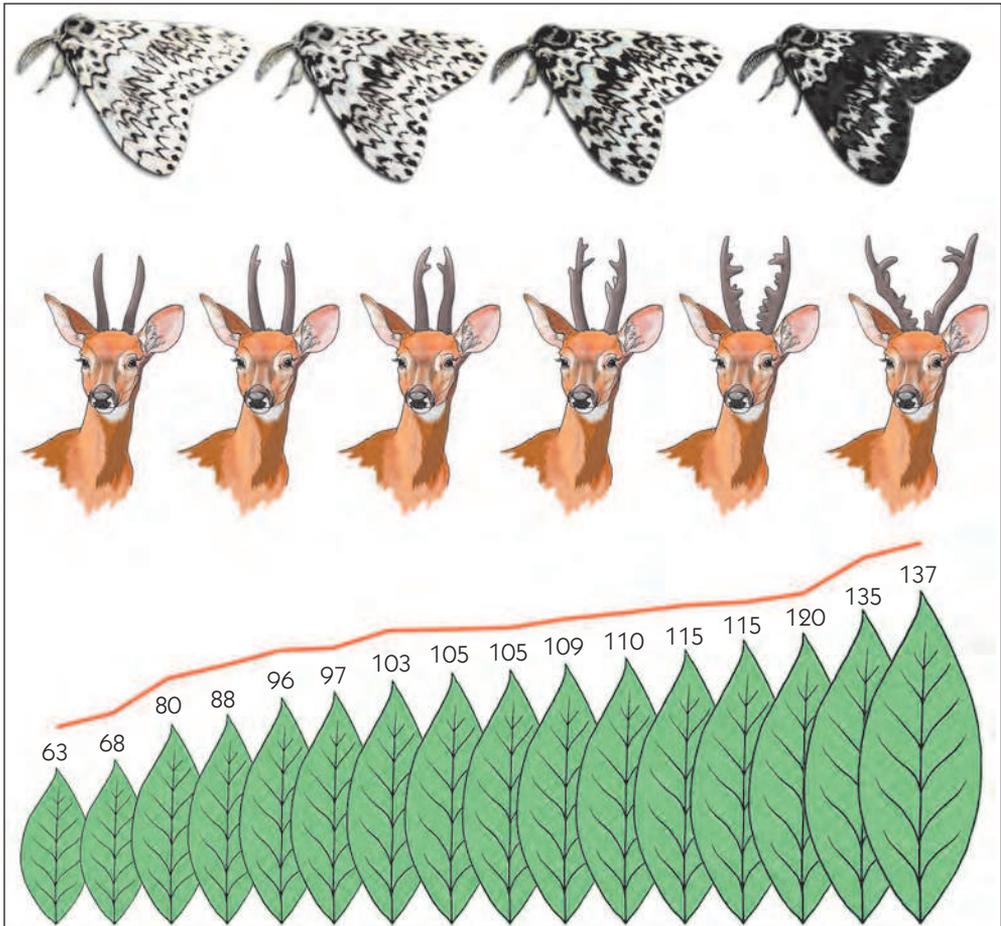
Изменчивость и её формы

- Какие типы изменчивости существуют и в чём их различие?

В природе нет двух одинаковых организмов. **Изменчивость** – это свойство потомков различаться вопреки общему происхождению. Черты различия могут быть двух типов: одни из них передаются будущим поколениям, другие – нет. На этом основании выделяют два типа изменчивости.

Генотипическая, или **наследственная**, изменчивость организмов обусловлена различием их генотипов. Такие различия связаны со свойствами генетического материала и могут передаваться потомкам. Наследственная изменчивость – основа биологического разнообразия и важная предпосылка эволюции организмов. Она, в свою очередь, подразделяется на комбинативную и мутационную формы изменчивости.

Модификационная, или **ненаследственная**, изменчивость – результат влияния на организмы факторов внешней среды, а не различий их генотипов. Модификации – это различные варианты фенотипических признаков одного и того же генотипа в зависимости от того, в какой среде обитания он оказался.



32.1. Примеры изменчивости животных (бабочка-монашенка и сибирская косуля) и растений (листья лавровишни)

- Предположите, каковы причины этой изменчивости.

Комбинативная изменчивость

- Докажите, что комбинативная изменчивость – основной источник разнообразия.

Совокупность генов, унаследованная организмом в своеобразном сочетании родительских аллелей, порождает **комбинативную изменчивость**. Она велика даже среди ближайших родственников, не говоря уже о дальних. Комбинативная изменчивость может создать бесконечное разнообразие генотипов, подобно тому как из набора слов создаются уникальные литературные произведения.

Причина возникновения этих сочетаний – половой процесс, который включает три типа случайных событий:

1) кроссинговер во время конъюгации: гомологичные хромосомы, из которых одна всегда отцовская, а другая – материнская, могут обмениваться своими частями, большими или меньшими;

2) расхождение каждой пары родительских хромосом по гаметам (сперматозоидам и яйцеклеткам) в мейозе не зависит от других пар;

3) сочетание гамет при оплодотворении.

Иногда считают, что комбинативная изменчивость не создаёт ничего нового, но это не совсем верно. Каждая гамета содержит n хромосом, по одной из каждой пары. Всего возможно $2n$ различных сочетаний хромосом в одной гамете. При оплодотворении случайно сочетаются гаметы двух организмов, образуя $2n \cdot 2n$ комбинаций. Кроссинговер увеличивает это число приблизительно до $10n$, что для генома человека выражается числом с 23 нолями! Конечно, оба родителя могут быть гомозиготными по многим признакам, что уменьшает число комбинаций. Однако оно остаётся настолько велико, что некоторые сочетания аллелей могут не возникнуть за всю историю существования вида. Многие комбинации, конечно, нежизнеспособны, зато другие могут открывать новые преимущества их носителям и становиться основой относительно небольших эволюционных изменений.

Мутационная изменчивость

- Как возникло всё разнообразие генов в генотипе каждого организма?

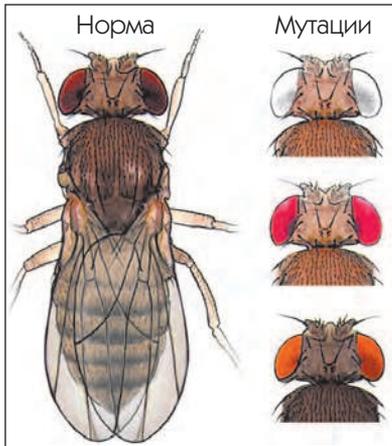
Мутации – это случайные изменения в структуре наследственного аппарата. Если генотип можно сравнить с многотомной книгой, то мутации – с опечатками при её копировании и порчей за время хранения. Среди неточностей будет много таких, которые не повлияют вообще или сколько-нибудь серьёзно на смысл слов и предложений, но будут и такие, которые повлияют – и даже иногда, хотя и очень редко, в лучшую сторону! Все мутации обладают тремя общими свойствами:

1) они *дискретны*: минимальная мутация затрагивает один нуклеотид;

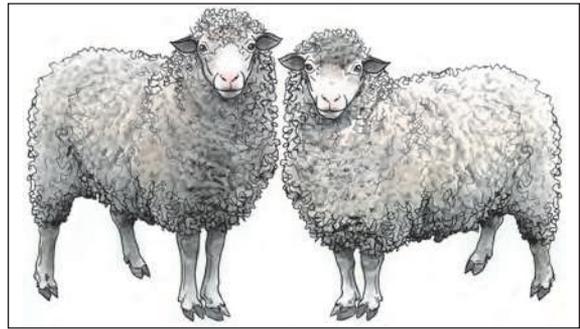
2) они *ненаправленны*, поскольку свойство случайного изменения никак нельзя предсказать заранее (рис. 32.2–32.3);

3) они возникают *очень редко*, так как существует множество механизмов, препятствующих их появлению.

Судьба вновь возникающих мутаций различна. Случайное изменение генотипа чаще всего наносит вред организму – например, лишает его какой-нибудь функции или структуры. Организмы с доминантным проявлением большинства мутаций не встречаются, потому что погибают на ранних стадиях развития. Рецессивные мутации могут сохраниться, но их проявление скрыто благодаря доминированию нормаль-



32.2. Примеры мутаций, затрагивающих цвет глаз у дрозофилы



32.3. Мутация коротконогости у овец (справа) в сравнении с нормальной формой

- Направлены ли мутации на приспособление к условиям среды? Можно ли предсказать заранее их появление и характер проявления в фенотипе?

ного аллеля или действию регуляторных генов. Те немногие мутации, которые в гомозиготном состоянии не опасны для жизни, сохраняются у потомков. Аллели любого гена – это мутации, которые, раз возникнув, смогли уцелеть и распространиться среди многих потомков.

Так, в почти бесконечной череде поколений предков мутационная изменчивость создала основу существующего разнообразия генов. Комбинативная изменчивость лишь перемешивает этот материал.

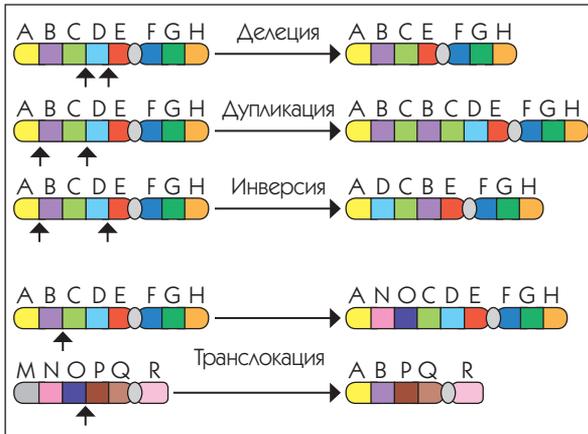
Типы мутаций

- Рассмотрите типы мутаций и обсудите, как они могут влиять на функционирование генов.

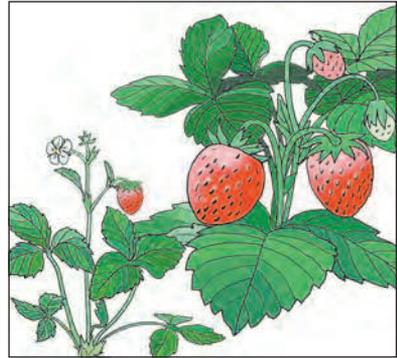
Генные мутации связаны с изменением последовательности нуклеотидов внутри гена. Чаще всего они возникают при репликации ДНК. Мутантный ген может потерять свою функцию: нужный белок не синтезируется или синтезируется белок с изменёнными свойствами. (Вспомните пример с мутацией, вызывающей серповидно-клеточную анемию.) Другие генные мутации будут нейтральны, если не приведут к изменению свойств продукта гена.

Хромосомные мутации связаны со случайными изменениями структуры хромосом: выпадением или добавлением участка, поворотом с изменением последовательности генов на обратную и т.п. При этом может происходить как исчезновение, так и добавление групп генов, что ведёт к нарушению развития (рис. 32.4).

Геномные мутации – кратное изменение (например, удвоение) одной, нескольких или всех хромосом. Удвоение части хромосом почти всегда



32.4. Примеры хромосомных мутаций



32.5. Садовая земляника благодаря явлению полиплоидии превосходит своего дикого предка по размеру плодов

ведёт к сильным нарушениям, в то время как *полиплоидия* – кратное увеличение всех хромосом – часто не наносит вреда жизнеспособности. Наоборот, растения-полиплоиды бывают даже несколько крупнее своих диплоидных родственников, что нашло применение в селекции (рис. 32.5). Отмеченное отличие полиплоидов указывает на то, что только полный набор хромосом может обеспечить сбалансированную деятельность клеток.

Мутации могут происходить в соматических и половых клетках. Последние передаются по наследству. Соматические мутации тоже могут передаваться потомкам, но только в процессе вегетативного размножения. Поэтому на разных ветвях одного дерева могут появляться цветки с мутантными гаметам, которых нет на других ветках. Так соматическая мутация может войти в генотип потомков.

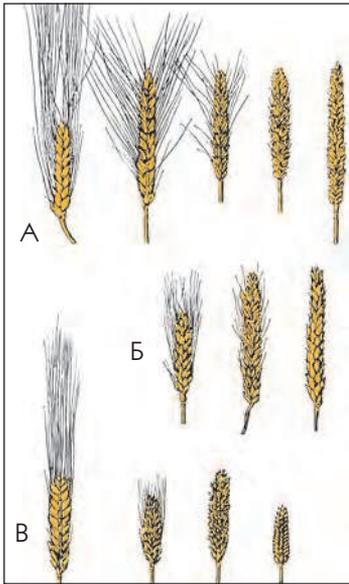
Частота самопроизвольных мутаций зависит от точности работы механизмов воспроизведения ДНК и исправления возникающих при этом ошибок (репарации). Темпы мутирования в природных условиях колеблются от 10^{-9} до 10^{-4} , т.е. 1 мутация на 1 000 000 000–10 000 нуклеотидов.

Мутагенными факторами, т.е. факторами, повышающими частоту мутаций, могут быть повышенный фон радиации, некоторые химически активные вещества (канцерогены). Такие факторы могут повысить частоту мутаций в 10–100 раз по сравнению с обычной.

Гомологические ряды изменчивости

- Что ограничивает разнообразие генных мутаций и делает их сходными у близких видов?

Мы уже говорили о случайности отдельных мутаций и ненаправленности мутационного процесса в целом. Однако выживают не всякие мутанты, а только те, у которых произошло небольшое изменение, сов-



32.6. Проявление закона гомологических рядов на примере злаков: А – мягкой пшеницы; Б – твёрдой пшеницы; В – ячменя

местимое с остальными функциями организма. Скорее всего, «удачные» мутации можно ожидать среди генов, определяющих конечные продукты обмена: синтез запасных питательных веществ, пигментов и т.п. Они образуют серию аллельных генов, определяющих несколько вариантов одного признака. У родственных видов мы вправе ожидать сходные спектры изменчивости гомологических признаков.

Выдающийся российский учёный Н.И. Вавилов (1887–1943) многие годы изучал изменчивость культурных растений и их диких предков. Он обнаружил параллелизм в рядах изменчивости признаков у видов растений, принадлежащих к одному роду или семейству, и сформулировал **закон гомологических рядов**:

- в основе сходных спектров изменчивости лежат ряды гомологических генов;
- гомологические ряды наследственной изменчивости тем полнее, чем ближе виды в систематическом отношении (рис. 32.6).

Руководствуясь этим законом, можно предсказать, какие мутантные формы должны возникать у близкородственных видов. Это давало возможность направлять селекционную работу в нужное русло и вскоре позволило вывести новые урожайные сорта.

Н.И. Вавилов предполагал, что в основе явления лежат гомологические мутации. Развитие молекулярной генетики подтвердило его предположение.

Горизонтальный перенос генов

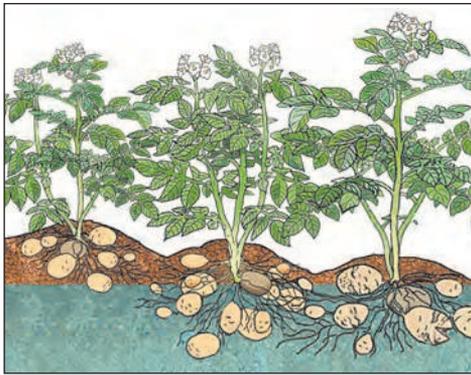
- Сообразите, почему горизонтальный перенос генов не легко обнаружить.

Как показало недавно проведённое сравнение нуклеотидных последовательностей геномов различных организмов, существенным компонентом генотипической изменчивости является **горизонтальный перенос генов**. При этом в геном организма попадает генетический материал от других организмов, которые не только не являются родителями, но могут принадлежать к совершенно непохожей группе или даже другому царству клеточных форм или вирусов. Разумеется, многие из таких случайных химер не выживают и не оставляют потомства, однако за многие десятки и сотни миллионов лет эволюции некоторые из них оказываются удачливыми и дают начало новым жизненным формам.

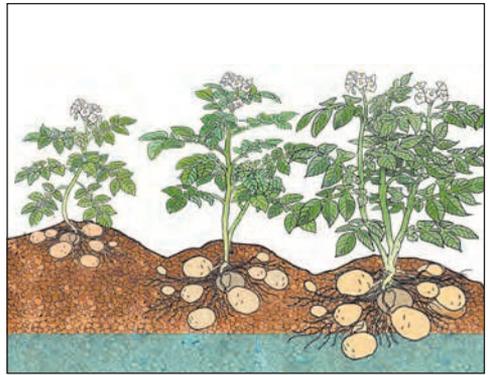
Модификационная изменчивость

- Насколько полно генотип определяет экспрессию (выражение) признаков фенотипа? Зависит ли формирование признаков от условий среды?

Картофель обычно размножают клубнями. Кусты, выращенные из клубней одного материнского растения, имеют идентичный генотип, но значит ли это, что они не будут различаться на разных участках поля? Более того, они принесут различный урожай в зависимости от времени посадки, окучевания, внесения удобрений (рис. 32.7–32.8). Все эти различия относятся к **модификационной изменчивости** – различному проявлению признаков, заложенных в генотипе, в зависимости от внешних условий их развития.



32.7. Фенотипы картофеля в дождливый год



32.8. Фенотипы картофеля в засушливый год

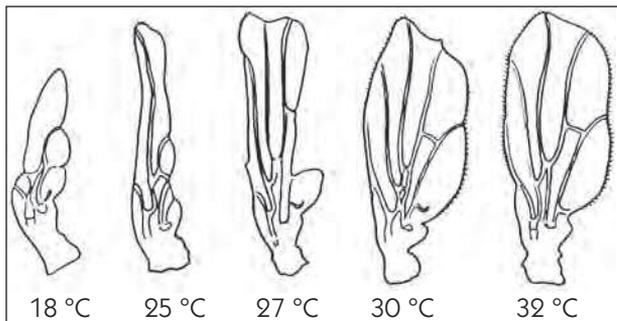
Модификации имеют ряд общих особенностей:

- они *направленны*, т.е. при изменении воздействия организм изменяется в предсказуемом направлении;
- они *пропорциональны* действующему фактору в определённом диапазоне значений.

Модификации не связаны с изменением генов, но механизмы, обеспечивающие *способность к модификации*, имеют наследственную основу. Предположим, произошла мутация в гене, ответственном за фермент, который доставляет АТФ к месту производства хитина в растущих клетках. Активность этого фермента зависит от температуры, поэтому фенотипическое проявление данной мутации различно в зависимости от условий среды (рис. 32.9). Вместе с тем оно не имеет приспособительного значения и выглядит как нарушение, уродство – как это свойственно большинству новых мутаций.

Поскольку генетические изменения, резко снижающие жизнеспособность, обычно не сохраняются, в природе мы встречаем, как правило,

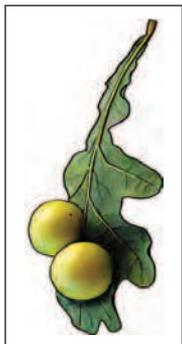
лишь те из них, которые обеспечивают приспособительную реакцию на изменение условий. Такие реакции называются **адаптивными модификациями**. Как и любые приспособления, они относительны, т.е. полезны только при изменении условий в нормальных пределах (рис. 32.10).



32.9. Изменение формы крыла в зависимости от температуры у одной из мутантных линий лабораторной дрозофилы



32.10. Надводная и подводная модификации листьев стрелолиста



32.11. Галлы на листе дуба

- Объясните, что можно назвать приспособлением в приведённых примерах (рис. 32.9 – 32.12), а что нельзя. Что наследуется, а что – нет?



Особую категорию неадаптивных модификаций представляют **морфозы** – аномальные (уродливые) проявления признаков при экстремальных воздействиях среды (рис. 32.9, 32.11). Они могут быть вызваны действием, например, радиации или химических ядов на реализацию генетической информации при развитии клеток. Так, у дрозофил при облучении вырастают выемчатые крылья. Двукрылые насекомые-галлицы и галловые клещи выделяют яд на листья, чем вызывают их чудовищное разрастание – появление галлов: «розочек» на иве, «ягодок» на дубе. Необычные аллергические реакции людей в задымлённых городах также относятся к морфозам.

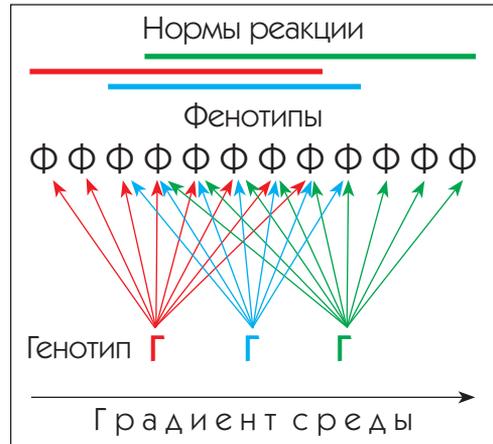
Норма реакции

- Где проходит грань между мутацией и реакцией на среду?

Наличие модификаций показывает, что генотип предусматривает разные варианты своего фенотипического выражения в различных условиях жизни. Если бы генотип задавал свойства фенотипа в неизменном виде, то любое, даже небольшое, изменение условий жизни вызывало бы нарушение хода индивидуального развития, если не гибель. Следовательно, через генотип по наследству потомок получает гибкие признаки как механизмы реагирования на разнообразие усло-

вий развития. Иными словами, наследуется **норма реакции** – способность генотипа формировать в зависимости от условий среды различные фенотипы (рис. 32.12). Одни признаки варьируют сильнее, другие более стабильны. Например, коровы имеют относительно широкую норму реакции по удою, тогда как жирность молока – более стабильный признак.

В пределах нормы реакции осуществляются все изменения организма, подстраивающие его к условиям внутренней и внешней среды. Адаптивные модификации – лишь часть более широкого диапазона, составляющего норму реакции. Так, при остром дефиците любых жизненно необходимых ресурсов (например, витаминов) нормальное развитие нарушается при любом генотипе. Но пока организм жив, эти нарушения проявляются вполне определённым образом, в соответствии с унаследованной нормой реакции.



32.12. Популяция состоит из множества особей с различными генотипами (Г), каждый из которых имеет свою норму реакции – набор возможных фенотипов (Ф)

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Изменчивость – свойство потомков приобретать отличия (изменяться) вопреки общему происхождению. Генотипическая, или наследственная, изменчивость организмов обусловлена различием их генотипов. Её источник – мутации, случайные изменения в структуре наследственного аппарата. Комбинативная изменчивость заключается в создании новых сочетаний генов, возникших за счёт мутаций. Чем более родственны две группы организмов, тем более сходны их спектры наследственной изменчивости. Модификационная, или ненаследственная, изменчивость – результат влияния на организмы факторов внешней среды, а не различий их генотипов. Норма реакции – способность генотипа формировать в зависимости от условий среды различные фенотипы. Наследуются не признаки организма как таковые, а норма реакции его генотипа.

Изменчивость. Генотипическая изменчивость: комбинативная, мутационная. Закон гомологических рядов. Модификационная изменчивость, норма реакции, адаптивные модификации

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● В чём сходство и различие наследственной и ненаследственной изменчивости?
2. ● Как влияют на сходство с предками комбинации и мутации?
3. ● Как селекционеры могут использовать закон гомологических рядов в наследственной изменчивости?
4. ● Можно ли сказать, что в генотипе однозначно predeterminedены все свойства будущего организма?
5. ● В результате аллергической реакции у человека возникло покраснение кожи, потекли слёзы. Можно ли назвать эти изменения адаптивной модификацией?
6. ● Поработайте в группе: один называет изученный термин, другой его объясняет. В случае верного ответа поменяйтесь местами.



● МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявление изменчивости у группы особей определённого вида

Сравните различные экземпляры, относящиеся к одному виду живых организмов (гербарные экземпляры растений, наборы семян, плодов, листьев, по 5–10 экз.). Найдите черты сходства и различия экземпляров. Опишите изменчивость качественных признаков. Проведите измерения количественных признаков. По возможности предположите причину изменений. Составьте общую таблицу, включающую результаты работы всех учеников. При возможности для оформления результатов исследований используйте компьютер.

Вид	Изменчивость качественных признаков и их предполагаемая причина	Изменчивость количественных признаков и их предполагаемая причина

Выявление источников мутагенов в окружающей среде и оценка возможных последствий их влияния на организм

Многие мутагены – продукты интенсивной хозяйственной деятельности человека. Повышенное содержание мутагенов в среде часто связано с несовершенной очисткой производственных выбросов в воздух и водоёмы; шоссевыми дорогами с интенсивным движением; свалками мусора; местами захоронения радиоактивных отходов; полями, на которые вносятся в большом количестве минеральные удобрения.

Попробуйте определить, какие места с интенсивной хозяйственной деятельностью в вашей местности могут быть источниками мутагенной опасности. Какие химически активные соединения могут встречаться в этих местах в повышенной концентрации?

Наметьте, из каких водоёмов в вашей местности опасно брать воду для питья, из каких водоёмов опасно употреблять рыбу в пищу, в каких местах даже съедобные виды грибов могут оказаться ядовитыми.

Найдите в энциклопедиях, справочниках и в Интернете сведения о вреде, наносимом человеку радиацией и повышенной концентрацией химически активных соединений. Составьте таблицу: в левой колонке укажите названия мутагенных факторов, а в правой – вред, наносимый здоровью людей.

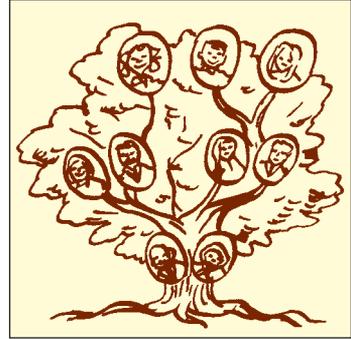
§ 34. Генетика человека

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Пессимист: Боюсь за своих будущих детей: плохая экология, кругом сплошные мутагены. Да и у родственников наверняка бывали наследственные болезни, только раньше о них не думали.

Оптимист: Чего бояться? Все гены человека известны. Сравнят твои гены с эталоном, где надо – подправят, подлечат. Сейчас всё лечат. А детям, говорят, генотип улучшают прямо в роддоме. Правда, дорого...

- Сформулируйте вопрос, который поможет выработать научно-практическую точку зрения на эти проблемы. Сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Расскажите о наследовании альтернативных аллелей. (§ 26)
- Как определить независимое наследование и сцепление с полом? (§ 27–28)
- Что вы помните о генетике человека? (9 класс)
- Что такое аутосомы и половые хромосомы? (§ 28)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Как изучают генетику человека

- Какие методы использует медицинская генетика?

Современная генетика детально изучила наследственность человека. Общие закономерности наследственности, которые были выяснены на лабораторных животных и сельскохозяйственных растениях, применимы и к человеку. Так, учёные смогли объяснить причины огромного разнообразия людей, неповторимости их облика. В их основе лежит огромное генетическое разнообразие, возникающее за счёт комбинирования аллелей, впервые появившихся в виде мутаций у наших предков, близких и далёких. Истинный запас генетической изменчивости человеческой популяции на самом деле ещё выше, чем наблюдаемое разнообразие фенотипов. Ведь большинство мутаций рецессивно и в гетерозиготном состоянии не проявляется в фенотипе.

Как бы ни были универсальны закономерности наследственности, требуется их уточнение применительно к человеку. Прямые эксперименты на людях не проводят. Поэтому при изучении генетики человека используются специальные методы исследования.

Близнецовый метод

- С какой целью используется близнецовый метод?

Близнецы бывают двух типов. Разнояйцовые близнецы образуются при оплодотворении двумя сперматозоидами двух яйцеклеток. От других детей этих родителей они отличаются только тем, что родились в один день. Однояйцовые близнецы развиваются из одной оплодотворённой яйцеклетки. Они имеют идентичные генотипы и поэтому представляют особый интерес: все различия между ними связаны с различиями индивидуального развития и условий жизни.

Близнецовый метод позволяет оценивать роль наследственности и окружающей среды в развитии признаков. Для получения достоверных выводов собирают информацию по многим сотням пар близнецов. Сравнивая идентичных близнецов, воспитанных раздельно, можно оценить генетический потенциал признаков и их ненаследственные модификации.

Другой метод – сравнение уровня сходства между близнецами двух типов. Если признак целиком определяется наследственностью, то у однояйцовых близнецов обнаружится полное сходство, а у разнояйцовых – различие, определяемое законами расщепления генов. Так наследуются, например, группы крови. Если наследственность не участвует в определении признака, то различия в парах как однояйцовых, так и разнояйцовых близнецов должны быть одинаковыми. Выяснено, что цвет глаз, например, в малой, а косолапость – в большой степени определяется внешними условиями. Развитие большинства признаков – таких как умственные и физические способности – сильно зависит от обоих факторов.

Цитогенетические исследования

- Какие возможности даёт изучение кариотипа?

Цитогенетический анализ заключается в исследовании числа и строения хромосом – *кариотипа* человека. Их наблюдают в клетках тканей, фиксированных в момент метафазы митоза. Дифференциальное окрашивание специальным набором красителей позволяет определить каждую из 23 пар хромосом человека по их длине, соотношению размеров плеч и особенностям поперечной исчерченности. Находя аномалии в числе и строении отдельных хромосом, цитогенетик может соотнести их с генетической картой и установить, на какие признаки может повлиять данная аномалия.

Хромосомные аномалии, связанные с ошибками в мейозе при образовании яйцеклетки, вызывают смерть или тяжёлые пороки развития. Появление лишней X-хромосомы у мальчиков и недостаток одной X-хромосомы у девочек часто влечёт за собой серьёзные отклонения в развитии, в том числе умственную отсталость и недоразвитие половых признаков. Появление лишней 21-й хромосомы вызывает *синд-*

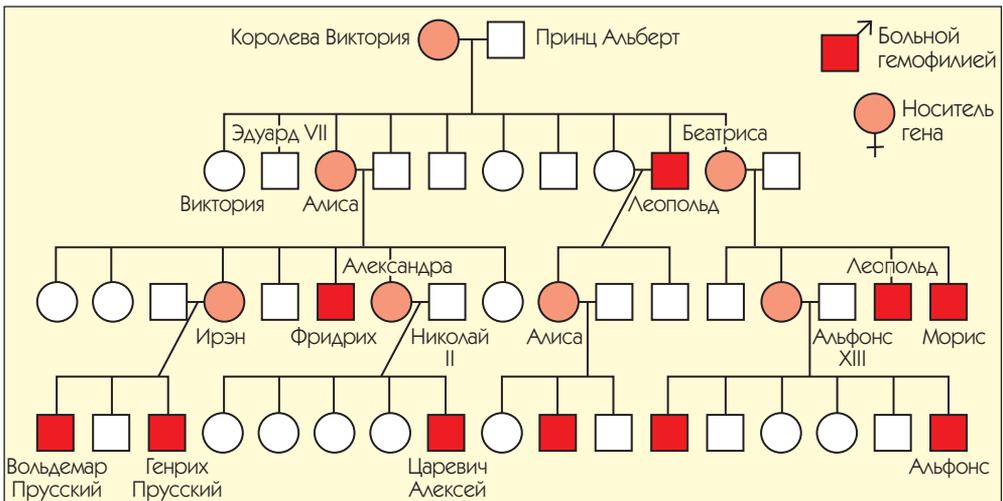
ром* Дауна, включающий, наряду со многими отклонениями, умственную отсталость. Эмбрионы с любой другой (не 21-й) лишней аутосомой также образуются, но, как правило, погибают на ранних стадиях развития.

Хромосомные аномалии встречаются, к сожалению, относительно часто: примерно один раз на 300 родов. У поздно рожаящих женщин доля подобных аномалий в несколько раз выше. Дело в том, что в организме девочки уже при рождении содержатся все яйцеклетки (точнее, ооциты), которые она способна образовать, но мейоз в них не завершается до момента оплодотворения. Не зря говорят, что к материнству надо готовиться с рождения.

Генеалогия – составление родословных

- Какие признаки успешно выявляются изучением генеалогии семьи?

С помощью *метода составления родословных* (генеалогии) изучают закономерности наследования признаков: цвета глаз и волос, рисунка на пальцах, групп крови, признаков **наследственных болезней**. Благодаря хорошо известной родословной европейских монархов учёные установили закономерности наследования гемофилии – болезни, при которой кровь человека теряет способность свёртываться (рис. 34.1). Такие болезни редки, но их общее количество велико.



34.1. Генеалогическое древо царствующих домов Европы

- Как наследуется гемофилия? Почему среди больных гемофилией практически нет женщин, а среди здоровых носителей – нет мужчин? (§ 26)

* Синдром – закономерное сочетание признаков (симптомов), имеющих общий механизм возникновения.

Летальные гены

- Чем опасны близкородственные браки?

Если ген, кодирующий жизненно необходимый белок, мутирует, то он теряет способность производить этот белок и превращается в *летальный ген*. Организм, гомозиготный по этому гену, обречён на гибель. В гетерозиготном состоянии летальные гены могут частично или полностью маскироваться деятельностью второго, нормального аллеля. Так они передаются потомкам и распространяются в популяции достаточно широко. Для человека известны тысячи таких аллелей: это «генетический груз» неудачных мутаций. Подсчитано, что в среднем человек гетерозиготен приблизительно по 30-ти летальным рецессивным генам.

Ещё во времена зарождения человеческой культуры во многих обществах параллельно возникли запреты на браки между близкими родственниками – двоюродными и тем более родными братьями и сёстрами. Впоследствии, с возникновением цивилизации, такие браки стали попросту запрещены законом. Они с древности назывались кровосмешением и осуждались всеми мировыми религиями. Лишь генетика дала объяснение этим запретам.

Близкие родственники могут быть носителями одних и тех же летальных генов, так что их дети имеют большие шансы получить эти аллели от обоих родителей. Поэтому частота наследственных болезней среди потомства двоюродных братьев и сестёр составляет 11% – против 4,5% при неродственных браках.



Ребёнок двоюродных брата и сестры получит по $1/2$ своего генотипа от каждого из них, по $1/4$ – от их родителей, по $1/8$ от каждого из бабушек и дедушек. С вероятностью $1/16$ это будет один и тот же из пары гомологичных аллелей от общей бабушки и с такой же – от общего дедушки. Итого, у ребёнка $1/8$ генотипа (плюс статистическая погрешность), скорее всего, будет представлена одинаковыми аллелями общих родственников.

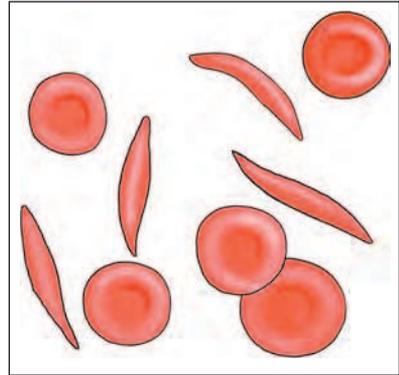
Биохимические методы

- В каких случаях особенности генотипа можно установить биохимическим анализом?

Многие патологические состояния человека связаны с нарушением обмена веществ. Биохимический анализ крови позволяет установить избыток или недостаток определённых ферментов в организме больного и определить, имеет ли он врождённые причины.

Такие нарушения обычно связаны с генными мутациями. Вот несколько примеров. *Фенилкетонурия* – рецессивная мутация гена 12-й хромосомы – вызывает избыток производства одной из аминокислот (фенилаланина). При отсутствии строгой диеты, исключаящей содержащее это вещество продукты, у ребёнка может развиваться умственная

отсталость. *Серповидно-клеточная анемия* – генная мутация, которая в гомозиготном состоянии вызывает шлейф таких тяжёлых последствий, что часто приводит к смерти. Носители болезни в гетерозиготном состоянии обладают повышенной чувствительностью к недостатку кислорода. *Альбинизм* – рецессивная мутация, вызывающая врождённое отсутствие пигмента в коже, волосах и радужине глаз. У такого человека красные глаза и розовая кожа из-за просвечивания капилляров. Лишённая пигмента кожа имеет ослабленную защитную функцию, поэтому её обладатель более подвержен инфекционным заболеваниям.



34.2. Форма эритроцитов при серповидно-клеточной анемии нарушается

Молекулярная генетика

- В чём сущность молекулярных методов генетики?

Современные методы молекулярной генетики определяют последовательность нуклеотидов в ДНК хромосом. При сравнении ДНК разных людей удаётся установить степень их родства. Такая практическая задача часто возникает не только в медицинских, но и в юридических целях, в ходе судебно-медицинской экспертизы.

Важнейшее значение имеет последовательная расшифровка всех генов человека в работе по программе «Геном человека». Сравнение ДНК человека и животных позволяет судить об их эволюционном родстве. Так, геном человека на 98% сходен с геномом шимпанзе, немногим меньше – с геномами других млекопитающих. Значит, на примере животных можно изучать воздействие на человека многих болезнетворных организмов и лечебных препаратов, исследовать возможности геной инженерии.

Генетика и здоровье человека

- Как можно снизить вероятность генетических заболеваний?

Как мы убедились, генетические заболевания в лучшем случае накладывают тяжёлый отпечаток на всю жизнь. Тем более печально, что наша собственная хозяйственная деятельность увеличивает частоту наследственных нарушений. Необходимо знать, что к наиболее опасным мутагенам относятся радиоактивное излучение и химическое загрязнение среды. Важнейший фактор охраны генетического здоровья – забота о чистоте среды обитания человека.

Кроме того, важно заботиться о личной гигиене, проверяя безвредность воды, продуктов питания, косметических и лекарственных препаратов. Любители «бронзового загара» должны учитывать, что и ультрафиолетовое излучение обладает мутагенным действием.

Однако ничто так не опасно будущему потомству, как вредные привычки родителей. Курение, употребление алкоголя и особенно наркотиков будущими родителями резко повышают вероятность точечных и хромосомных мутаций. В частности, именно по этим причинам нарушается протекание мейоза в ооцитах будущей матери. Надо иметь в виду, что такие нарушения не исправляются, а накапливаются в течение жизни.

Лечение наследственных болезней

- В чём заключается лечение генетических заболеваний?

Эффективное лечение обычных заболеваний предполагает выздоровление. Наследственную болезнь так не вылечить: даже при помощи генной инженерии невозможно исправить генетический дефект во всех половых клетках, не говоря уже о всех клетках тела. В данном случае лечение предполагает облегчение участи больного. Здесь определяющую роль имеет знание биохимической природы той или иной наследственной болезни. Биохимическую недостаточность можно компенсировать лекарственным препаратом. Биохимическую избыточность – специально подобранной диетой.

Но возможна и генная терапия, которая пока находится ещё в зачаточном состоянии. Например, у юноши, больного гемофилией, из кожи можно выделить клетки соединительной ткани. С помощью методов генной инженерии в них вводится ген свёртываемости крови. Затем создаётся культура таких «вылеченных» клеток, которые возвращаются в тело больного. Эти клетки приживаются, и симптом несвёртываемости крови ослабевает.

Медико-генетические консультации

- Как можно снизить вероятность генетических заболеваний?

Рождение больного ребёнка не только обрекает его на страдания, но и делает сложнее жизнь всех его близких. С ростом биологической образованности всё больше семей осознают такую ответственность и обращаются в медико-генетические центры, чтобы уменьшить риск рождения ребёнка с генетическими аномалиями. Врач-генетик изучает сведения о болезнях родственников, проводит цитогенетический и биохимический анализ тканей будущих родителей и определяет величину такого риска.

Если этот риск велик, то на ранней стадии беременности по пункции околоплодной жидкости имеется возможность получить важную информацию о генетических нарушениях у эмбриона и избежать рождения больного ребёнка. Лишь немногие дефекты эмбриона в настоящее время удаётся исправить. Однако часто повторная беременность может быть удачной. Если же генетические дефекты родителей неоправданы, врач посоветует взять приёмного ребёнка. Детей, лишённых попечения родителей, увы, ещё немало.

Дополнительная генетическая проблема возникает, если мать и ребёнок различаются по генам резус-фактора крови, так как может развиться иммунная реакция отторжения. К счастью, этого легко избежать, если генотипы родителей известны заранее.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Знание законов генетики и использование специальных методов позволяют изучать генетические особенности человека. Наследственные болезни не поддаются полному излечению и представляют опасность для потомков. Их профилактика основана на медико-генетическом консультировании населения и призвана препятствовать распространению наследственных заболеваний в человеческих популяциях.

Наследственные болезни. Медико-генетическая консультация

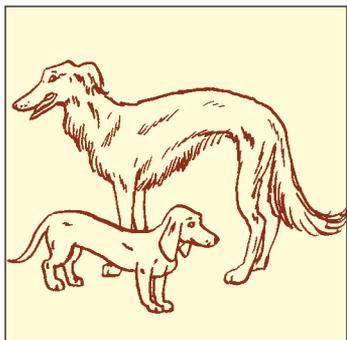
ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Как генетика может помочь людям, если наследственные болезни нельзя полностью вылечить?
- Какие методы позволяют изучать закономерности наследования у человека?
- Какое генетическое объяснение имеет запрет на родственные браки?
- Какие генетические нарушения могут вызвать наследственные болезни?
- Как вы считаете, какую главную мысль хотели донести до читателей авторы в этом параграфе?
- Какие этические проблемы должны, на ваш взгляд, мешать проведению генетических исследований на человеке?
- В чём заключается ответственность будущих родителей перед их будущими детьми?
- Определите, какими должны быть родители, чтобы у их детей проявились признаки, указанные в таблице.

Признак	Тип наследования	
	доминантный	рецессивный
Цвет глаз	Карий	Голубой
Острота зрения	Близорукость	Нормальное
Наличие веснушек	Имеются	Отсутствуют
Узор на коже пальцев	Эллиптические	Циркулярные

§ 35–36. Селекция – искусственная эволюция

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Возраст человека разумного – 100 тысяч лет. За этот период может образоваться новый биологический вид.

Факт 2. Возраст одомашнивания собак – около 12 тысяч лет. За этот период человеком было создано около 400 пород собак, резко отличающихся как по размеру, так и по внешнему виду.

- Предложите проблему урока и сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Повторяем термины: селекция, сорт, порода, штамм, искусственный отбор, гибридизация. (9 класс)
- Какие факторы эволюции выделял Ч. Дарвин? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Селекция

- Что такое селекция?

Селекция – наука о создании искусственных разновидностей организмов: сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. Слово «селекция» (лат. *selectio*) означает «отбор» – и действительно, в основе любого селекционного процесса лежит искусственный отбор. Отбирая для размножения лучшие экземпляры растений и животных, человек коренным образом изменяет диких родоначальников, создавая новые формы живых организмов. **Сорт** растений, **порода** животных и **штамм** микроорганизмов – всё это созданные в результате селекции искусственные популяции организмов, устойчиво обладающих заданными наследственными свойствами.

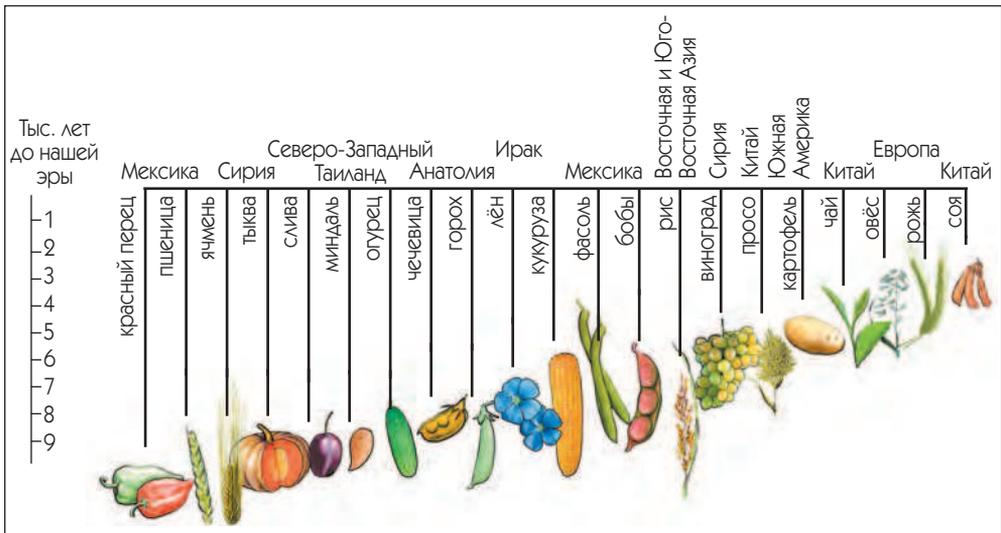
Селекция как практическая деятельность

- Каковы результаты донаучного этапа селекции?

Селекция как род деятельности человека начала формироваться ещё на заре человеческой культуры. Все культурные разновидности произошли от диких предков. На первых порах люди просто отбирали особей, способных к существованию рядом с ними. Ухаживая за животными и растениями, человек заботился о сохранении и развитии нужных ему признаков, а не о приспособленности этих организмов к существованию в природе. Такой подход уже в начале окультуривания резко

увеличил разнообразие форм и снизил их приспособленность. Многие современные культурные формы изменены очень сильно: они приобрели и развили новые качества, но совсем утратили многие дикие признаки и возможность существования в природе.

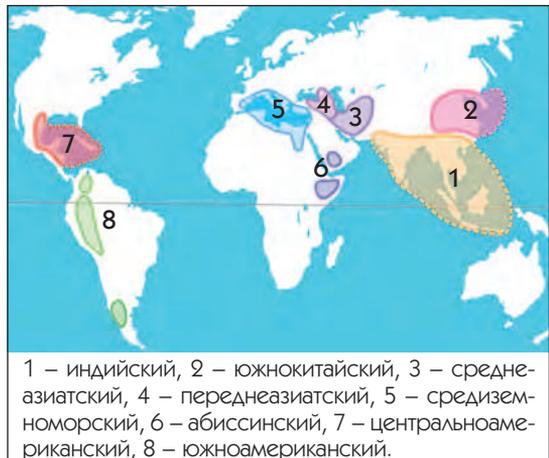
Из растений первыми около 10 тыс. лет назад были введены в культуру хлебные злаки: ячмень, просо, сорго, рожь, рис и пшеница. Культуры подсолнечника и сахарной свёклы известны лишь с XIX в. Всего одомашнено не более 0,1% видов высших растений (рис. 35.1). Остальные виды хранят огромный запас генетической изменчивости, бесценный для селекционеров будущего.



35.1. Хронология возделывания культурных растений

Для выведения новых разновидностей необходимо было найти источники разнообразия признаков растений и животных, введённых в культуру. Выдающийся вклад в развитие представлений о центрах происхождения культурных растений внесли Николай Иванович Вавилов и его сотрудники. Они обследовали

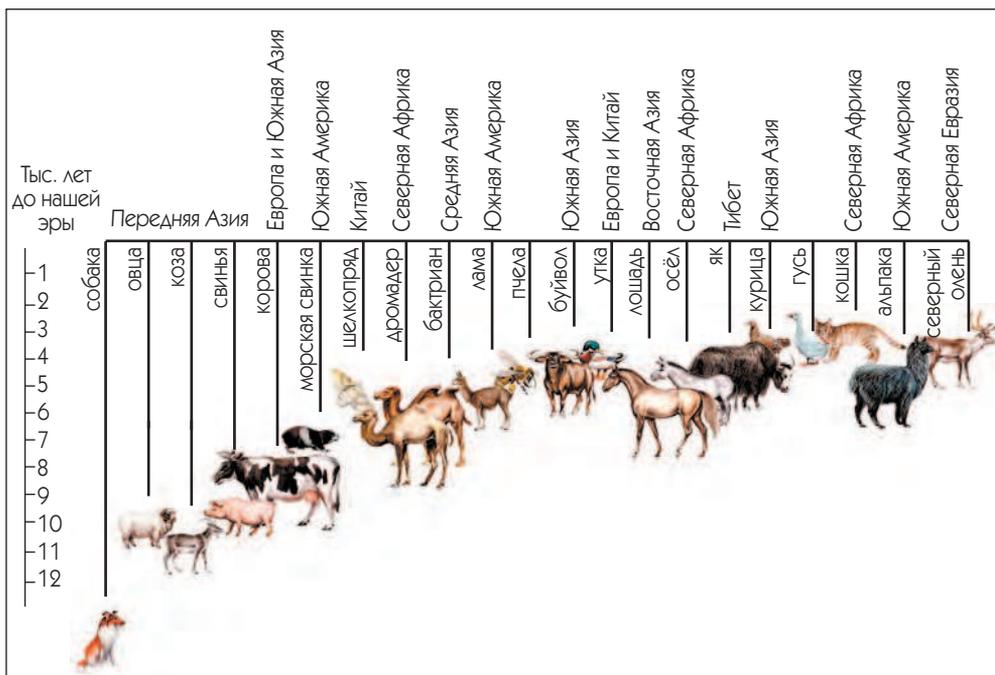
35.2. Карта основных географических центров происхождения культурных растений



древние земледельческие цивилизации по всей планете и нашли основные центры происхождения культурных растений (рис. 35.2). Ими собрана богатейшая коллекция культурных растений и близких к ним видов, которая до сих пор служит основой для подбора признаков, используемых для выведения сортов с новыми свойствами. Образцы собранных ими семян постоянно пополняются, воспроизводятся на полях опытных станций и являются исходным материалом для селекционной работы.

Первыми домашними животными около 10 тыс. лет назад стали собака, овца и коза, позднее – другие, всего около 20 видов из многих тысяч высших позвоночных животных (рис. 35.3).

Районы одомашнивания животных, как об этом можно судить на основании данных зоологов и археологов, связаны с центрами происхождения культурных растений. Так, в районе Южно-Азиатского тропического центра были одомашнены собака, свинья, куры, гуси, утки. В районах Западной Азии впервые были одомашнены овцы, а в Малой Азии – козы. Предок крупного рогатого скота тур был одомашнен в Европе, дикой лошади – в степях Причерноморья. В американских центрах происхождения растений были одомашнены лама, альпака, индейка.



35.3. Хронология одомашнивания животных

Селекция развивалась с давних времён как вид практической деятельности человека (рис. 35.4). Благодаря ей были созданы важнейшие сорта и породы, которые позволили прокормить постоянно увеличивающееся население Земли. Изучение культурных разновидностей организмов и их диких предков сформировало базу для научного развития селекции.

Основы современной селекции

- На каких научных достижениях основано дальнейшее развитие селекции?

Мощный импульс для развития был дан теорией искусственного отбора Ч. Дарвина, объяснившего механизм создания сортов и пород. Не менее важную роль сыграло использование закономерностей наследования и изменчивости, открытых генетиками.

В основе теории биологической эволюции Ч. Дарвина и А. Уоллеса лежат три главных фактора: изменчивость, наследственность и естественный отбор. Соответственно, в рукотворной эволюции есть группа методов, усиливающих изменчивость и расширяющих исходный материал для селекции, и главный метод селекции – **искусственный отбор**, сокращающий и направляющий спектр изменчивости в желаемом направлении.

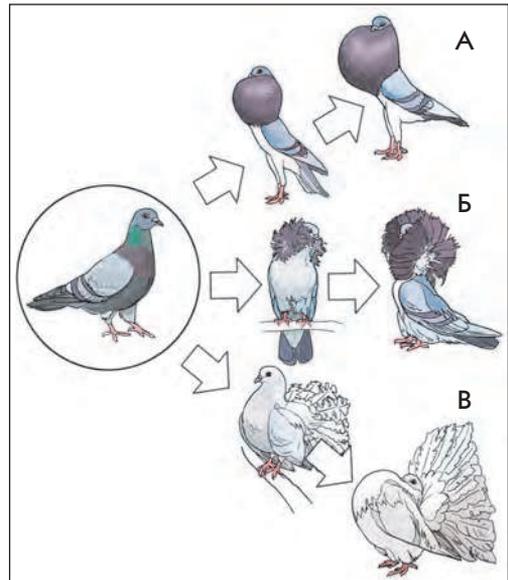
Искусственный отбор

- Какие тактики применяются при искусственном отборе?

Путём сознательного искусственного отбора селекционер добивается усиления полезных качеств и устойчивости их проявления. Выделяют два типа искусственного отбора: массовый и индивидуальный.

Массовый отбор проводится по внешним фенотипическим признакам. В каждом поколении для дальнейшего разведения сохраняют лучших производителей.

- Искусственный отбор использует в качестве материала изменчивость, свойственную виду. Не проще ли в таком случае вместо отбора просто дожидаться, пока интересующая нас форма появится сама?



35.4. Последовательные стадии селекции трёх пород голубей: А – английского дутыша; Б – якобинца; В – веерного от дикого сизого голубя

Если в ряду поколений происходит улучшение сорта или породы по признакам, по которым ведется селекция, значит, отбор был эффективным. Однако, как нам известно, не все признаки проявляются в фенотипе. Носители некоторых полезных свойств могут быть отбракованы при такой тактике отбора.

При *индивидуальном отборе* каждый потенциальный производитель исследуется более тщательно. От него получают потомство, в том числе путём инбридинга, и по нему оценивают качество генотипа. Таким образом, производителей отбирают по потомству, а затем оставляют лишь немногих для разведения в последующих поколениях. Точно так же иногда используют отдельных особей, не отличающихся особым фенотипом, только потому, что они потомки выдающихся родителей и несут их гены. Индивидуальный отбор играет особенно важную роль в селекции самоопыляющихся растений (пшеница) и организмов, разведение которых в больших количествах слишком дорогое удовольствие (например, в коневодстве).

Гибридизация

- Для какой цели селекционеры используют метод гибридизации?

Для целей искусственного разведения необходимы совершенно иные комбинации признаков, чем те, что обеспечивают выживание и размножение в дикой природе. Совместить их позволяет искусственная гибридизация особей из разных популяций и подвидов (внутривидовая гибридизация), а также разных, не слишком удалённых друг от друга видов. Совмещение необходимых признаков в гибридном организме резко расширяет материал для селекции (рис. 35.5).

Внутривидовая гибридизация, как правило, не встречает препятствий. Она оказывается тем более эффективным методом, чем более полной коллекцией разновидностей располагает селекционер. Этот принцип особенно последовательно проводил в жизнь великий селекционер и генетик Н.И. Вавилов.

Для культурных растений особенно ценны признаки высокой урожайности, высокого содержания полезного продукта (например, сахара в сахарной свекле или сахарном тростнике), неполегаяемости (что особенно важно при высокой урожайности), устойчивости к болезням, вредителям, засухе и т.п. Гены, определяющие эти признаки, «рассыпаны» в самых разных культурных и диких разновидностях. Задача селекционера – создать из них наиболее эффективный сорт, устойчивый в определённом районе возделывания и пригодный для используемых там методов агротехники.

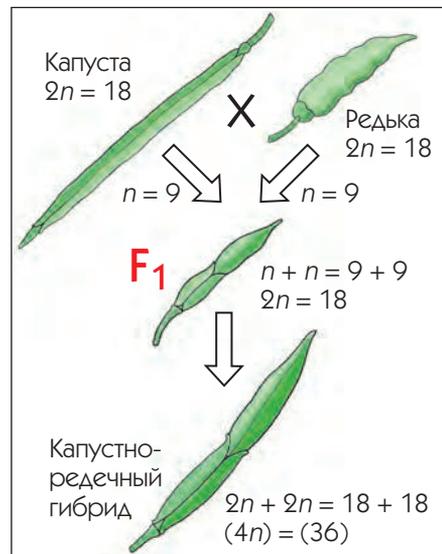
Отдалённая гибридизация

- Как удалось преодолеть барьер нескрещиваемости видов?

Очень часто недостающий признак находится лишь у другого вида. Однако **межвидовая гибридизация** обычно трудно осуществима, поскольку самостоятельность видов обеспечивается репродуктивным барьером. При скрещивании образуются гибриды первого поколения, не способные к дальнейшему размножению. Хромосомы, доставшиеся им от отца и матери, не гомологичны. Они не могут конъюгировать в мейозе и поэтому не способны образовывать нормальные гаплоидные гаметы.



35.5. Русский чёрный терьер – порода служебных собак, выведенная во второй половине XX в. в СССР путём скрещивания ризеншнауцеров, эрдельтерьеров, ротвейлеров, ньюфаундлендов и др. пород



35.6. Получение межродового капустно-редечного гибрида при скрещивании редьки с капустой

- В чём различие близкородственной и отдалённой гибридизации? Каковы трудности последней?

Эту проблему сумел преодолеть соратник Н.И. Вавилова Г.Д. Карпеченко (1899–1942). Путём специального химического воздействия на гибридные растения капусты и редьки он стимулировал образование диплоидных гамет, которые дали полиплоидное потомство (рис. 35.6). У полиплоидных гибридов гаметогенез шёл обычным путём, так как в мейозе каждая хромосома находила себе пару для конъюгации и пра-

вильного редукционного деления. В результате каждая гамета включала гаплоидный набор обоих родительских видов. Так был введён в практику метод отдалённой гибридизации с получением плодовых гибридов.

Инбридинг и гетерозис

- Какие практические выгоды приносит знание гомозиготности и гетерозиготности объектов селекции?

Для получения гомозиготных особей селекционеры применяют близкородственное скрещивание – **инбридинг**.

- Объясните самостоятельно генетический механизм этого явления.

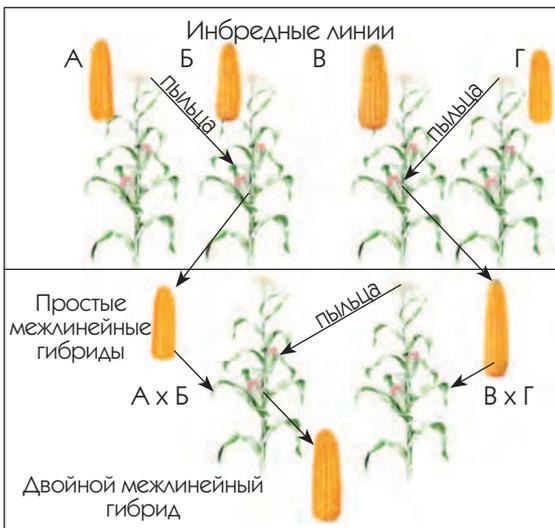
С помощью инбридинга удаётся, например, размножить редкие гены (или вновь возникшие мутации), обнаруженные у единичных особей. Инбридинг также позволяет получить фенотипы с проявлением рецессивных признаков, среди которых многие могут быть достойны внимания селекционера. Наконец, это способ получения чистых линий и выведения сортов с устойчивым проявлением полезных признаков.

- Вспомните, к каким нежелательным последствиям приводят близкородственные браки.

Чтобы избежать нежелательных последствий, чаще применяют инбридинг умеренной силы, особенно в животноводстве.

Гетерозис, или гибридная мощь, – противоположное явление. Это повышенная жизнеспособность и мощное развитие гибридов первого поколения от скрещивания отдалённых сортов. Классический пример гетерозиса при неродственном скрещивании – мул, гибрид осла и лошади. Это животное превосходит обоих родителей по силе и выносливости. Неприхотливых мулов широко используют в экстремальных условиях, например в горах.

Причина гибридной мощи состоит в одновременном проявлении множества доминантных признаков и сложении их достоинств. Если вспомнить, что многие доминантные аллели определяют синтез определённых



35.7. Получение межлинейных гибридов при производстве семян кукурузы

Причина гибридной мощи состоит в одновременном проявлении множества доминантных признаков и сложении их достоинств. Если вспомнить, что многие доминантные аллели определяют синтез определённых

белков, а рецессивные – отсутствие их синтеза, то станет понятно, почему гибриды между чистыми линиями растений резко превосходят по урожайности и устойчивости к болезням каждый из родительских сортов.

Гибридная сила максимальна у первого поколения, а у последующих заметно сокращается. Практическое использование гетерозиса в растениеводстве широко распространено и выражается в получении *гибридных сортов*. В питомнике специально выводят и поддерживают инбредные линии путём многократного самоопыления (рис. 35.7). Скрещивая их, получают гибридные семена, которые распространяют по производящим хозяйствам. Садоводам и огородникам хорошо известны такие высокопродуктивные сорта томатов, огурцов, клубники, малины. При семенном размножении они вырождаются, но вегетативно (усами, черенками) их можно поддерживать многие годы.

Полиплоидия

- Какую практическую пользу приносит управление механизмами клеточного деления?

Установлено, что выделяемое из растений вещество колхицин блокирует деление клеток на стадии метафазы, препятствуя расхождению хромосом в дочерние клетки. Так можно искусственно удваивать хромосомные наборы и получать полиплоидных потомков.

Кратное увеличение числа хромосом тоже очень часто связано с увеличением мощности и, соответственно, продуктивности растений. В самом деле, двойная, тройная, четверная доза каждого гена приводит к более высокой продукции ферментов и строительных белков, а в результате – к более интенсивному росту. Поэтому неудивительно, что большая часть культурных растений либо полиплоиды по происхождению (полиплоидны их дикие предки), либо были созданы как полиплоидные сорта. Среди них сахарная свёкла, садовая земляника, пшеница и многие другие.

Искусственный мутагенез

- Как применяется возможность искусственно повысить частоту мутирования?

Искусственный мутагенез, т.е. контролируемый человеком процесс возникновения мутаций, применяется главным образом в селекции микроорганизмов. В качестве мутагенов используют различные виды ионизирующей радиации и некоторые химические соединения.

Этот метод оказывается очень эффективным благодаря быстрой смене поколений микроорганизмов и применяется в сочетании с тщательным отбором результатов. Мутантные культуры бактерий, грибов, водорослей широко используются в производстве лекарств, витаминов, биологически активных веществ, кормов для животных.

Мутагенное воздействие применяется и к растениям. Мутации увеличивают вероятность полезных изменений, которые затем служат материалом для гибридизации и отбора. Таким путём, например, созданы сорта пшеницы с крепким стеблем, устойчивым к штормовой погоде.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Селекция – наука о создании сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов – искусственных популяций организмов, устойчиво обладающих заданными наследственными свойствами. Основные методы селекции: массовый и индивидуальный искусственный отбор, внутри- и межвидовая гибридизация, инбридинг, гетерозис, полиплоидия, искусственный мутагенез.

Селекция. Сорт, порода, штамм. Искусственный отбор.
Инбридинг и гетерозис

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Чем заняты селекционеры?
2. • В чём польза гибридизации для селекции?
3. • В чём кроется секрет высокой продуктивности гетерозисных гибридов и полиплоидных сортов?
4. • Какую роль при выведении новых разновидностей играет искусственный отбор? Является ли он необходимым?
5. • В чём состоит ценность для селекции знания центров происхождения и разнообразия культурных растений?
6. • Чем селекция и её результаты отличаются от биологической эволюции в дикой природе?
7. • Где одомашнены сорта растений и породы животных, которые использует в пищу ваша семья?

§ 37. Биотехнология

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Лена: Почему люди не используют синтез белков вне клетки? Ведь так просто было бы найти нужную последовательность нуклеотидов, сделать целую бочку копий РНК, а потом синтезировать на них колбасу, молоко, необходимые лекарства... из органических отходов.

Миша: Ну, во-первых, ты забыла, что нужно и ещё кое-что: тРНК, рибосомы, набор аминокислот, энергия в виде АТФ. Во-вторых, это ступенчатый каталитический процесс, каждый этап которого нуждается в совершенно особых условиях, созданных в клетке благодаря компартментализации. В-третьих, проблему можно решить проще...



- О какой проблеме идёт речь? Сформулируйте тему урока и сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Повторяем термины: ДНК, генетический код, ген (§ 8–9, 15, 26), вирус (§ 17).
- Где вы встречались с аббревиатурой «ГМО»? (жизненный опыт)
- Что вы читали или слышали о клонировании и генной инженерии из СМИ? (жизненный опыт)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

XXI век – век биотехнологии

- На какие отрасли хозяйства распространились биологические технологии за последнее столетие?

Биотехнология – совокупность промышленных методов получения полезных для человека продуктов (пища, лекарства) с помощью живых организмов. Термин «биотехнология» получил широкое распространение с 70-х годов XX века. Однако использование механизмов биологических процессов в промышленном производстве началось давно. Ещё с незапамятных времён человечество использовало сельскохозяйственные растения и животных для производства пищи и сырья, микроорганизмы в хлебопечении и виноделии, при производстве пива и в сыроварении. Но ещё 100 лет назад любая ферма мало напоминала промышленное производство: каждый член семьи хозяина фермы и небольшое число наёмных работников выполняли множество самых разнообразных функций, преобладал ручной труд, поэтому производительность труда была невелика.



37.1. Кукуруза – источник биотоплива

- В чём преимущество биотоплива по сравнению с продуктами переработки нефти?

мясо, антибиотики, этиловый спирт, кисломолочные продукты, но и создавать организмы с заранее заданными свойствами гораздо быстрее, чем с помощью традиционных методов селекции. Существуют биотехнологические процессы по очистке сточных вод, переработке отходов, удалению нефтяных пятен в водоёмах, получению биотоплива.

При сокращении запасов нефти в мире в качестве источника энергии может быть использовано биотопливо, получаемое в результате переработки в топливо семян рапса, кукурузы, сои, стеблей сахарного тростника (рис. 37.1). Сахарный тростник – важнейшее сырьё для производства биоэтанола, который в некоторых странах (Бразилия) является источником энергии (20%) для автомобилей.

Появляющиеся биологические технологии открывают новые возможности по производству и переработке веществ и продуктов, но одновременно создают невиданные прежде социальные и этические проблемы.

Генная инженерия

- Что такое генная инженерия и как она помогает людям?

Под **генной инженерией** понимается целенаправленный перенос генов из клетки одного организма (донора) в клетку другого организма (реципиента). В результате возникают **генетически модифицированные организмы** (ГМО). Примерами живых существ с чуждыми для данного вида генами являются бактерии, несущие человеческий ген инсулина, карпы с геном роста форели, хлопок с геном бактерии, делающим его устойчивым к хлопковой совке.

С помощью генной инженерии можно улучшать сорта культурных растений и породы домашних животных; создавать новые лекарства, а прежние производить в больших количествах и гораздо дешевле, чем

Позже ситуация стала меняться. Механизация сельского хозяйства потребовала повышения квалификации работников, появление сложных сельскохозяйственных машин было рентабельным только при укрупнении хозяйства. В результате на смену фермам стали приходиться фабрики по производству яиц и куриного мяса (птицефабрики), молока, мяса и т.п.

Биотехнология позволяет не только получать важные для человека продукты, например

при традиционном фармацевтическом производстве; можно выявлять, предсказывать и лечить в наше время некоторые, а в будущем – многие наследственные болезни.

Целью использования генной инженерии в селекции растений является повышение их урожайности, содержания витаминов и важных аминокислот, устойчивости к болезням, вредителям и гербицидам, холодо- и засухоустойчивости.

Среди животных наиболее известны генетически модифицированные карпы, набирающие вес со скоростью форели и достигающие очень крупных размеров. Широко используется кормление и лечение домашних животных генетически модифицированными продуктами. В странах Северной Америки используют генную инженерию и для производства гормонов роста домашних животных, но в Европе применение таких гормонов запрещено.

В пищевой промышленности генно-модифицированные организмы используются для производства пищевых добавок и ферментов, в частности для переработки мяса и молока, пивных культур и т.п.

Кроме упоминавшегося инсулина для диабетиков, с помощью генной инженерии получают интерферон, помогающий при многих вирусных инфекциях и некоторых раковых заболеваниях, вакцины против гепатита В и полиомиелита. Наконец, научились вводить ген свёртываемости крови в клетки соединительной ткани больного гемофилией, снимая симптомы болезни (см. § 29, 34). Аналогичным образом лечится и серповидно-клеточная анемия. Достоинство такого рода вакцин ещё и в том, что они не содержат болезнетворного начала и потому не могут спровоцировать заболевание, что изредка случается при обычной вакцинации. В медицине генная инженерия особенно эффективна для ранней диагностики вирусов и возбудителей бактериальных инфекций. Это, в частности, касается возбудителей ВИЧ-инфекции (СПИДа) и гепатита В.

Нерешённые проблемы

- Что мешает использованию генной инженерии и кто должен найти выход?

Генная инженерия является предметом острых дискуссий в обществе. Некоторые опасаются, что генетически модифицированные организмы могут выйти из-под контроля человека и их новые гены будут перенесены на другие организмы. Например, сорняки приобретут устойчивость к гербицидам, болезням и засухе и превратятся в «суперсорняки», с которыми будет трудно бороться. Употребление ГМО в пищу скептики считают рискованным.

На самом деле ГМО отличаются от традиционных сортов только методом получения – в итоге и те и другие содержат мутантную ДНК,

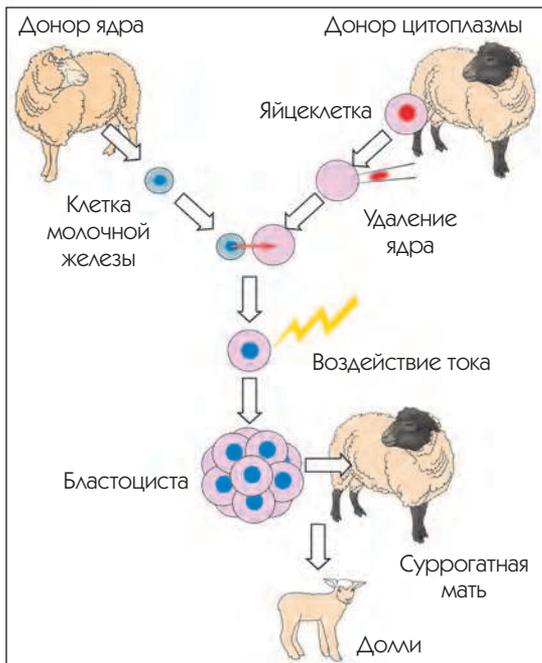
которая не может «помнить» причины мутаций. Конечно, ГМО не должны содержать новых генов, влияние продуктов которых на организм человека не изучено, – и это строго контролируется. Напомним, что пища, попавшая нам в желудок, подвергается разрушению до элементов, которые входят в состав всех живых организмов с любым генотипом. Так, гены прокариот и эукариот всасываются в кровь в виде отдельных нуклеотидов, а белки – в виде аминокислот. Однако люди опасаются ГМО настолько, что многие страны приняли законодательное требование к производителям пищевых продуктов: указывать на этикетках, использованы ли ГМО при их изготовлении.

Определять степень риска и необходимые средства защиты должны специалисты-биологи, а обсуждение этических норм и юридических последствий генной инженерии – задача общества.

Клонирование организмов

- Как осуществляется клонирование и какие перспективы использования имеет этот метод?

Создание многочисленных генотипических копий одного индивидуума называют **клонированием**. Сравнительно просто устроенные организмы, размножающиеся бесполом способом, могут многократно повторять удачные генотипы в потомстве. Однако у позвоночных и других



37.2. Клонирование овцы Долли

сложно устроенных животных этот процесс естественным путём не происходит. Наука позволяет решить эту проблему.

Удачные образцы растений можно размножать вегетативным способом и таким образом многократно увеличивать их число. Кроме того, клетки растений сохраняют способность к смене специализации в течение жизни, поэтому в подходящих условиях каждая клетка может дать начало целому организму. Впервые опыт клонирования моркови из клетки корнеплода был осуществлён в начале 1960-х.

Клонирование высших животных – значительно более трудная процедура. Впервые

такой успешный эксперимент был осуществлён в 1970 году со шпорцевой лягушкой. Ядро яйцеклетки было заменено на ядро из соматической клетки взрослой лягушки. Таким образом, были получены головастики и взрослые лягушки путём клонирования отдельных соматических клеток. Наконец, в 1996 г. в Шотландии методом клонирования из клетки эпителия молочной железы успешно вырастили знаменитую овечку Долли (рис. 37.2).

Клонирование – перспективный метод селекции домашних животных. На ранних стадиях развития (при дроблении зиготы на 8–16 бластомеров) клетки эмбриона телёнка ещё не специализированы. Их можно разделить, имплантировать нескольким коровам-кормилицам и вырастить из каждой клетки полноценных телят. Таким способом можно создать множество идентичных копий одного выдающегося производителя.

Клонирование клеток и органов

- Чем поможет людям исследование этой проблемы?

Кроме того, можно клонировать отдельные клетки. Создав культуру неспециализированных клеток, содержащих генотип целого животного, их можно размножить в искусственной среде в течение долгого времени. Таким способом можно сохранять ценный генотип гораздо дешевле, чем путём содержания целого животного, например быка. Наконец, культура клеток позволяет изучить реакцию данного генотипа на воздействие некоторых химических агентов, например лекарственных препаратов. Это также намного дешевле и быстрее, чем продельвать то же самое на группе животных. Все эти примеры говорят о том, что мы стремительно приближаемся к эпохе клеточной селекции многоклеточных организмов.

Если клонирование тканей животных проходит удачно, то почему бы не использовать его в медицине? Сейчас люди, потерявшие жизненно важный орган в результате несчастного случая или болезни, могут рассчитывать на пересадку органа от другого человека, только что погибшего от травмы. Увы, шансы на то, что иммунная реакция организма не приведёт к отторжению чужих тканей, невелики. Нельзя списывать со счетов и этический аспект: ведь приходится полагаться на трагическую случайность как единственную возможность спасти другую жизнь.

Клонирование клеток пациента открывает новые возможности. Вместе с тем это задача невероятной биологической сложности. Клетки-родоначальники должны быть неспециализированными. Такие клетки – *стволовые клетки* – найдены теперь не только у эмбрионов. Их дифференциация в ткани нужного органа, однако, требует полного знания того, как управляется развитие в онтогенезе. Существование органа обеспечивается взаимосвязями с целым организмом посредством нервов, кровеносных сосудов и т.д. Помимо этого, искусственный орган должен формироваться

в определённом каркасе, чтобы приобрести нужную форму, но тогда его невозможно будет отделить от каркаса для пересадки.

Решение этих вопросов требует усилий всего общества в виде законодательных и финансовых мер, а также организации научных исследований. Учёные, вставшие на этот путь, в 2006 г. совершили первую операцию по пересадке пациенту мочевого пузыря, выращенного из его собственных клеток.

Этические аспекты биотехнологии

- Как вы относитесь к проблеме клонирования человека?

Развитие биотехнологии ставит перед человечеством много серьёзных этических вопросов и вызывает острые дискуссии. О некоторых из них мы уже говорили. Всё это не может не волновать людей. Некоторые считают, что человек не имеет права переделывать живые организмы ради собственного блага. Другие возражают им, мотивируя тем, что существование человечества было бы невозможно без выведения высокопродуктивных сортов растений и пород животных.

Ещё больше вопросов вызывает применение современных технологий к «исправлению» генома человека. Очень важно, чтобы человек имел всю полноту информации о своём здоровье и перспективах вылечивания, чтобы он мог принимать осознанное решение, соглашаясь на лечение или отказываясь от него. Кроме того, важно, чтобы ни одна личность не могла быть подвергнута дискриминации на основе информации об особенностях её генома.

Введение в клетки человека чужеродного генетического материала может иметь отрицательные последствия в результате нарушения работы генов. Особый риск будет в случае внедрения генов в половые клетки, так как при этом можно навредить не только данному человеку, но и всем его потомкам. Вот почему в статье 13 «Конвенции о защите прав и достоинства человека в связи с применением достижений биологии и медицины» (1997 г.) говорится: «Вмешательство в геном человека, направленное на его модификацию, может быть осуществлено лишь в профилактических, диагностических или терапевтических целях и только при условии, что оно не направлено на изменение генома наследников данного человека». Заметим, что изменить геном всех клеток взрослого человека или уже родившегося ребёнка не представляется возможным.

Однако самым острым на данном этапе развития биотехнологии является спор о возможности клонирования человека. Запрет на клонирование человека введён в подавляющем большинстве стран (в марте 2010 года в России) в первую очередь по этическим соображениям. Становление личности человека зависит далеко не только от его генетической конституции, но и прежде всего от взаимоотношения с его социальным окружением. Поэтому при любом клонировании повторить

личность человека невозможно. Все крупные религиозные конфессии мира осуждают любое вмешательство в процесс воспроизводства человека, настаивая на том, что зачатие и рождение должно происходить естественным путём. Вместе с тем несколько столетий назад высказывались возражения и против лечения человека после рождения.

Запрет на клонирование связан как с этическими, так и с технологическими проблемами. Пока опыты по клонированию организмов не очень результативны (бедная овечка Долли прожила недолго), а на каждый случай успешного клонирования приходится множество неуспешных попыток. Необходимо существенно повысить выживаемость клонированных особей, выяснить, как оно сказывается на здоровье и продолжительности жизни животного. И только после создания безопасных форм клонирования животных наука, может быть, в будущем вернётся к проблеме обсуждения клонирования человека. Сейчас многие страны изменили точку зрения на исследование стволовых клеток человека и клонирование органов. Будем надеяться, что шаг за шагом мы будем находить верные и эффективные решения этих проблем – на пользу человечеству и биосфере.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Использование механизмов биологических процессов в промышленном производстве происходило давно, но лишь в 70-х годах XX века сформировалось как биотехнология – совокупность промышленных методов получения полезных для человека продуктов с помощью живых организмов. Её важными направлениями стали генная инженерия и клонирование. Под генной инженерией понимается целенаправленный перенос генов из клетки одного в клетку другого организма. В результате возникают генетически модифицированные организмы (ГМО). Клонирование – создание генетических копий организмов. Использование биотехнологий породило множество этических проблем.

Биотехнология. Генная инженерия. Клонирование. Генетически модифицированные организмы

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Каково значение биотехнологии в жизни человека?
2. ● Какие отрасли человеческой деятельности пользуются плодами биотехнологии?
3. ● В чём состоит сходство и различие в выведении новых сортов методами традиционной селекции и генной инженерии?
4. ● Какие области биотехнологии, на ваш взгляд, безопасны для человечества, а какие – представляют опасность? Докажите научную состоятельность ваших опасений.
5. ● Поработайте в паре: пусть один приводит доводы за проведение опытов по клонированию животных и даже человека, а другой – против. Затем поменяйтесь ролями.



§ 38. Индивидуальное развитие. Генетика. Повторение

Вопросы для повторения

1. • Какие преимущества и недостатки имеют различные типы размножения? Какие типы сопровождаются митозом и мейозом?
2. • Как связаны друг с другом половое размножение, мейоз, гаметогенез, оплодотворение?
3. • Как наследственность влияет на индивидуальное развитие?
4. • Какие преимущества и недостатки имеют прямое и непрямое развитие? Зачем нужно эмбриональное развитие?
5. • Какие периоды онтогенеза называют критическими и какие опасности подстерегают человека в эти периоды?
6. • Как связаны понятия «ген», «аллель», «гомозигота» и «гетерозигота»?
7. • В чём заключается правило единообразия гибридов первого поколения, правило доминирования и явление неполного доминирования?
8. • Чем определяется независимое комбинирование аллельных и неаллельных генов?
9. • В чём причина сцепленного наследования? Почему оно не является абсолютным, а происходит лишь с некоторой вероятностью?
10. • В чём сходство анализирующего скрещивания и хромосомного определения пола?
11. • В чём ошибочность точки зрения, что каждый признак кодируется определённым геном? Какие случаи взаимодействия генов существуют? В чём их смысл?
12. • Какие проявления изменчивости вам известны?
13. • Чем наследственные болезни отличаются от остальных болезней, в чём специфика их диагностики и лечения?
14. • Какие методы используют селекционеры при выведении сортов, пород и штаммов?
15. • Какие достижения биотехнологии, по вашему мнению, будут актуальны в предвидимом будущем?

Что означают эти понятия? Бесполое и половое размножение. Гаметогенез: сперматогенез, овогенез. Оплодотворение, искусственное оплодотворение. Онтогенез или индивидуальное развитие. Прямое и непрямое развитие. Наследственность. Изменчивость. Генетика. Правило доминирования. Закон чистоты гамет. Закон расщепления. Моногибридное скрещивание. Анализирующее скрещивание. Закон независимого комбинирования. Дигибридное скрещивание. Половые хромосомы. Хромосомная теория наследственности. Взаимодействие аллельных генов: полное и неполное доминирование, множественный аллелизм. Взаимодействие неаллельных генов: комплементарность, эпистаз, полимерия. Цитоплазматическая наследственность. Геном. Изменчивость. Генотипическая изменчивость: комбинативная, мутационная. Закон гомологических рядов. Модификационная изменчивость, норма реакции, адаптивные модификации. Наследственные болезни. Медико-генетические консультации. Селекция. Сорт растений, порода животных и штамм микроорганизмов. Биотехнология. Генная инженерия. Клонирование.



Жизненная задача 2

Название. Медико-генетическое консультирование

Ситуация. Семья хочет завести ребёнка и интересуется, каким он будет по внешности и, самое главное, будет ли он здоровым. Признаки человека наследуются по тем же законам, как и признаки всех остальных живых организмов. Зная закономерности наследования, можно предсказать облик ребёнка, предостеречь родителей от рождения больного ребёнка.

Роль. Сотрудник медико-генетической консультации.

Результат. Используя материал § 34 и Интернет, сформулируйте вопросы к членам семьи, которые позволят вам предсказать облик ребёнка (цвет глаз, острота зрения, наличие веснушек, вероятность опасных наследственных болезней).

ГЛАВА 4. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ



В этой главе вы научитесь

объяснять с точки зрения науки причины и характер биологической эволюции.

Для этого вы должны уметь:

- объяснять эволюцию органического мира и её закономерности (следствия эволюционной теории, основные положения теории естественного отбора Ч. Дарвина, синтетической теории эволюции, учения о виде и видообразовании, о путях эволюции А.Н. Северцова);
- приводить примеры приспособлений у растений и животных и объяснять их биологический смысл;
- характеризовать происхождение и основные этапы эволюции жизни;
- объяснять место человека среди животных и биологические предпосылки происхождения человека;
- характеризовать основные этапы происхождения человека.

Использовать в быту знания закономерностей эволюции.

Для этого вы должны уметь:

- использовать знания по теории эволюции для оптимальной организации борьбы с инфекционными заболеваниями, вредителями домашнего и приусадебного хозяйства.

Проверьте себя!

- Приведите сведения, которые, на ваш взгляд, убедят собеседников в том, что человек произошёл путём биологической эволюции.

§ 39. На пути к объяснению эволюции

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Гипотеза 1. Если виды организмов созданы Творцом, то и сходство между ними должно ограничиваться поверхностными чертами.

Гипотеза 2. Если виды организмов имеют общее происхождение, превращаются друг в друга или хотя бы изменяются с течением времени, то сходство между ними должно нести черты преемственности.

- Что может послужить причиной для изменения точки зрения? Какая из гипотез могла возникнуть раньше? Как проверить эти гипотезы?
- Сформулируйте вопрос для обсуждения на уроке. Сравните его с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Чем отличаются точки зрения Ж.Б. Ламарка и Ч. Дарвина? (9 класс)
- Какова роль К. Линнея в развитии биологии? (9 класс)
- Что такое систематика?
- Что такое адаптивная модификация и почему её относят к ненаследственной изменчивости? (§ 32–33)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Система организмов К. Линнея

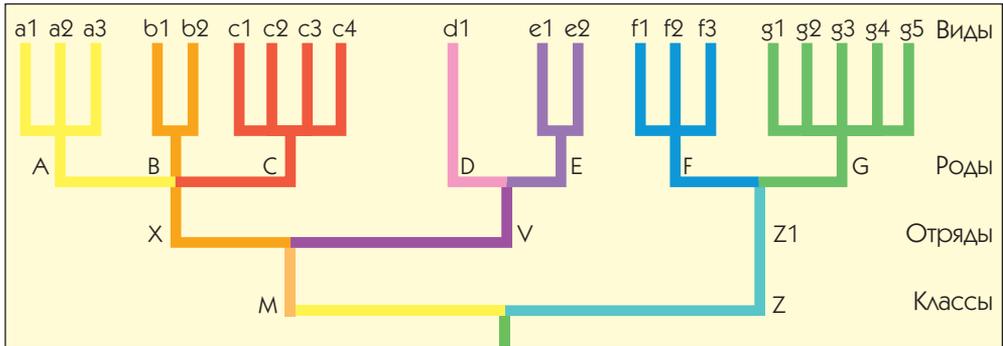
- Что значит «система организмов» и почему она плохо увязывается с Божественным сотворением разнообразия видов?

Представление о неизменяемости видов в ряду поколений берёт начало от религиозных учений о Сотворении мира, имеющих в своей основе житейский опыт: мир для человека выглядит неизменной в существенных чертах данностью, крупномасштабная эволюция на наших глазах не происходит. Но если все виды, по словам Карла Линнея (1707–1778), были созданы «в самом начале бесконечным Существом», независимо друг от друга, то их ничего не должно связывать.

Для К. Линнея сама возможность различения и диагностики видов была главным аргументом в пользу их постоянства. Однако он счёл возможным построить *иерархическую систему организмов* путём последовательного объединения близких видов по общим признакам в один род, а близких родов животных – по общим признакам в один отряд и т.д. (рис. 39.1). Построенная система явно свидетельствовала о наличии близких и удалённых друг от друга видов организмов, т.е. о наличии определённых связей между ними.

На дальнейшее развитие систематики большое влияние оказали основные подходы К. Линнея.

1. Последовательное проведение иерархического принципа соподчинения систематических категорий.



39.1. Иерархичность систематических категорий, установленная К. Линнеем

- Приведите примеры иерархически соподчинённых систематических групп среди растений или животных.

2. Отделение научной задачи построения естественной системы организмов от уточнения искусственной системы, носящей прикладной характер. **Естественная система** строится по многим существенным признакам, отражающим свойства, присущие той или иной группе организмов «по их природе», как выразился Линней. *Искусственная система* служит для определения организмов по немногим постоянным и удобным для определения признакам. К. Линней создал лучшую искусственную систему своего времени. В создании естественной системы растений он сделал лишь первые шаги.

3. Последовательное разделение функции названий и диагнозов систематических групп. Названия – «клички», по выражению Линнея, – должны быть краткими и легко запоминаемыми. Диагнозы – более пространственные характеристики систематических групп. Они либо позволяют различать виды (искусственная система), либо содержат их существенные особенности в достаточной полноте (естественная система).

4. Введение биологической номенклатуры. Высшим систематическим группам, начиная от рода и выше, предлагалось давать названия, состоящие из одного слова. Виды получали *бинарную* номенклатуру из двух слов: родового названия и видового эпитета (как, например, *Ното сариенс* – человек разумный). Во времена К. Линнея латынь была интернациональным языком науки. Поэтому все системы научных названий организмов со времен К. Линнея состоят из латинских или латинизированных слов, заимствованных из других языков. Видовой эпитет присва-

ивается виду при первом научном описании. Если оно признано научным сообществом, то данное название закрепляется за видом раз и навсегда.

Накопление фактов

- Какие факты для будущей победы эволюционного учения собрали честные учёные, не разделявшие легкомысленных, по их мнению, эволюционных воззрений?

Последователи К. Линнея находили всё больше черт сходства и закономерных различий между организмами. Идея творения не давала последовательного объяснения этим фактам. Между тем разнообразие организмов постепенно складывалось в естественную систему. Наиболее известный продолжатель его работ, Жорж Кювье (1769–1832), первым обратил внимание на важность внутреннего строения (анатомии) животных для определения их места в систематике. Он заметил, что существенные признаки сходства организмов образуют взаимосвязанные комплексы (*корреляции*). Самые крупные группы животного царства (теперь мы их называем типами) имеют общие планы строения основных систем органов. Существование четырёх не сводимых друг к другу планов строения животных было, по мнению Ж. Кювье, важным аргументом против линейной упорядоченности организмов, которую его противники считали доводом в пользу эволюции существ от простых к сложным. Наличие комплексов признаков позволило ему приступить к восстановлению облика ископаемых животных по их фрагментарным ископаемым остаткам. А это, в свою очередь, позволило Ж. Кювье последовательно включать ископаемых животных в общую естественную систему с современными животными.

К началу XIX в., благодаря успехам геологии и палеонтологии, стало ясно, что в ходе истории Земли организмы изменялись. Для объяснения этого феномена Ж. Кювье предложил *теорию катастроф*. Она гласила: медленные постепенные преобразования в истории Земли время от времени прерывались относительно кратковременными резкими переворотами («революциями», по его выражению): море наступало на сушу, или, наоборот, возникали крупные горные системы, менялся климат и т.п. Катаклизмы такого рода сопровождались новыми актами творения, с чем были связаны и крупные перемены в органическом мире. Последователи Ж. Кювье насчитали 27 таких переворотов.

На главный недостаток теории катастроф указал великий английский геолог Чарлз Лайель, старший друг Чарлза Дарвина. Если в наше время катастрофы, или «революции» Кювье, не имеют аналогов, то мы не можем восстановить эти события. Прошлое мы способны реконструировать лишь постольку, поскольку оно сходно с событиями современности: «Настоящее – ключ к пониманию прошлого». Этот необходимый принцип, лежащий в основе любых исторических реконструкций, Ч. Лайель назвал **принципом актуализма**.

В те же годы российский учёный Карл Бэр открыл *закон зародышевого сходства*, т.е. наличие фундаментального сходства эмбрионов животных. Замечательно, что выделенные им четыре типа индивидуального развития совпали с четырьмя планами строения Ж. Кювье. Вместе с тем он обнаружил у всех многоклеточных три основных типа эмбриональных тканей (позже их стали называть зародышевыми листками), указывающих на преемственность строения всех животных.

Все упомянутые фундаментальные признаки сходства организмов требовали естественно-научного объяснения. Они получили наконец обобщённое выражение в трудах английского сравнительного анатома Ричарда Оуэна, считавшего себя учеником и последователем Жоржа Кювье, – в его представлении о *гомологиях* и *аналогиях*. Под гомологией понималось существенное, под аналогией – поверхностное сходство.

Таким образом, учёными, не разделявшими эволюционную точку зрения на происхождение организмов, были выявлены и документированы факты поразительного сходства живых организмов разных систематических групп, которые были признаны их потомками как доказательства эволюции.

Первая эволюционная теория

- Почему теория Ламарка считается первой теорией эволюции?

К началу XIX в. идея трансформизма – исторического изменения и превращения растений и животных – уже разделялась многими учёными. Но лишь Ж.Б. Ламарк (1744–1829) предпринял попытку объяснить накопившиеся факты. Он изложил свою теорию эволюции в книге «Философия зоологии», опубликованной в 1809 году.

Занимаясь систематикой животных, Ламарк расположил выделенные им 14 классов животных в виде ступеней лестницы существ (рис. 39.2) в соответствии с развитием у них нервной и кровеносной систем. Такой подход был популярен в науке ещё со времён Аристотеля, но при этом всегда последовательность читали сверху вниз, от высших ступеней к низшим. Ламарк прочёл свою лестницу существ наоборот, предположив наличие непрерывного поступательного прогрессивного движения от низших форм к высшим, которое он назвал *градацией*, или **законом градации**.

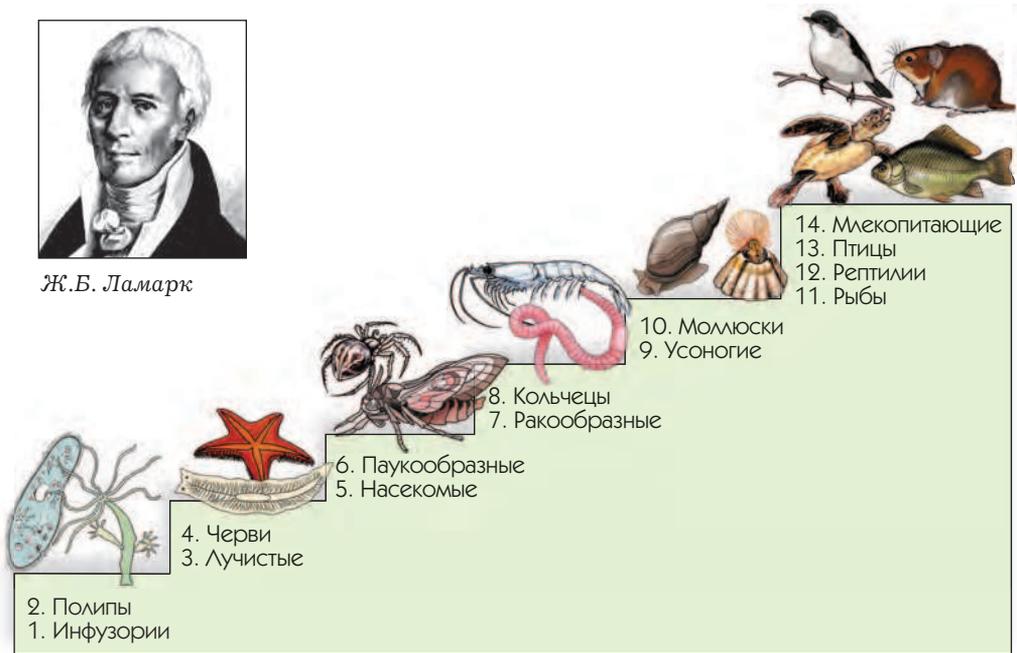
Причины градации живых организмов

- Какими причинами Ламарк объяснял изменения в органическом мире?

Для объяснения градации Ламарк предложил существование особого механизма – *стремления к самосовершенствованию*. Но почему же тогда ещё существуют просто устроенные формы? Пришлось допустить постоянное самозарождение жизни: выходит, предки сложно



Ж.Б. Ламарк



39.2. Лестница существ Ламарка

- Объясните устройство лестницы существ с позиции Ламарка и его предшественников.

устроенных форм появились на Земле раньше, вот и успели пройти длительную эволюцию по пути прогресса. Значит, самые просто устроенные формы жизни, по Ламарку, – наиболее молодые.

Закон градации предлагает объяснение прогресса в живой природе, но не даёт ключа к раскрытию феномена ошеломляющего разнообразия живого. Кошка и собака имеют одинаковый уровень организации, в чём же причина их различий? Для объяснения многообразия внутри одной ступени Ламарк предлагает другой механизм – прямое или косвенное *влияние внешней среды*.

На растения и низших животных окружающая среда влияет прямо, изменяя организм в направлении наибольшего приспособления к ней – **закон прямого влияния среды**. Так, благоприятные весенние условия (тепло, влага) приводят к распусканию листьев, осенью при похолодании листья желтеют и опадают.

На высших животных, ведущих более активный образ жизни, среда действует иначе. В реакции на её воздействие участвует нервная система. Изменение среды приводит к изменению потребностей и поведения животного. В результате упражнение органа усиливает его, а неупражнение ослабляет. В этом и проявляется действие **закона**

упражнения органа. Так Ламарк объяснял длинную шею жирафа, пытающегося достать листья с деревьев (упражнение органа), исчезновение глаз у крота в связи с подземным образом жизни (неупражнение органа).

Чтобы эти закономерности имели эволюционные последствия, приспособительные достижения родителей должны наследоваться их потомками. Поэтому теория Ламарка включает закон **наследования благоприобретённых признаков**: приспособительные черты, приобретённые родителями в процессе индивидуальной жизни, наследуются их потомками. В поддержку закона Ламарк приводил следующее соображение: белый человек загорает на солнце, приобретая тёмный цвет кожи, а у чернокожих жителей жарких стран этот признак превратился в наследственный.

Недостатки теории Ламарка

- Какие противоречия в теории Ламарка привели к тому, что она так и не была принята современниками?

Ламарк создал первую целостную эволюционную теорию, в которой противопоставил идею исторического развития живой природы господствующим идеям неизменяемости видов. Он правильно представлял общую картину исторического развития, впервые употребил термины «родство», «родственные связи» в традиционном ныне смысле – для обозначения единства происхождения живых существ. Но ошибочное определение движущих сил эволюции привело его теорию к противоречиям, несоответствию фактам и практически перечеркнуло её объяснительное значение.

Внутреннее стремление к прогрессу, «заложенное в организмах самой природой», подразумевает существование каких-то сверхъестественных сил, наделяющих организмы знанием того, к чему они должны стремиться, и способностью к достижению цели. К тому же это стремление предполагает для всех одну и ту же цель совершенства – видимо, в образе человека, стоящего на верхней ступени. Но примеры из зоологии показывают, что есть, по крайней мере, два других пути прогрессивного усложнения и развития в совершенно ином направлении: к плану строения головоногих моллюсков и насекомых.

Законы прямого влияния среды и упражнения органов также предполагают изначальную целесообразность действий: любой организм замечательным образом «знает» наперёд, как лучше реагировать на новые условия, с которыми он раньше не сталкивался. Например, существо, никогда не имевшее шерсти, попав в холодный климат, «догадывается», что нужно «одеваться».

Наивность «законов» Ламарка очевидна для современного человека. Предполагая «стремление к совершенству», Ламарк наделял живые

существа чисто человеческой способностью к разумным действиям, которой они не обладают. Теория Ламарка не способна объяснить, какие «упражнения» приводят к развитию покровительственной окраски или изменению кровеносной системы. К тому же упражнение органа должно было каким-то образом влиять на половые клетки, чтобы передаться потомству. Наследование приобретённых признаков не подтвердилось дальнейшими исследованиями биологов.

- Вспомните, чьи признаки составляют основную, наибольшую часть наследственной информации.
- Вспомните, имеют ли наследственные изменения (комбинации, мутации) приспособительную направленность.
- В любых ли условиях модификация адаптивны?
- Что наследуется: конкретная модификация или способность организма целесообразно реагировать на нормальные изменения среды?

Таким образом, доказательства эволюционной теории, выдвинутые Ламарком, оказались недостаточными, и поэтому она не получила всеобщего признания.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Гипотеза независимого творения всех видов организмов вошла в противоречие с лавиной исследований, обнаруживших глубокие черты сходства групп организмов по строению и эмбриональному развитию. Естественно-научное объяснение этим наблюдениям могла дать только теория, предполагающая изменяемость видов организмов и единство их происхождения. Ж.Б. Ламарк предложил первую эволюционную теорию, но из-за неполного соответствия фактам она не получила широкого признания.

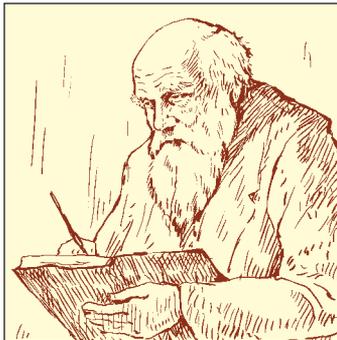
Естественная система организмов. Принцип актуализма

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Чем гипотеза независимого сотворения видов не удовлетворяла натуралистов?
2. • В чём прав, а в чём не прав оказался Ламарк в своей теории?
3. • Почему обнаружение черт фундаментального сходства у внешне непохожих организмов приводило мысли натуралистов в эволюционное русло?
4.  • Поспорьте с товарищем об изменяемости форм организмов. Пусть один из вас приводит факты в поддержку этой точки зрения, а другой – находит противоположные примеры.
5. • Почему многие люди верят в наследование благоприобретённых изменений несмотря на то, что в школе учат иному? Какие явления в окружающем мире заставляют их так думать?

§ 40. Теория, изменившая взгляд на мир

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Потомки похожи на родителей.

Факт 2. Потомки общих родителей обладают различиями.

Факт 3. Некоторые различия изменяют шансы на выживание.

Факт 4. История природы продолжалась в миллион раз дольше, чем история человеческой цивилизации.

- На минуту представьте человека, впервые сопоставившего эти факты, и мир, обсуждающий его выводы. Предложите проблему для обсуждения на уроке и сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Перечислите основные положения теории Ч. Дарвина – А. Уоллеса. Какие факторы эволюции выделял Ч. Дарвин? (9 класс)
- Какие исследования учёных стали фундаментом для построения теории эволюции Ч. Дарвина – А. Уоллеса? (§ 39)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Истоки взглядов Дарвина

- Какие наблюдения подвели Дарвина к эволюционной точке зрения?

Великий английский натуралист Чарлз Дарвин (1809–1882) родился в семье врача. Он получил хорошее образование в университетах Эдинбурга и Кембриджа. Навык полевых исследований ему передали учёные-коллеги. Большое влияние на его взгляды оказала книга Чарлза Лайеля «Принципы геологии», в которой автор проводил принцип актуализма, утверждая, что современный облик Земли складывался постепенно, под влиянием тех же сил, что действуют и сейчас. В то же время к идеям ранних эволюционистов Дарвин относился скептически.

Решающим поворотом в его судьбе стало кругосветное путешествие на корабле «Бигль». В Южной Америке Дарвин нашёл ископаемые останки гигантских ленивцев и броненосцев. Современные виды этих животных были очень похожи на вымерших, хотя и гораздо меньше размером. Это навело на мысль об их возможном родстве.

Изучая фауну Галапагосских островов, Дарвин обратил внимание на разнообразие местных видов вьюрков. Все они были очень похожи на один материковый вид, но отличались по размеру и строению клюва (рис. 40.1). Дарвин логично предположил, что на некогда пустынный архипелаг были занесены ветром немногие виды мелких птиц, которые,

постепенно изменяясь, на разных островах смогли приспособиться к питанию различными массовыми кормами.

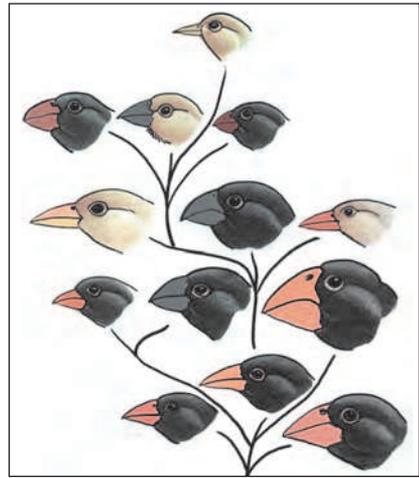
Как писал сам Дарвин, «было очевидно, что такого рода факты, так же как и многие другие, можно было объяснить только на основе предположения, что виды постепенно изменялись, и проблема эта стала преследовать меня».

Теория эволюции путём естественного отбора

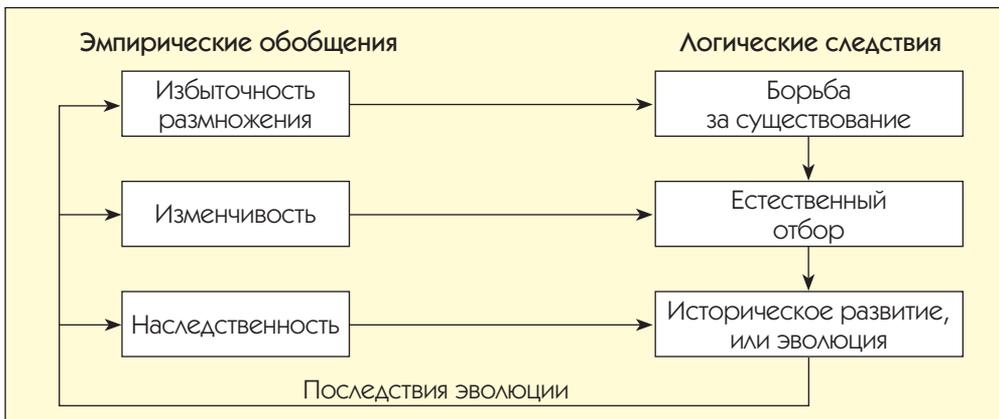
- Разберитесь с помощью схемы (рис. 40.2), в чём смысл теории Дарвина – Уоллеса.

Идея о происхождении видов путём естественного отбора возникла у Дарвина в 1838 году. Но лишь к концу 1850-х годов он счёл созданную теорию достаточно убедительной для публикации: собрал передовые научные знания, тщательно проанализировал опыт селекционеров и собственные наблюдения в природе, рассмотрел все следствия своей теории и подготовил рукопись будущей книги. И в этот самый момент, в 1858 году, молодой учёный Альфред Уоллес (1823–1913) прислал Ч. Дарвину свою статью, в которой кратко излагал ту же самую идею. Дарвин был готов отказаться от публикации, но друзья убедили, что обе работы должны быть опубликованы вместе.

Основы этой теории английские натуралисты Ч. Дарвин и А. Уоллес впервые высказали в 1858 году в Лондоне, на заседании Линнеевского



40.1. Дарвиновы вьюрки и их предполагаемые родственные связи



40.2. Схема, отражающая основные положения теории Дарвина – Уоллеса

общества. В 1859 году вышла знаменитая книга Ч. Дарвина «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствующих пород в борьбе за жизнь», в которой подробно изложена его теория эволюции. Вслед за этим Уоллес издал результаты своих исследований. Отдавая должное гению Дарвина, он назвал свою главную книгу «Дарвинизм».

Сущность теории Дарвина сводится к ряду эмпирических обобщений (положений, выведенных из фактических наблюдений) и логических следствий из них (рис. 40.2).

Борьба за существование

- Что Дарвин называл борьбой за существование и в чём видел её предпосылки?

Все организмы обладают **избыточностью размножения**: приносят больше потомков, чем тот минимум, который необходим для простого воспроизведения поколений. Дарвин писал: «Не существует ни одного исключения из правила, согласно которому любое органическое существо естественно размножается в такой прогрессии, что если бы оно не подвергалось истреблению, потомство одной пары покрыло бы всю Землю».

- Какой тип математической зависимости описывает рост численности организмов, которые размножаются при отсутствии ограничений?

Жизненное пространство любого вида живых организмов ограничено, и количество ресурсов в нём из года в год остаётся достаточно постоянным. Противоречие между избыточным размножением и ограниченностью ресурсов неизбежно приводит особей к **борьбе за существование**.

В это понятие входит вся совокупность способов выжить и оставить полноценное потомство. Выражаясь современным языком, под борьбой за существование Дарвин понимал всю совокупность взаимоотношений организма со средой обитания, т.е. всё многообразие экологических связей.

Естественный отбор

- Что служит материалом для естественного отбора и почему он никогда не прекращается?

Каждый вид организмов представляет собой совокупность особей, обладающих различиями по огромному числу признаков – видовым запасом **изменчивости**. Дарвин убедился в этом, изучая работу селекционеров. Особенно большое значение он придавал наследственной изменчивости. Теперь нам известно, что даже наиболее сходные организмы – потомки одних и тех же родителей – непременно различаются благодаря комбинативной изменчивости или хотя бы (при отсутствии полового процесса) имеют различный набор мутаций.



Ч. Дарвин выделял *определённую*, или *групповую*, изменчивость, которая возникает под воздействием факторов внешней среды у всех представителей данного вида и носит приспособительный характер. Гораздо больше Дарвина интересовала *неопределённая*, или *индивидуальная*, изменчивость, отличающая организмы друг от друга и, как правило, передающаяся по наследству.

- К какой форме изменчивости можно отнести определённую и неопределённую изменчивость?

Если хотя бы часть отличий организма влияет на успешность его выживания и размножения, то борьба за существование неизбежно должна приводить к **естественному отбору** – избирательному выживанию и размножению организмов, лучше приспособленных к среде обитания. Дарвин писал: «Как селекционер, просматривая тысячи особей, отбирает и размножает немногих лучших производителей, обладающих интересующими его признаками, так и естественный отбор ежедневно и ежечасно расследует по всему свету мельчайшие изменения, отбрасывая дурные, сохраняя и слагая хорошие, работая неслышно и невидимо, где бы и когда бы ни представлялся тому случай, над совершенствованием каждого органического существа в связи с условиями его жизни, органическими и неорганическими».

Неизбежность эволюции

- Почему признаки видов медленно, но верно изменяются в ряду поколений? Чем задаются направление и скорость этих изменений?

Всем организмам свойственна **наследственность** – способность родителей передавать потомкам свои отличительные особенности или хотя бы некоторые из них. Это следует из наблюдаемого более высокого сходства детей с родителями, чем с другими особями того же вида. (Теперь нам известны глубокие причины такого сходства.)

Если из поколения в поколение наследуются те признаки, которым благоприятствовал отбор, это с неизбежностью приводит к **эволюции** – постепенному необратимому преобразованию видов организмов в процессе смены поколений. Так как естественным отбором чаще сохраняются более приспособленные организмы, то и эволюция в целом имеет **адаптивный** (приспособительный) характер.

Дарвин назвал изменчивость, наследственность и естественный отбор основными **факторами эволюции**. Среди них изменчивость и наследственность играют пассивную роль, создавая условия для преемственных преобразований. Активная, направляющая роль в этом процессе принадлежит естественному отбору, сохраняющему только те формы жизни, которые оказались хорошо приспособлены к среде обитания. Его Дарвин выделял как *движущую силу* эволюции.

Искусственный отбор – модель эволюции в природе

- Почему механизм природной эволюции проще понять на примере искусственного отбора?

Собрав богатый материал природных наблюдений в кругосветном путешествии, Дарвин занялся изучением опыта выведения новых пород животных английскими селекционерами. Он убедился, что всё многообразие пород было получено от немногих диких предков: породы кур – от банкивской курицы, голубей – от дикого сизого голубя, крупного рогатого скота – от дикого тура и т.п.

Дарвин назвал искусственным отбором механизм, способствующий выведению новых пород домашних животных и сортов культурных растений: сохранение и размножение особей с определёнными, ценными для человека признаками (продуктивных, быстроногих, выносливых, красивых и т.п.). Беседуя с лучшим заводчиком английских борзых, Дарвин спрашивал, как ему удалось добиться столь разительных успехов. Ответ был таков: «Размножаю немногих и избавляюсь от нежелательных форм».

Результатом естественного отбора будет приспособленность к условиям окружающей среды, а результатом искусственного – соответствие хозяйственным или эстетическим потребностям человека. Искусственный отбор, более быстрый и очевидный, послужил Дарвину наглядной моделью естественного отбора.

Адаптация – результат эволюции

- Как Дарвин объяснил приспособленность организмов к среде обитания?

Естественный отбор устраняет организмы, плохо соответствующие своей среде обитания, оставляя лишь наиболее приспособленных. Они размножаются и снова подвергаются отбору. В результате все выжившие организмы обладают **приспособленностью**, т.е. совокупностью *адаптаций* – жизненно важных свойств, обеспечивающих устойчивое существование в определённых условиях среды. Таким образом, *теория эволюции путём естественного отбора дала объяснение приспособленности всех организмов к тем условиям, в которых они обитают.*

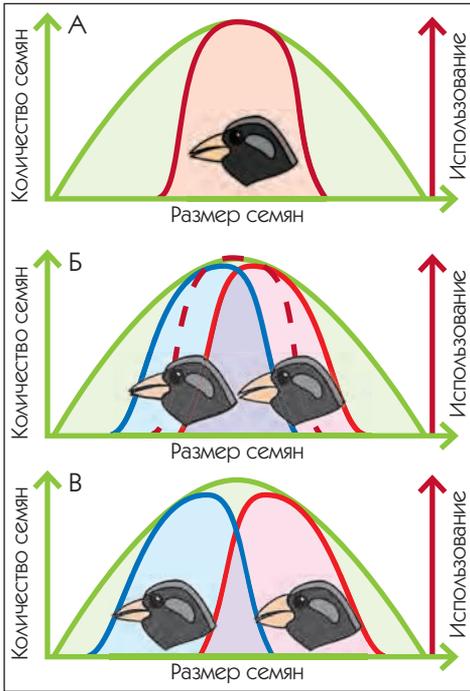
Дивергенция признаков – основа разнообразия

- Как Дарвин объяснил многообразие видов?

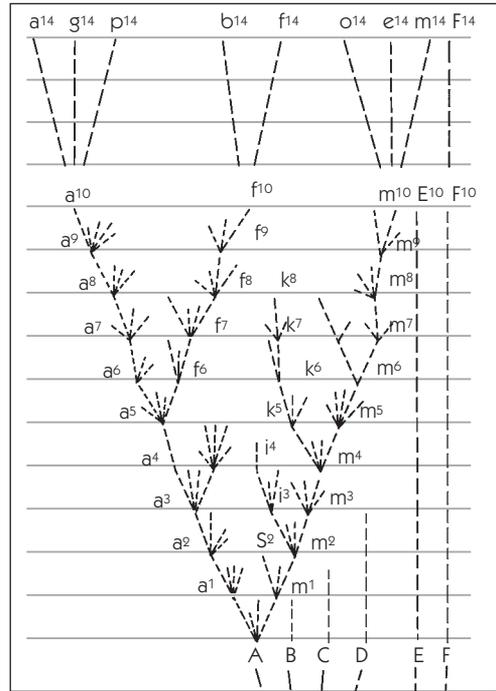
Изучая вьюрков на Галапагосских островах, Ч. Дарвин нашёл удивительно простое объяснение их разнообразию.

Предки вьюрков, заселившие острова, поначалу питались семенами средних размеров. С ростом численности птиц их потребности сравнивались с запасами кормов. Между особями, обладающими одинаковыми

жизненными потребностями, обострилась конкуренция за пищу. Изменчивость размеров клюва позволяла некоторым вьюркам дополнительно обрабатывать более мелкие семена, а другим – более крупные (рис. 40.3). Естественный отбор благоприятствовал особям с наиболее уклоняющимися признаками, способным освоить новые ресурсы, а птицы с клювом средних размеров проигрывали в борьбе за существование.



40.3. Дивергенция признаков: А – начальный этап, красной линией показано использование семян предковым видом; Б – разделение видов вьюрков: синей линией показано использование семян одним видом, красной – другим; В – почти полное разделение использования семян уменьшило конкуренцию



40.4. Схема дивергенции, нарисованная Ч. Дарвином. Интервалы между линиями соответствуют 10 поколениям. Буквами обозначены разновидности. Исходные 6 видов оставляют 9 видов потомков

- Какие формы на схеме появились в результате дивергенции?

Избирательное выживание и размножение вело к **дивергенции** – расхождению признаков в ряду потомков. Через много поколений различие между формами достигло видового уровня. Вместе два новых вида могли использовать и средние, и мелкие, и крупные семена. Их общая численность стала заметно выше, чем у исходного вида. Дивергенция по другим признакам, включая местообитание, образ жизни и распространение форм, со временем многократно увеличила число новых видов.

В книге «Происхождение видов...» Ч. Дарвин предложил принцип дивергенции для объяснения разнообразия видов, происходящих от одного общего предка (рис. 40.4). *Идея дивергентной эволюции была вторым крупнейшим достижением Ч. Дарвина.*

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

На примере искусственного отбора в селекции новых сортов и пород Ч. Дарвин доказал возможность изменения организмов в ряду поколений и нашёл механизм этого явления. Ч. Дарвин и А. Уоллес создали теорию эволюции организмов путём естественного отбора наследственных изменений. Эта теория смогла убедительно объяснить приспособленность живых организмов к среде обитания и причины многообразия форм жизни. Виды живых организмов возникли от общего предка в результате длительного и постепенного исторического развития.

Эволюция. Естественный отбор. Факторы эволюции. Приспособленность. Дивергенция

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Как связаны между собой факторы эволюции?
2. ● Каковы главные результаты эволюции и какие причины к ним приводят?
3. ● Как бы объясняли возникновение длинной шеи у жирафа Ж.Б. Ламарк и Ч. Дарвин?
4. ● Используя схему (рис. 40.2), отражающую основные идеи теории Ч. Дарвина и А. Уоллеса, объясните, как в ходе эволюции могли возникнуть: вытягивающиеся когти у кошачьих; хороший нюх у псовых; длинный хобот у слонов; способность мухи передвигаться по потолку.
5. ● В чём сходство и различие искусственного и естественного отбора?
6. ● Объясните на основе взглядов Дарвина причины увеличения разнообразия форм (исходный вид А на рис. 40.4) и неизменности форм (вид F).



● ● МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявление приспособлений организмов к среде обитания

1. Определите среду обитания растения или животного, предложенного вам для исследования (гербарные образцы растений, комнатные растения, чучела или рисунки животных). Выявите черты приспособлений к данным условиям окружающей среды (климату, другим обитателям). Докажите относительный характер этих приспособлений. Предположите, как они могли возникнуть.
2. Определите птиц вашего населённого пункта. Понаблюдайте, какие из видов птиц лучше приспособлены к обитанию в населённом пункте, т.е. встречаются в нём чаще. Постарайтесь понять, какие особенности их питания, поведения и гнездования позволили им освоить это местообитание. Опишите эти приспособления. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите результаты своих наблюдений.

§ 41. Следствия эволюционной теории

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Знаменитый натуралист Луи Агассис: Как можно судить о происхождении одних организмов от других, если его невозможно наблюдать?

Ч. Дарвин (возможный ответ): Судить о процессе можно по его последствиям. Строение и функции организма возникли не вдруг. Большинство их особенностей – наследие предков.



- На какие вопросы эволюционная теория помогла дать ответ?

Предложите основной вопрос урока и сравните его с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое гомология и аналогия? (9 класс)
- Какие факторы эволюции выделял Дарвин? (§ 40)
- Какое сходство между организмами в их строении и эмбриональном развитии обнаружили биологи в додарвиновский период? (§ 39)
- Составьте перечень фактов и закономерностей, которые в свете теории Дарвина получили объяснение и стали косвенными доказательствами эволюции.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Единство прошлого и настоящего

- Почему крупные шаги эволюции могут иметь только косвенные доказательства? Какой познавательный принцип лежит в основе этих доказательств?

Крупномасштабная эволюция жизни на Земле неповторима и ненаблюдаема ввиду краткости не только человеческой жизни, но даже существования человечества, а потому и не может быть проверена опытным путём.

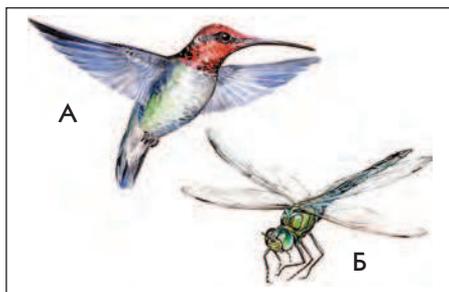
Судить о макроэволюции мы можем только *косвенно*, по её последствиям в современном органическом мире, а также по данным палеонтологической летописи, всегда неполным. В основе таких реконструкций всегда лежит *принцип актуализма*. Мы считаем, что естественный отбор всегда был основным направляющим фактором эволюции. Косвенным доказательством этого служит адаптивная направленность тех ветвей эволюции, которые хорошо документированы ископаемыми находками.

Сравнительная анатомия и морфология

- Какие доказательства эволюции получены с помощью сравнения организмов?

Самые яркие примеры фундаментального сходства организмов во времена Ч. Дарвина давала сравнительная анатомия и морфология. Главным ее обобщением стало учение о гомологичных и аналогичных органах.

Гомология – это существенное сходство органов, построенных по одному плану и развивающихся из одинаковых зачатков у разных видов животных или растений. Ярko выраженной гомологией обладают передние лапы тюленей, крылья птиц и летучих мышей и руки человека (см. также рис. 2.1, § 2, с. 14). Единый план строения, общий для крупных ветвей эволюции, включает определённый набор гомологичных органов. Причину существования гомологичных органов Ч. Дарвин видел в родстве и происхождении обширных групп организмов от общей предковой формы.



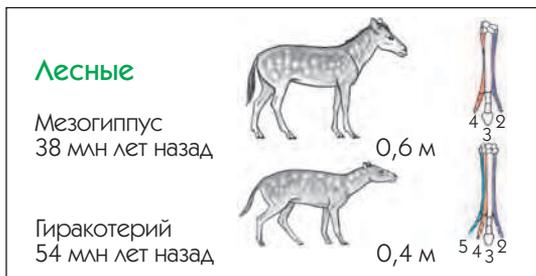
41.1. Аналогичные органы: А – крылья птицы; Б – крылья стрекозы

Аналогия – это, напротив, поверхностное сходство, обусловленное особенностями образа жизни: снаружи «чудо-юдо рыба-кит», а внутри – зверь. Анализ строения, расположения и особенностей развития аналогичных органов позволяет убедиться в том, что они развились независимо, как сходные приспособления неродственных видов организмов в сходных условиях обитания. Пример: крыло птицы и крыло насекомого (рис. 41.1).

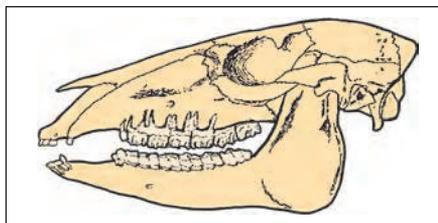
Палеонтологические данные

- В чём ценность палеонтологических находок, снабжённых датировкой?

Палеонтологические данные обладают особой убедительностью. Они документально показывают, какие стадии исторического развития проходили отдельные эволюционные ветви. Одним из самых изученных является палеонтологический ряд лошадей.



41.2. Мелкие листоядные формы

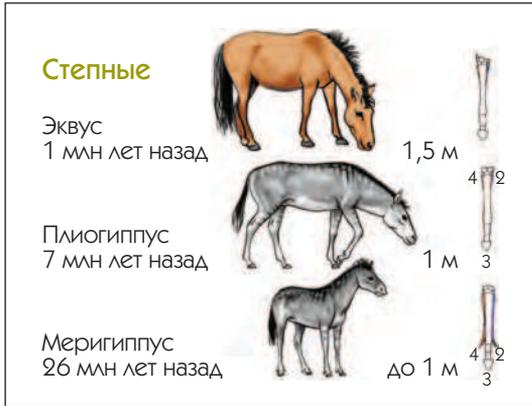


41.3. Зубы листоядной лошади с низкими коронками и коротким временем роста

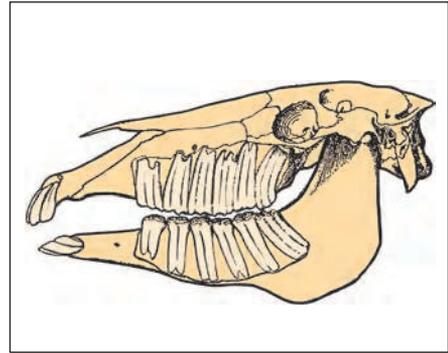
Древние предки современных лошадей жили в лесу, питались мягкими листьями растений нижних ярусов, прятались в зарослях от хищников и передвигались по мягкой влажной почве (рис. 41.2–41.3).

- Как с этими условиями жизни были связаны их опора на многопалую конечность, невысокая скорость передвижения и низкие зубы с бугорчатой коронкой?

Дальнейшая эволюция лошадей была связана с освоением открытых засушливых пространств. В пищу в новых условиях использовалась жёсткая злаковая растительность, нередко с частицами пыли и песка. Животные спасались от хищников бегством, передвигались по плотной сухой почве (рис. 41.4-41.5).



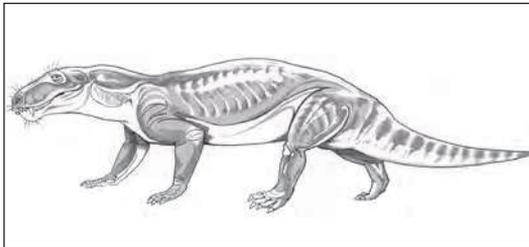
41.4. Крупные травоядные формы



41.5. Зубы травоядной лошади с высокими коронками и постоянным ростом

- С чем связан переход в засушливых пространствах к однопалой конечности, скоростному бегу, высоким зубам с постоянным ростом и гребенчатой поверхностью коронки?

Среди палеонтологических находок есть и переходные формы между крупными систематическими группами (рис. 41.6). Благодаря палеонтологии мы узнаём о «живых ископаемых», т.е. современных организмах, почти не менявшихся на протяжении огромных отрезков геологической истории (рис. 41.7).



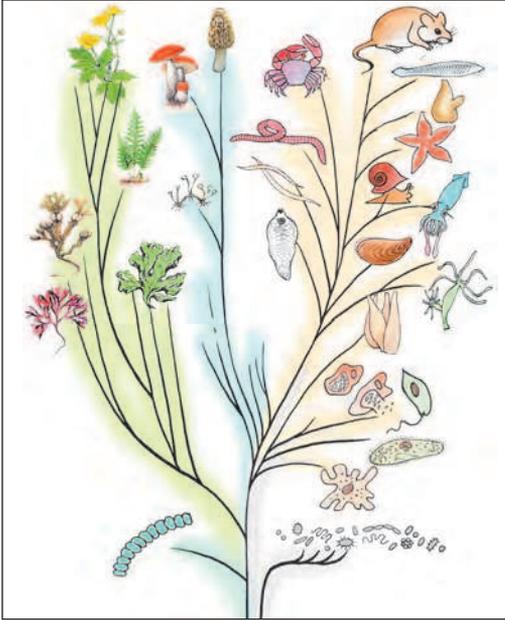
41.6. Зверозубая рептилия – переходная форма между рептилиями и млекопитающими



41.7. Утконос – «живое ископаемое»

Естественная система организмов

- Что отражает естественная система и каким образом она построена?



41.8. Эволюционное древо живых организмов

- Сравните эту схему со схемой систематических категорий К. Линнея (§ 39, с. 225) и схемой дивергенции Ч. Дарвина (§ 40, с. 237).

ствует как иерархии систематических категорий К. Линнея, так и схеме дивергенции Ч. Дарвина. Главным элементом такого древа является узел, символизирующий общего предка некой группы организмов, и расходящиеся от него ветви – родственные связи, пути эволюционного изменения его потомков.



41.9. Тупайя – промежуточная форма между насекомоядными млекопитающими и приматами

Биологический смысл *естественной системы*, по Ч. Дарвину, состоит в том, что она отражает родственные отношения между организмами, восстановленные по сходству существенных признаков. В наше время это представление стало общепризнанным, а сама система стала называться *филогенетической* (от греч. *phyle* – род, племя – и лат. *genesis* – происхождение).

Сходство видов организмов напоминает расположение веток на дереве: ближайšie веточки тянутся от одной ветки, дальние – от другой. Между группами заметны промежутки, сухие и обломанные сучья, но все они отходят от нескольких разветвлённых стволов, имеющих общий корень.

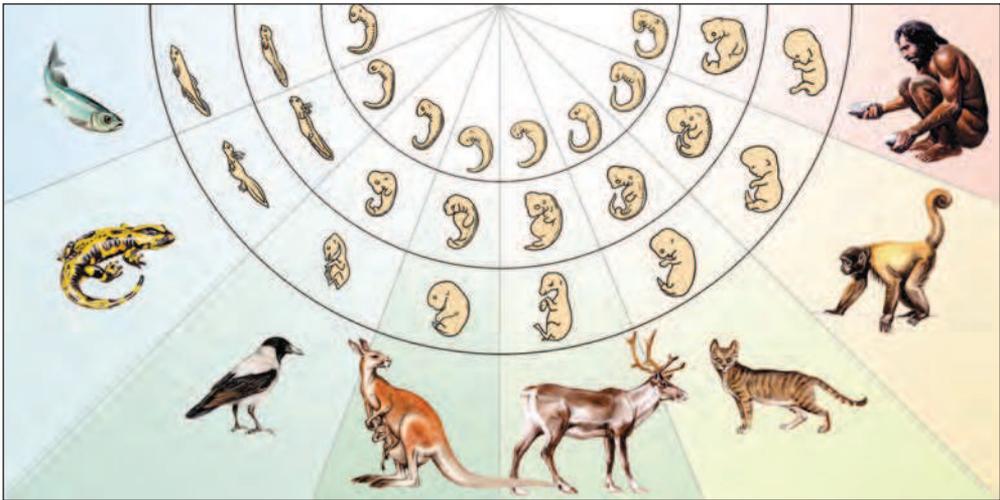
Именно так, путём роста и многократного ветвления, шла эволюция организмов. Филогенетическое древо, предсказанное эволюционной теорией, вполне соответствует как иерархии систематических категорий К. Линнея, так и схеме дивергенции Ч. Дарвина. Главным элементом такого древа является узел, символизирующий общего предка некой группы организмов, и расходящиеся от него ветви – родственные связи, пути эволюционного изменения его потомков.

Между крупными систематическими группами найдены *промежуточные формы*; некоторые из них встречаются среди современных организмов (рис. 41.9). Они с очевидностью иллюстрируют собой узловые точки эволюционного процесса.

Эмбриологические доказательства

- В чём состоит и чем объясняется сходство развития организмов?

Ещё в додарвиновский период К. Бэр сформулировал **закон зародышевого сходства**: ранние этапы эмбрионального развития разных групп животных сходны, а на более поздних стадиях приобретают различия, причём тем большие, чем дальше в систематическом отношении расположены соответствующие виды (рис. 41.10). Сходство эмбрионов свидетельствует в пользу наличия общего предка, а последующее расхождение – в пользу дивергенции его потомков.



41.10. Сходство эмбрионов позвоночных

- Рассмотрите иллюстрацию. Опишите признаки сходства зародышей на первой (верхний ряд), второй и третьей стадиях развития (нижний ряд). Каким образом эволюционная теория объясняет природу обнаруженного сходства?

У зародышей отмечено не только сходство стадий, но и появление таких бесполезных черт строения, как, например, хвост и жабры у эмбриона человека. Эволюционное объяснение этому феномену дал Эрнст Геккель, сформулировав **биогенетический закон**: онтогенез организма есть сокращённое и видоизменённое повторение эволюции, пройденной его предками.



В самом деле, в соответствии с законом Бэра, чем ближе родство организмов, тем больше сходных стадий онтогенеза они имеют. К. Бэр писал, что зародыши одних организмов могут походить на зародыши других, но никогда не повторяют строения взрослых форм. Таким образом, закон Геккеля надо понимать как закон эволюции онтогенеза: признаки зародышей предков вос-

производятся в онтогенезе их потомков. С этой точки зрения биогенетический закон есть не что иное, как правило наследования признаков индивидуального развития. Признаки зародышей, как и всякие другие, передаются по наследству и воспроизводятся в ряду поколений потомков.

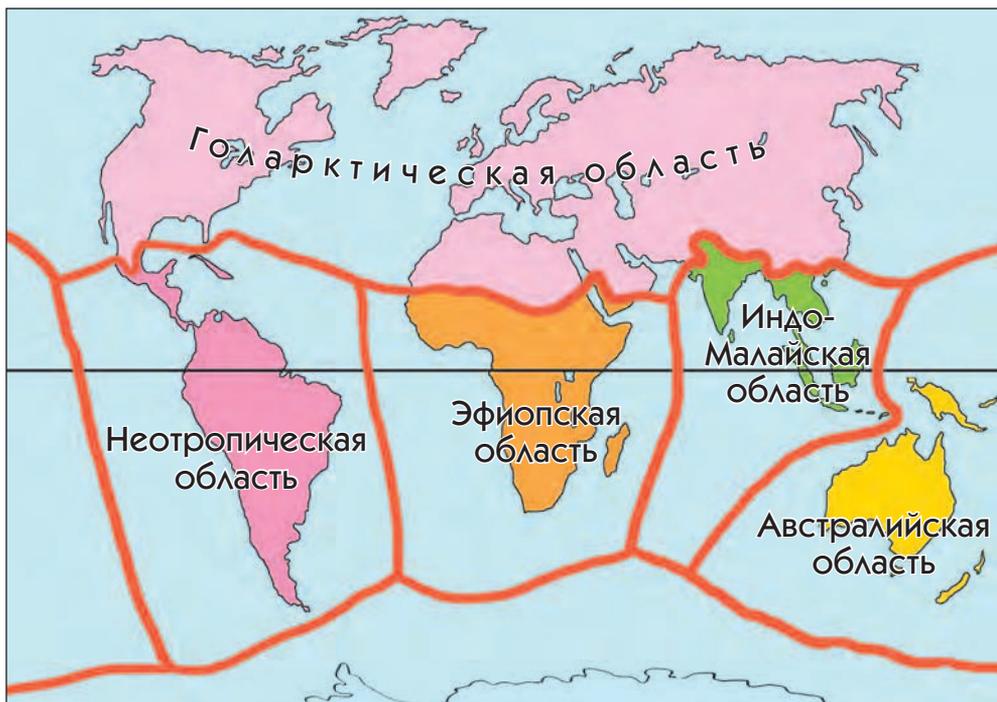
Биогеографические следствия эволюции

- Чем объясняется общность фаун смежных географических областей?

Ч. Дарвин приводил в пользу эволюции немало примеров из области биогеографии. В их числе уже известные нам слоновые черепахи и вьюрки Галапагосского архипелага, давние предки которых попали на острова из континентальной Америки и образовали целый веер родственных форм.

- Какая группа приматов в наше время сохранилась только на Мадагаскаре?

Крупнейший вклад в изучение истории фаун, несомненно, принадлежит Альфреду Уоллесу. Он исследовал современное распространение животных и предложил глобальное зоогеографическое подразделение суши (рис. 41.11).



41.11. Карта зоогеографических областей мира (по А. Уоллесу)

Северные материки Уоллес отнёс к одной зоогеографической области. Они сохраняют значительное сходство фаун, так как до недавнего времени (с геологической точки зрения) соединялись сухопутными мостами. Длительно изолированные фауны Австралии, Южной Америки, Мадагаскара донныне сохранили множество древних реликтовых (вымерших в других странах) видов животных. Про сумчатых в Австралии знают все, но реже вспоминают, что сумчатые есть и в Южной Америке. Эти реликты – память о сухопутной связи Южной Америки с Австралией через Антарктиду, когда она была ещё пригодной для их жизни. Однако одинаковых плацентарных млекопитающих на этих материках нет.

Таким образом, эволюция животных на северных материках имела общую историю, а на южных шла различными путями с тех пор, как они оказались в изоляции. Очевидно, что зоогеографическое деление согласуется с давностью изоляции материков потому, что своеобразная эволюция жизни на них продолжалась всё это время. Следовательно, различия фаун доказывают эволюцию.

Сходство микроструктуры организмов

- О чём говорит единство микроскопического строения и общность биохимических процессов всех организмов?

Дарвин считал, что существенное сходство организмов, которое обнаружили его предшественники и которое не объяснялось гипотезой о независимом творении, – это сходство косвенно подтверждает их родство и происхождение от общих предков.

Во времена Дарвина самым общим аргументом в пользу единства организмов была клеточная теория: все живое состоит из клеток, все клетки происходят друг от друга. Позднее к числу общих черт живых организмов добавились новые. Обнаружено, что основные способы деления соматических (митоз) и половых (мейоз) клеток принципиально одинаковы у всех ядерных организмов. В XX веке самые сильные аргументы в пользу общего происхождения организмов дали биохимия и молекулярная биология. Важнейшие компоненты клеток всех живых организмов – белки и нуклеиновые кислоты. При этом белки всегда главные строительные и регулирующие макромолекулы, а нуклеиновые кислоты – главные информационные макромолекулы, осуществляющие преемственную связь между поколениями клеток и организмов. Все организмы на Земле имеют общую структуру генетического кода. Почти все организмы в качестве главных молекулярных аккумуляторов энергии имеют АТФ. Обширные группы организмов имеют сходные белки, выполняющие сходные функции.

Совершенно невероятно, чтобы такое глубокое сходство могло быть случайным совпадением особенностей независимо возникших организмов.

Сравнение нуклеотидных последовательностей (особенно полных геномов), начавшееся в конце прошлого века, уже внесло колоссальный вклад в современное понимание эволюции живого на планете Земля, в том числе уточнило классические филогенетические деревья. Определение структуры новых геномов идёт полным ходом – и скоро мы совершенно точно будем знать тончайшие детали родства всех основных живых форм – детали, о которых Дарвин и Уоллес не могли и мечтать. Эволюционное учение вступило в новый золотой век.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Факты, выходящие за пределы гипотезы Сотворения мира, смогла объяснить эволюционная теория Дарвина – Уоллеса. Опираясь на принципы актуализма и гомологии, учёные доказали, что эти факты являются следствиями эволюции. С ней согласуется постепенное усложнение строения и приспособительное изменение ископаемых форм. Она определяет сходство родственных форм жизни. Ей соответствует иерархическая соподчинённость естественной системы организмов. Эволюционный путь в сокращённом виде повторяется индивидуальным развитием организмов. Своеобразие эволюции органического мира географических областей зависит от того, как долго они находятся в изоляции. Глубокое сходство всех организмов на микроскопическом уровне организации связано с единством их происхождения. Все эти факты являются косвенными доказательствами эволюции несмотря на то, что крупные эволюционные изменения из-за их длительности недоступны для прямого наблюдения.

**Гомология. Аналогия. Закон зародышевого сходства.
Биогенетический закон**

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Каков смысл принципа актуализма?
2. ● Чем гомология отличается от аналогии?
3. ● В чём состоит особенность доказательств эволюции со стороны наук, изучающих микроскопическое строение организмов?
4. ● Как интерпретирует сходство эволюционная теория? Как она отличает родство от поверхностного сходства?
5. ● Какие данные систематики косвенно свидетельствуют в пользу эволюции?
6. ● Как эволюционная теория способствовала развитию каждой из биологических наук?
7. ● Почему не существует прямых доказательств макроэволюции?
8. ● Поработайте в паре с одноклассником: один приводит примеры гомологичных органов, другой – аналогичных.
9. ● Чем различаются вклады палеонтологии и сравнительной анатомии в эволюционную теорию?

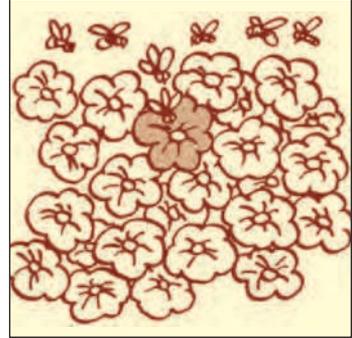
§ 42. Синтетическая теория эволюции

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Ф. Дженкин: Отбор благоприятных уклонений невозможен, так как при скрещивании они в результате смешения «кровей» родителей растворяются, разбавляются и, наконец, исчезают вовсе.

Г. Мендель: Наследственные задатки не смешиваются, они могут лишь проявляться или не проявляться у потомства.

- На какое противоречие вы обратили внимание? Чей взгляд на наследование признаков сочетается с идеей эволюции путём естественного отбора?
- Какую проблему мы будем решать на уроке? Сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое популяция, микроэволюция, стабилизирующий отбор (9 класс), естественный отбор? (§ 40)
- Сформулируйте закон чистоты гамет. (§ 26)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Вклад генетики в эволюционную теорию

- Какие сомнения Дарвина рассеялись благодаря первым шагам генетики?

Материалом для естественного отбора служит изменчивость. При этом, как писал Ч. Дарвин, «ненаследственное изменение для нас несущественно». Однако закономерности генетики тогда не были известны, и Дарвин разделял общее представление о слитной наследственности (будто бы наследование от матери и отца подобно смешению жидкостей).

На этой ложной концепции было построено главное, по мнению самого Дарвина, возражение против его теории, которое он назвал «кошмаром Дженкина». Английский математик Флеминг Дженкин считал эволюцию путём естественного отбора невозможной, так как единичное, даже наследственное и приспособительное, изменение не может получить широкого распространения по причине «поглотительного скрещивания». Например, представим себе вид растений с белыми цветками, среди которых появилось растение с красным цветком, лучше привлекающим насекомых-опылителей, чем белые цветки. Пыльца красного цветка, вероятно, оплодотворит множество растений с белыми цветками. Но, по мнению Дженкина, в следующем поколении от такого скрещивания появятся растения с розовыми цветками, во втором поколении – со свет-

ло-розовыми и т.д. Многочисленные растения с белыми цветками «поглощают» полезный признак единственного растения с красным цветком.

В эпоху бурного развития генетики в начале XX в. русский ботаник Климент Аркадьевич Тимирязев (1843–1920) обратил внимание на то, что закон чистоты гамет Г. Менделя развеивает «кошмар Дженкина», поскольку гены – дискретные носители наследственной информации – никак не «портятся», попадая в один организм. Аллель может лишь проявиться или не проявиться в фенотипе. Поэтому в рассмотренном примере цвет красных цветков останется у потомков таким же ярким. В случае неполного доминирования, возможно, появится третий вариант окраски – розовый, но и он не изменится в ряду поколений. Меняться может лишь частота появления определённых фенотипов.

Теперь установлено, что наследственную информацию переносят молекулы ДНК. Они же содержат и вновь возникающие наследственные изменения – мутации. Поэтому теперь представление Ч. Дарвина о роли наследственности и изменчивости можно заменить единым понятием о наследственной изменчивости, подлежащей естественному отбору.

Синтетическая теория эволюции

- Синтез каких научных знаний предполагает современная теория эволюции?

Все живые системы – продукт исторического развития жизни на Земле. Поэтому теория эволюции является ядром биологических наук, вокруг которого группируются все остальные области биологического знания. Но и они, развиваясь, в свою очередь, вносят вклад в развитие этой теории. Отсюда название современной версии эволюционного учения – **синтетическая теория эволюции**. Она обобщает результаты эволюционных исследований в систематике, генетике, физиологии, биологии развития, экологии, биогеографии, палеонтологии и многих других областях биологии. Но центральное место в ней по-прежнему занимает представление Ч. Дарвина и А. Уоллеса о естественном отборе.

Популяция – единица эволюции

- Почему именно популяцию считают единицей эволюции?

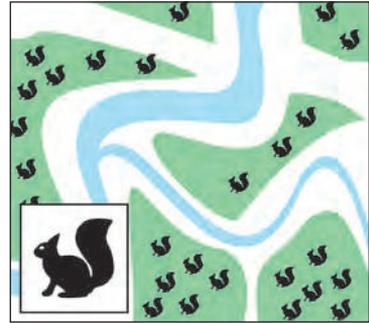
Чтобы изучать эволюционные изменения в природе, необходимо знать, с какой наименьшей единицы начинается эволюция. Отбор действует не на отдельные гены, а на целые организмы, приспособленность которых зависит от их фенотипа в целом. Но организм также не может быть единицей эволюции, потому что живёт недолго, а генотип его не меняется в течение жизни. Отдельный организм лишь кратковременный носитель свойств, которыми оперирует эволюция в течение многих поколений. Только группа организмов, имеющая возможность скрещи-

ваться и давать потомство, способна существовать достаточно долго, чтобы испытывать эволюционные изменения.

Может быть, эволюция имеет дело с биологическим видом? Да, безусловно, но он не может быть элементарной единицей. Вид сам по себе – результат эволюции, группа организмов, родственная другим группам, но утратившая способность скрещиваться с ними. Очевидно, эволюция начинается на предыдущем этапе – с группы особей, не утративших способность скрещивания с другими группами, но ограниченная в такой возможности.

Элементарная единица эволюции – это **природная популяция** – совокупность особей одного вида, которые длительное время населяют общую территорию, свободно скрещиваются друг с другом и дают плодотворное потомство, но при этом изолированы от других таких совокупностей хотя бы в некоторой степени (рис. 42.1).

- Предположите причину, объясняющую неравномерное распределение организмов по территории на рис. 42.1.



42.1. Популяционная структура вида

Причины существования популяций разнообразны, но главная из них – неоднородность внешней среды, из-за чего организмы образуют скопления на участках, благоприятных для жизни и размножения. Популяционная структура вида приводит к различной вероятности скрещивания особей внутри и между популяциями.

Генофонд популяции

- В каком виде существует наследственная информация популяции? Как происходят элементарные эволюционные процессы?

Популяция объединяет множество генетически разнообразных особей, наследственные различия которых служат материалом эволюции. Совокупность генотипов, включающая всё разнообразие аллелей в данной популяции, называют её **генофондом**. Этот термин применяют также и к нескольким популяциям, подвидам или целым видам. Например, одна из важных целей программы «Геном человека» состоит в выявлении генофонда всего человечества.

Генофонды популяций одного вида организмов различаются по частотам аллелей и по их сочетаниям в генотипах. Эти различия тем сильнее, чем меньше контактов между популяциями. Увеличение перемешивания, наоборот, приводит к сближению их генофондов. Каждый вид состоит из множества более или менее взаимосвязанных популяций.

Одни из них со временем сокращаются и вымирают, другие разрастаются, входят в контакт с другими популяциями, проникают на новые участки. Эти явления сопровождаются изменением генофонда и представляют собой элементарные эволюционные процессы, или **микроэволюцию**.

Исследование генетики популяций

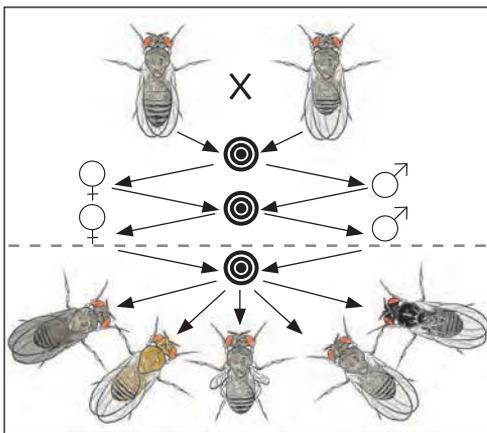
- Насколько разнообразны члены одной популяции? Оцените вклад работ С.С. Четверикова (рис. 42.2) в синтетическую теорию эволюции.



42.2. С.С. Четвериков

Поистине глубокий синтез генетики и классического дарвинизма начался со статьи русского биолога С.С. Четверикова (1880–1959), опубликованной в 1926 г.

В то время генетикам были известны уже тысячи мутаций многих видов (левкоев, львиного зева, табака, пшеницы, дрозофилы, домашних кур, кроликов, лабораторных крыс, мышей, морских свинок и многих других). С другой стороны, каждому зоологу и ботанику известно удивительное фенотипическое однообразие большинства диких видов. Противоречие доходило до того, что некоторые учёные даже считали мутации лабораторными артефактами*, отсутствующими в природе.



42.3. Серия близкородственных скрещиваний особей, взятых из одной природной популяции, выявляет в фенотипе множество ранее скрытых наследственных изменений

Четвериков с группой своих учеников исследовал ряд природных популяций дрозофил. Они использовали метод близкородственного скрещивания (инбридинга), чтобы получить гомозиготных потомков, в фенотипе которых проявятся мутации, скрытые у родителей (рис. 42.3). Оказалось, что каждая природная популяция насыщена многочисленными, но обычно не проявляющимися мутациями. На рисунке 42.4 цветом показаны разные популяции плодовой мушки дрозофилы. Каждый столбик показывает процент мух (по оси ординат), в потомстве которых при близкородственном скре-

* Артефакт – факт, не характерный для естественного течения данного процесса и вызванный искусственно.

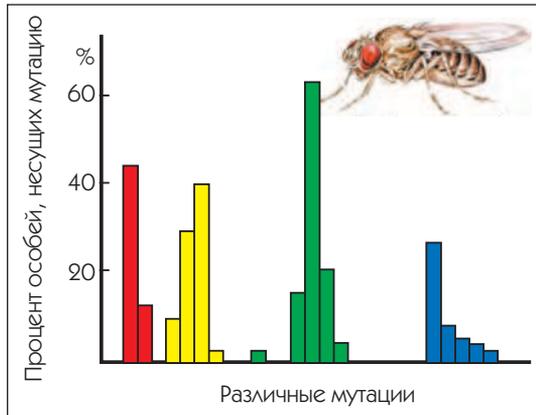
щивании обнаружена данная мутация. У самих же носителей эта мутация находилась в скрытом виде, т.е. не была проявлена в фенотипе.

Разнообразие мутаций очень велико, но большинство из них не проявляются в фенотипе, создавая впечатление однородности облика особей в популяции. Четвериков писал: популяция, как губка, впитывает рецессивные мутации, оставаясь при этом фенотипически однородной. Существование такого *скрытого резерва генотипической изменчивости* создаёт возможность для эволюционных преобразований популяций под воздействием естественного отбора.

Работы С.С. Четверикова и его последователей в России (Н.П. Дубинин), Германии (Н.В. Тимофеев-Ресовский) и США (Ф.Г. Добржанский) в 30–40-е годы XX в. положили начало экспериментальной **генетике популяций**. Этот раздел генетики занят проблемой изменения генотипического состава популяций на начальных этапах эволюции.

Доля гетерозигот среди изученных членов популяции используется как показатель *гетерозиготности популяции*. Взятый в среднем по многим генам, этот показатель отражает разнообразие генофонда популяции – резерв её изменчивости, позволяющий приспособиться и выстоять в меняющихся условиях среды.

В опытах по скрещиванию мы наблюдали изменение встречаемости различных фенотипов у потомков, по сравнению с родителями, за счёт комбинирования их генов. При этом, однако, частоты генов различных аллелей сохраняли *постоянное соотношение* у потомков всех поколений, с небольшими случайными отклонениями (см. § 27. Дигибридное скрещивание). Это правило *генетического равновесия* ещё более справедливо для крупной природной популяции, несмотря на генетическое разнообразие её членов и многократную смену поколений: в изолированной популяции в условиях свободного скрещивания *частота различных аллелей остаётся постоянной*.



42.4. Разнообразие и частота мутаций, содержащихся в скрытом состоянии в природных популяциях дрозофил из окрестностей г. Берлина (Н.В. Тимофеев-Ресовский). Цветом показаны разные популяции. Столбиками каждого цвета показаны частоты отдельных скрытых мутаций

Если наблюдается отклонение от равновесия, то существуют причины, нарушающие условия его поддержания, – причины микроэволюции, которым посвящены следующие параграфы.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Синтетическая теория эволюции связывает воедино все биологические науки и использует их достижения. Элементарной единицей эволюции является популяция. Благодаря наследственной изменчивости особей популяция обладает значительным генетическим разнообразием, составляющим генофонд популяции. Мутации составляют элементарный эволюционный материал популяции. Большая часть мутаций не проявляется и образует скрытый запас изменчивости. Изменение генофонда популяции во времени называется микроэволюцией.

Популяция – единица эволюции. Генофонд. Микроэволюция

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Какие достижения биологии объединила теория Ч. Дарвина? Почему современную версию теории эволюции называют синтетической?
2. • Что внесло в теорию эволюции Ч. Дарвина представление о популяции?
3. • Почему особь или вид нельзя считать элементарной единицей эволюции?
4. • Какова эволюционная роль скрытого генетического разнообразия?
5. • Что такое генофонд?
6. • Что мы называем микроэволюцией?
7. • Какую роль скрытое генетическое разнообразие играет при искусственном отборе? Как им можно воспользоваться?
8. • Как генетика объясняет существование скрытого резерва наследственных изменений (мутаций) в популяции?

§ 43–44. Факторы эволюции

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Знаменитый российский генетик и эволюционист Н.В. Тимофеев-Ресовский считал, что учёный (физик, биолог) должен выделять в окружающем мире элементы: элементарные объекты, явления и движущие силы. Эти подходы он применил и к изучению эволюции. В левом столбике помещены выделенные им элементы, а в правом – термины из эволюционной теории в произвольном порядке. Попробуйте найти им нужное место, чтобы получить чёткую и логичную картину механизма эволюции, которую создал Н.В. Тимофеев-Ресовский.



Элементарная единица эволюции	наследственная изменчивость, волны жизни, изоляция популяций, естественный отбор
Элементарный материал эволюции	популяция
Элементарные факторы эволюции	естественный отбор
Элементарный направляющий фактор эволюции	направленное изменение генофонда популяции
Элементарное явление эволюции	мутации

- Какой вопрос вы предлагаете обсудить на уроке? Предложите свой вариант и сравните его с авторским на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Перечислите основные факторы эволюции по Дарвину – Уоллесу. (§ 40)
- Что такое генотипическая изменчивость (§ 32–33), биогенетический закон? (§ 41)
- Что обозначают термины: аллель (§ 26), популяция, генофонд? (§ 42)
- Что Н.В. Тимофеев-Ресовский назвал элементарным материалом эволюции? (§ 42)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Мутации – элементарный эволюционный материал

- Что служит материалом для эволюции?

Генотипическая, или наследственная, изменчивость поставляет материал для эволюции в виде генетического разнообразия отдельных особей популяции.

- Какая форма генотипической изменчивости создаёт новые аллели генов?
- Какая форма генотипической изменчивости создаёт новые сочетания аллелей генов?

Мутации – источник первичных наследственных изменений. В результате мутаций появляются новые аллели, изменяются отдельные гены, их положение в хромосомах; может измениться и число хромосом

в полном наборе. Этот случайный и ненаправленный мутационный процесс Н.В. Тимофеев-Ресовский назвал поставщиком *элементарного эволюционного материала*. Несмотря на редкость мутирования, почти каждый организм, обладая огромным числом генов, несёт какие-нибудь новые мутации.

Комбинирование эволюционного материала

- Какая сила складывает эволюционный материал в различные сочетания?

Если мутационный процесс создаёт новые «слова» в книге эволюции, то *комбинативная изменчивость* обеспечивает появление «новых фраз». Она увеличивает генотипическую изменчивость за счёт случайного комбинирования имеющихся в популяции аллелей. Комбинативная изменчивость создаёт бесконечное разнообразие генотипов, поэтому, по крайней мере у высших организмов, каждая особь несёт *неповторимое* сочетание генов.

Не отдельные гены, а полное их сочетание – генотип – определяет шансы особи на выживание и успешное размножение.

Судьба изолированных популяций

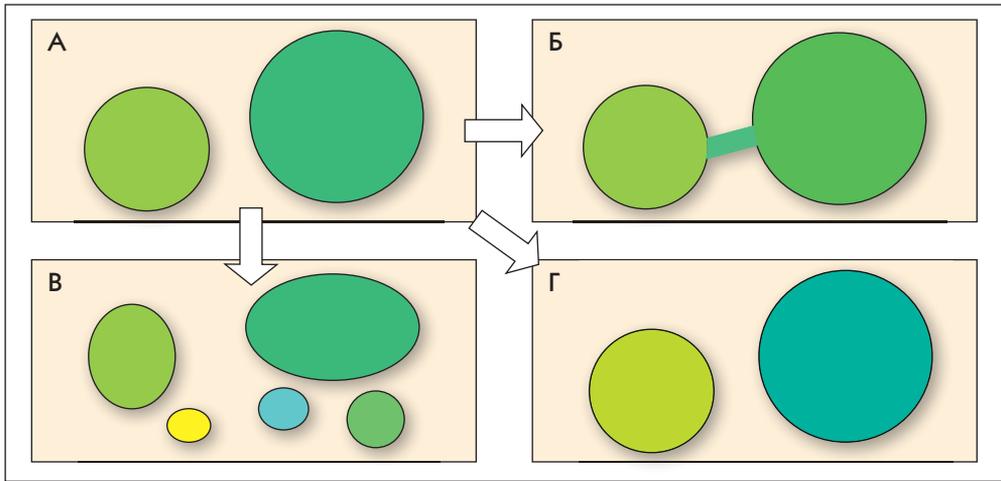
- Как происходит нарушение генетического равновесия в популяциях?

В постоянных условиях изолированная популяция (рис. 43.1, А), как мы знаем, поддерживает состояние *генетического равновесия*. Однако существует ряд факторов, способных рано или поздно нарушить это равновесие (рис. 43.1, Б–Г).

Изоляция может быть нарушена (рис. 43.1, Б): для сухопутного вида, например, связью между островами, для водного – каналом между озёрами. (Гораздо чаще популяции разделены местообитаниями, пригодность которых может плавно изменяться.) Станет возможной миграция – переход животных, занос семян растений из одной популяции в другую: возникнет *поток генов* между популяциями. Поток генов приведёт к выравниванию частот аллелей. Возможно, объединённая популяция достигнет нового равновесия.

Из-за изменения местообитаний изоляция может усилиться и популяции распадутся на более мелкие фрагменты (рис. 43.1, В). В мелких фрагментах намного более вероятны случайные отклонения частот – *дрейф генов*. С течением времени дрейф генов может случайно привести к полной утрате некоторых аллелей.

По истечении долгого времени может оказаться, что один аллель более пригоден в условиях одной популяции (например, крупный клюв – для крупных семян), а другой – в условиях другой популяции. Тогда частоты аллелей, возможно, приобретут *приспособительные изменения* (рис. 43.1, Г).



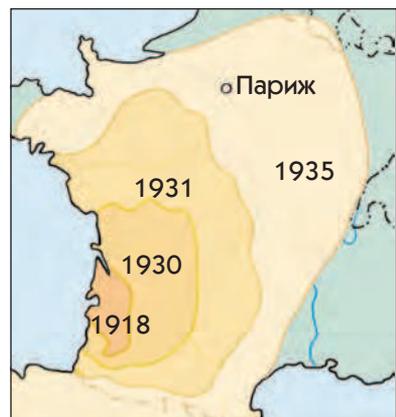
43.1. Механизмы изменения генетического равновесия: А – исходные родственные популяции; Б – поток генов; В – дрейф генов; Г – приспособительные изменения в условиях изоляции. Соотношением жёлтого и голубого цвета обозначено соотношение частот двух альтернативных аллельных генов

Поток генов, дрейф генов, приспособительные изменения в условиях изоляции – это механизмы изменения генетического равновесия. Какие факторы эволюции приводят их в действие?

Ненаправленные факторы эволюции

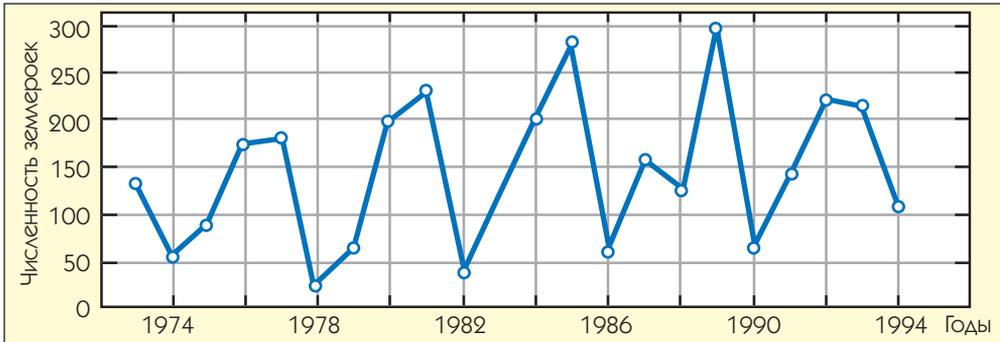
- Какие природные факторы могут нарушить популяционное равновесие?

Судьба популяции испытывает постоянное влияние среды своего обитания. Колебание обилия кормовых ресурсов приводит к изменениям численности. Свойства местобитаний могут меняться, вызывая как расширение, так и сужение области распространения. Эти изменения бывают периодическими или постоянными, охватывают сезоны или годы, а иногда – столетия или миллионы лет. Так или иначе, они приводят к значительным естественным изменениям численности, которые С.С. Четвериков назвал **волнами жизни** (рис. 43.2).



43.2. Начальный период расселения колорадского жука в Европе

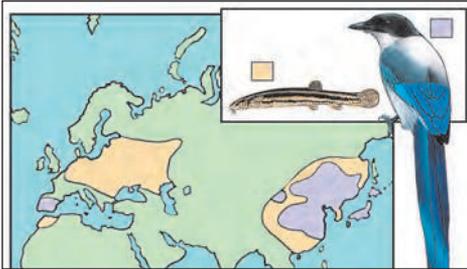
- Расскажите, пользуясь рисунком 43.1, к каким последствиям могут приводить волны жизни на подъёме и спаде численности.



43.3. Волны численности землероек-бурозубок в Сибири

Волны жизни играют важную роль в эволюции, определяя случайные колебания концентраций разных аллелей. Из-за дрейфа генов в маленькой краевой популяции вида генофонд может стать существенно отличающимся от генофонда крупных популяций в центре ареала. Однако не исключено, что при новом подъёме численности они снова воссоединятся и поток генов восстановит прежнее генетическое разнообразие.

Уменьшение и полное прекращение потока генов в популяцию приводит к **изоляции**. Если продуктивное скрещивание особей из разных популяций возможно, но не происходит по внешним причинам, говорят о *первичной изоляции*. Распространена пространственная (географическая) изоляция – разделение популяций географическими преградами:



43.4. Изолированные участки ареалов голубой сороки и рыбы вьюна

морскими проливами, горными хребтами, пространством, не пригодным для обитания. Область распространения вида может оказаться разорванной в результате изменения географических условий, например из-за оледенения (рис. 43.4). Изолированные популяции со временем почти неизбежно приобретают генетические различия, по крайней мере в силу случайных причин.

Волны жизни и изоляция – ненаправленные факторы эволюции: сами по себе они не дают возможности предсказать направление создаваемых генетических отличий.

Естественный отбор направляет эволюцию

- Что отбирает естественный отбор и каким образом он направляет эволюцию?

В ходе эволюции популяции можно условно выделить два этапа. Первый – создание случайного генетического разнообразия мутаций и их

комбинаций. Второй этап – случайное изменение этого разнообразия ненаправленными факторами эволюции и приспособительное ограничение его естественным отбором. Следовательно, **естественный отбор** – это *единственный направляющий фактор* эволюции организмов. Только он сокращает разнообразие форм не в случайном, а в определённом направлении, заданном условиями среды обитания популяции.

Как блестяще показал Ч. Дарвин, естественный отбор – неизбежное следствие различий между особями одного вида и их борьбы за существование из-за ограниченности ресурсов. Сущность естественного отбора заключается в преимущественном выживании и размножении наиболее приспособленных особей каждого вида. Тем самым естественный отбор *направляет* изменчивость популяции в приспособительное русло.

Важно понимать, что естественный отбор – это результат состязания особей из одной популяции. Особи других видов (неважно, хищники, жертвы или конкуренты) при этом выступают в роли факторов внешней среды, влияющих на результаты отбора.

Один и тот же признак может быть обусловлен разными механизмами и различными генами. Так, устойчивость насекомых к ядам может достигаться путём его выведения в неживые ткани кутикулы, растворением его в жирах, повышением устойчивости нервной системы и т.д. Отбор оценивает фенотипический результат независимо от его генетической природы. Только вся совокупность свойств фенотипа может повысить или понизить приспособленность особи. Вместе с отбором приспособленных фенотипов в будущее поколение переходят целые генотипы, обеспечивающие развитие приспособительных признаков.

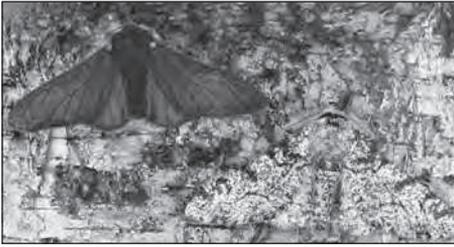
Творческая роль отбора

- В чём заключается творческая роль отбора?

Отбор фенотипов приводит к тому, что в популяции приспособительные комбинации признаков становятся более многочисленными. Полезные признаки, размноженные в тысяче копий, приобретают новую возможность мутаций и комбинирования. Значит, появляется большее разнообразие особей с возможностью ещё более совершенных комбинаций полезных признаков, и так далее, поколение за поколением. Так возникают новые комплексы признаков, которые раньше не могли возникнуть просто из-за малочисленности их носителей.

В бесконечном «развёртывании» изменчивости благоприятных признаков и их комбинаций среди потомков более приспособленных особей заключается *творческая* роль отбора.

Проиллюстрируем её на примере эволюции окраски у бабочки берёзовой пяденицы (рис. 43.5). Промышленное загрязнение в Европе в XIX веке вызвало во многих районах исчезновение лишайников на стволах дере-



43.5. Светлая форма берёзовой пяденицы на незагрязнённых территориях менее заметна

вьев. Светлые бабочки стали заметны на тёмном фоне коры и успешнее добывались птицами. В результате преимущество оказалось на стороне тёмноокрашенных форм, которые прежде встречались очень редко.

На первый взгляд, всё просто: очень редкие варианты в популяции стали встречаться часто, и наоборот. Какое же здесь творчество? Но в том-то и дело, что выжившие тёмные формы, как выяснили учёные, изменились. Если раньше, как это обычно и бывает в природных популяциях, доминировал нормальный светлый вариант окраски, то теперь доминантным стал тёмный цвет. Значит, в основе нового приспособления лежит сочетание нескольких генов, определяющих и регулирующих синтез чёрного пигмента меланина. Налицо творчество естественного отбора, создавшего форму бабочек, которой никогда до этого не было в природе.

Формы естественного отбора

- В каких случаях естественный отбор принимает различные формы?

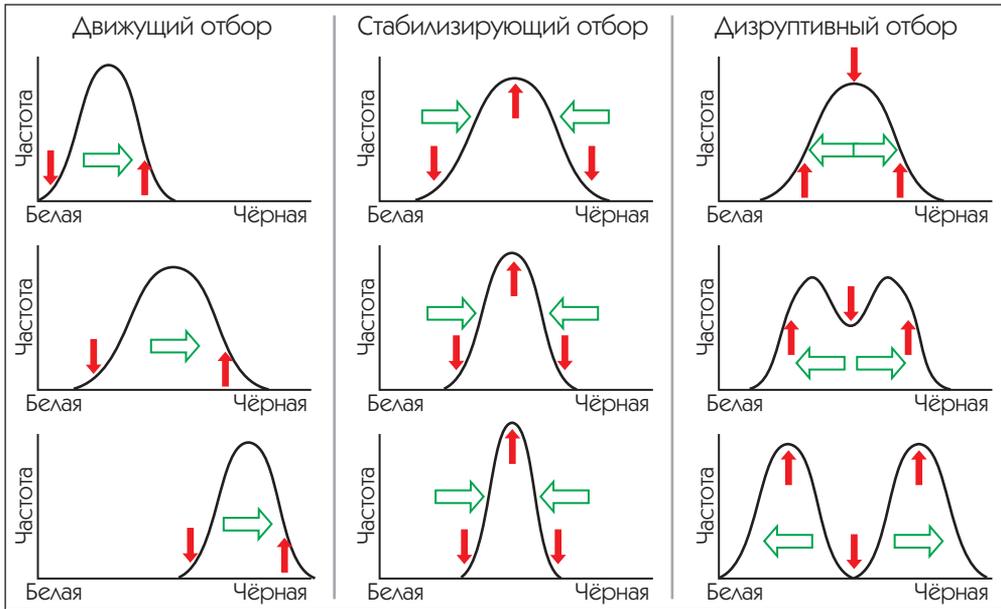
В зависимости от изменения условий существования популяции может меняться направление отбора и его форма.

В рассмотренном примере с берёзовой пяденицей изменение внешних условий привело к существенному изменению генофонда популяции: содержание аллелей тёмной окраски увеличилось за счёт сокращения доли аллелей, обуславливающих светлую окраску. Отбор, направленный в сторону определённого отклонения фенотипа от среднего, называют **движущим**. Он ведёт к постепенному изменению признака в одном направлении (рис. 43.6).

Наряду с движущей, российский биолог И.И. Шмальгаузен (1884–1963) выделил **стабилизирующую** форму естественного отбора, которая действует в стабильных условиях и приводит к преимущественному выживанию и размножению средней нормы. Так, например, у млекопитающих новорождённые с очень низким и очень высоким весом чаще погибают при рождении или в первые недели жизни, чем новорождённые со средним весом (рис. 43.6). Наблюдаемое сходство всех особей в природных популяциях – очевидный результат стабилизирующего отбора.



Как показал И.И. Шмальгаузен, стабилизирующий отбор не только постоянно убирает отклонения, но и способствует формированию механизмов, обеспечивающих устойчивое нормальное развитие. Именно устойчивость нормы позволяет мутациям накапливаться в скрытом виде, не нарушая нормы



43.6. Три формы естественного отбора. Кривая изображает частоту встречаемости различных вариантов окраски в популяции бабочек. Красные стрелки показывают давление отбора, зелёные – изменение фенотипов. Сверху вниз представлены три последовательные стадии

и одновременно подготавливая материал для возможных будущих эволюционных преобразований. Однажды найденные надёжные способы развития под действием этой формы отбора не изменяются десятки и сотни миллионов лет. Вот почему закономерности индивидуального развития, о которых мы говорили в § 23, так универсальны и поддерживаются стабилизирующим отбором во многих систематических группах. Вот почему действует биогенетический закон (§ 41).

Представим себе бабочек берёзовой пяденицы, заселивших берёзо-ольховый лес вдали от заводской копоты. Очевидно, что даже тёмно-серые или бурые бабочки окажутся слишком светлыми на коре ольхи, но слишком тёмными – на коре берёзы. В этой гипотетической ситуации усилится изменчивость признака и проявится третья форма естественного отбора – *дизруптивный* отбор. Он направлен против промежуточных значений признака и благоприятствует крайним отклонениям. В результате появятся две формы бабочек: одна – под цвет коры берёзы, другая – ольхи. Более того, под влиянием птиц должны лучше сохраняться бабочки с изменённым поведением: те, которые будут садиться на кору соответствующего цвета. Другой пример действия этой формы отбора приведен на с. 270–271 при описании появления двух сезонных форм большого погремка.

Адаптации

- На какой результат направлены эволюционные изменения популяций?

Важнейший результат эволюции выражается в формировании **адаптаций** – приспособлений к среде обитания.

Покровительственная окраска – один из наиболее наглядных примеров адаптаций. Такая окраска делает организмы менее заметными на окружающем фоне и более защищёнными от нападения хищника (рис. 43.7 – 43.8).

- Объясните смысл предупреждающей окраски и мимикрии (рис. 43.9, 43.10).



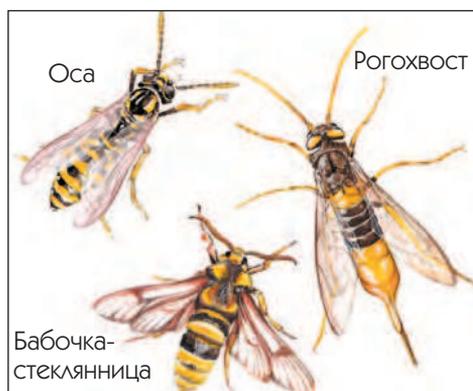
43.7. Покровительственная окраска у крапивника



43.8. Маскировка у палочника и каллимы



43.9. Предупреждающая окраска у жерлянок



43.10. Мимикрия у насекомых

Другие приспособления направлены на эффективное питание. В их числе не только когти ястреба или хоботок комара, но и пищеварительные ферменты бактерии, тип хлорофилла растения.

Многие адаптации повышают жизнеспособность в экстремальных физических условиях. Развитая корневая система и уменьшение испарения предохраняют растения от сухости. Кутикула защищает аскариду от агрессивной химической среды пищеварительной системы животных и человека, в которой он обитает. Густой мех способствует перезимовке млекопитающих в Арктике. Арктическим птицам избегать экстремальных условий позволяет комплекс адаптаций к сезонным миграциям, включающий способность к длительному перелёту и сокращённый период размножения.

Относительность адаптаций

- Почему не бывает идеальных приспособлений?

Адаптации повышают устойчивость организма в тех условиях среды, в которых произошло их формирование. В иных условиях они могут оказаться бесполезными и даже вредными. В этом выражается *относительность адаптаций*.

Каждый организм сталкивается со множеством жизненных ситуаций и не может быть идеально подготовлен к каждой из них. Бабочка не может быть незаметной на белом и чёрном фоне одновременно. Птицы, обладая совершенным полётом, ограничены в выборе пищи и вынашивании потомства. Подобные ограничения сдерживают формирование слишком специальных и глубоких адаптаций, потому что отбор оценивает приспособленность фенотипа в целом. Он производит координацию адаптаций таким образом, чтобы создать максимально приспособленный целостный организм. Следовательно, относительность адаптаций выражается ещё и в том, что необходимость иметь многие адаптации не позволяет довести до совершенства ни одну из них.

Адаптации относительны ещё и потому, что направлены лишь на наиболее обычные условия и их изменения в обычных пределах. Поэтому нет приспособлений против таких стихийных бедствий, как вулканизм или цунами. Большинство животных беззащитны против пожаров, страдают от летних засух и аномально холодных зим.

Любая адаптация возникает не на пустом месте, а в результате видоизменения органов, уже приспособленных к некоторой функции. Прежнее приспособление накладывает отпечаток, от которого нелегко избавиться. Многие признаки генетически связаны друг с другом через плейотропное (множественное) действие генов. Если в новых условиях лишь один из них даёт организму селективное преимущество, то и остальные передадутся потомству, несмотря на бесполезность.

Таким образом, формирование адаптаций – сложный результат изменения структуры фенотипа и генотипа в соответствии с требованиями среды обитания, в достижении которого естественный отбор играет направляющую роль.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Мутационный процесс создаёт элементарный эволюционный материал, а комбинативная изменчивость складывает из него сочетания – генотипы, образующие генофонд популяции. Популяционные волны и изоляция создают условия для изменения генофонда. В результате дрейфа генов генофонд подвергается случайным изменениям. Естественный отбор является главным и единственным фактором эволюции, направляющим изменения генофонда на создание приспособлений к среде обитания популяции. Движущий отбор изменяет норму, стабилизирующий отбор поддерживает её, а дизруптивный отбор способствует разделению популяции на две разновидности с противоположными признаками особей. Все формы отбора направлены на совершенствование адаптаций, которые являются приспособлением только к той среде, в которой они сформированы.

Волны жизни, изоляция, естественный отбор.
Движущая, стабилизирующая и дизруптивная формы. Адаптация

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Какие из перечисленных Н.В. Тимофеевым-Ресовским элементарных объектов, явлений и факторов эволюции являются необходимыми и достаточными для совершения эволюции, а какие лишь ускоряют её?
 2. • В каких условиях действуют различные формы естественного отбора?
 3. • Назовите примеры адаптаций.
 4. • В чём проявляется совершенство и относительность адаптаций?
 5. • Почему отбор в чистых линиях не эффективен?
-  6. • Попробуйте смоделировать действие факторов эволюции. Для этого нужно положить в коробку не менее 50 предметов (или кусочков бумаги) двух различных цветов. Каждый из игроков не глядя набирает в свою «популяцию» по 2 предмета. В каждый следующий ход (поколение) игрок имеет право добавить в свою «популяцию» один из предметов (размножение). Выбрав в качестве приспособительного признака один из цветов, вы имеете право выбросить из своей «популяции» неприспособленного. Доиграйте партию до тех пор, пока у одного из игроков число предметов станет равным 5 и все они окажутся приспособленными. В этом случае он станет победителем. Во второй серии игр игроки будут брать по 4 предмета, в третьей – по 7–10. Объясните, какие факторы эволюции действовали в нашем «эволюционном процессе».

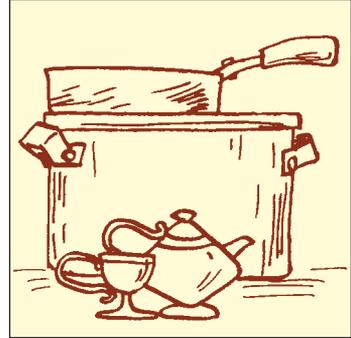
§ 45. Вид и его критерии

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

К. Линней: Видов существует столько, сколько их создано в самом начале Бесконечным Существом.

Ч. Дарвин: Разновидность – зарождающийся вид, а вид – развившаяся разновидность.

- По какой проблеме взгляды учёных расходятся? В чём суть их разногласий?
- Сформулируйте проблему, которую надо решить, чтобы устранить это противоречие. Сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое естественный отбор, изоляция? (§ 43–44)
- Что такое экологическая ниша? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

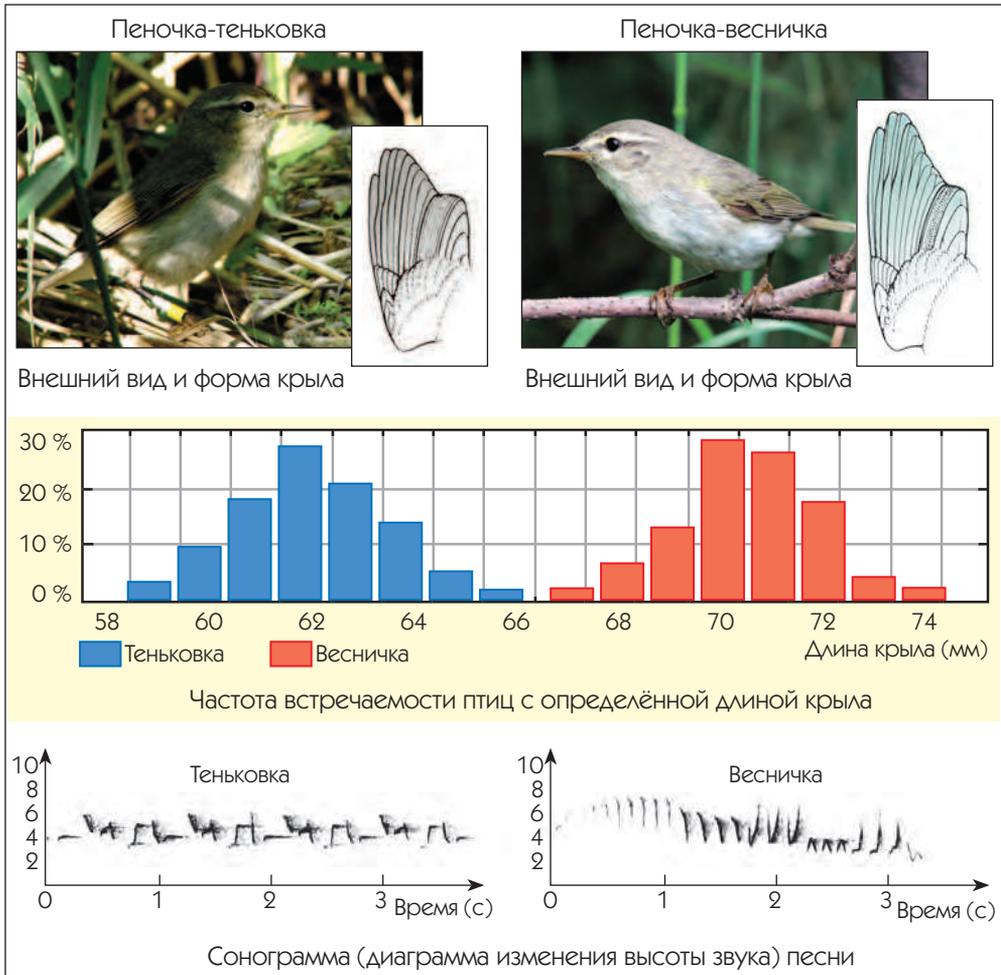
Определение вида

- Что такое вид?

Книга Ч. Дарвина не случайно называется «Происхождение видов...». О существовании внутривидовой – половой, возрастной, индивидуальной – изменчивости было известно ещё во времена Аристотеля. Но если выстроить по существенному признаку формы двух близких видов в один ряд, то постепенность изменения внутри каждого вида сменяется скачком – разрывом постепенности при переходе к другому виду (рис. 45.1). Представлялось, что существуют незыблемые границы изменчивости видов, которые перешагнуть невозможно.

К. Линней назвал **видом** множество организмов, сходных по строению, образу жизни и дающих плодовитое потомство. Он полагал, что виды неизменны. Отсутствие плодовитого потомства при скрещивании разных видов казалось гарантией их обособленности. Это основная позиция К. Линнея, Ж. Кювье и их многочисленных последователей. Линнеевским определением вида пользовался и Ч. Дарвин; в сущности, оно сохранилось и поныне.

С.С. Четвериков считал, что главным критерием вида является его генетическая замкнутость. А вот современное определение. **Вид** – совокупность популяций особей, способных к скрещиванию с образованием плодовитого потомства, обладающих рядом общих морфофизиологических признаков, населяющих определённый ареал, обособленных от других нескрещиваемостью в природных условиях. Вид – реально существующая единица живого мира, основная структурная единица в системе организмов.



45.1. Видовые различия пеночки-теньковки и пеночки-веснички

Остаются ли виды неизменными?

- Какие аргументы приводят эволюционисты в пользу изменяемости видов?

Дарвин и эволюционисты отказались от представления о незыблемости видовых границ. Какие аргументы использовали эволюционисты в пользу изменяемости видов?

1. Близкие виды различаются лишь немногими признаками, с вероятным перекрытием их значений.

2. Селекционеры в своей практике добились таких различий потомков одного вида, которые достигают уровня вида и даже рода. Во многих

случаях между ними даже возник барьер нескрещиваемости (например, у дога и той-терьера из-за разницы в размерах).

3. Сложная внутривидовая структура косвенно свидетельствует в пользу постепенного эволюционного формирования видов. Внутривидовые географические формы – подвиды и разновидности – Ч. Дарвин рассматривал как зарождающиеся виды, а устойчивые виды – как обособившиеся бывшие разновидности. Ясно, что далеко не каждая разновидность непременно становится новым видом, но она показывает определённую стадию обособления популяции на пути видообразования.

4. Факты отдалённой гибридизации (зубробизон, тигролев, мул – гибрид лошади с ослом, лошак – гибрид ослицы и коня, зеброид – гибрид зебры с лошадью, межняк – гибрид тетерева с глухарём, гибриды фазана с курицей и тетеревом) свидетельствуют о том, что не все виды равно изолированы друг от друга. Можно себе представить постепенное эволюционное формирование механизмов межвидовой репродуктивной изоляции.

5. Находки ископаемых остатков вымерших организмов в геологических слоях разного возраста явно говорят о смене фаун и флор в истории Земли.

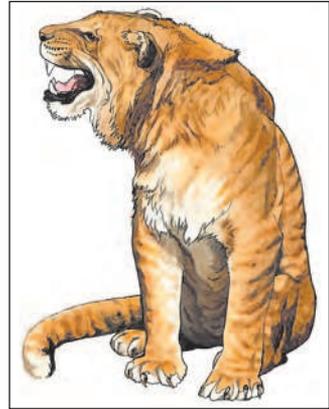
6. Трудно себе представить, что для каждого из многочисленных островов Мирового океана Творец всего сущего создавал отдельные виды, причём непременно похожие на виды соседних островов и ближайшего материка (например, Дарвиновы вьюрки и слоновые черепахи Галапагосского архипелага).

Это лишь главные аргументы эволюционистов. В рамках современной эволюционной теории все отмеченные выше факты получают естественное объяснение.

Механизмы изоляции

- Объясните, почему виды в природе обычно не скрещиваются.

Каждый вид обладает гармоничным сочетанием приспособлений, позволяющих существовать в определённых условиях среды. Если бы различные виды скрещивались и их гены случайно перемешивались, это приводило бы к резкому снижению приспособленности. Однако вследствие естественного отбора в условиях *первичной* изоляции популяции накапливают сумму наследственных изменений, которые делают скрещивание с представителями других родственных популяций всё менее возможным. Так постепенно достигается *вторичная, репродуктивная изоляция*, практически исключающая межвидовую гибридизацию.



45.2. Тигролев – полученный в зоопарке гибрид тигра и львицы

Репродуктивная изоляция включает целый ряд **изолирующих механизмов**.

Изолирующие механизмы – препятствие межвидовой гибридизации

Действующие до оплодотворения	Действующие после оплодотворения
Экологическая изоляция Сезонная изоляция Поведенческая изоляция Морфологическая изоляция Физиологическая изоляция	Гибель гамет Гибель эмбрионов Нежизнеспособность гибридов Стерильность (бесплодие) гибридов

- Какие из этих механизмов выгодны для особи? Какие из них специально созданы естественным отбором против межвидовой гибридизации, а какие возникли как результат независимого расхождения признаков?

Критерии вида

- Объясните, как устанавливают видовую самостоятельность видов.

Критериями вида называют способы, с помощью которых можно установить, что группа сходных организмов отличается от других настолько, что представляет собой самостоятельный вид. Поскольку естественный отбор направлен на приспособление популяций к условиям существования, главным критерием должен быть **экологический критерий**, отражающий специфичный для вида способ существования – его экологическую нишу. Именно освоение более эффективного способа использования ресурсов может приводить к возникновению новых видов. Однако применение экологического критерия предполагает очень подробное знание биологии вида. Видов много (более 2 млн), а биологов – мало, поэтому необходимы и другие, более очевидные критерии.

Репродуктивная изоляция – необходимое условие, охраняющее приспособительную специфику вида. Из сказанного выше самым надёжным представляется **критерий репродуктивной изоляции**. Если две совместно обитающие популяции не образуют гибридов, они принадлежат к разным видам. Отсутствие гибридов между особями двух популяций, обитающих совместно, указывает на их принадлежность к разным видам. Существование таких гибридов, однако, не всегда означает утрату видовой самостоятельности. Ведь если гибриды обладают пониженной приспособленностью, то их число будет незначительным и не сможет разрушить устойчивые генетические системы видов. С другой стороны, для сравнения разобщённых популяций этот критерий не подходит.

Поскольку эволюции подлежат самые разнообразные свойства организмов – их поведение, иммунная система, морфология, функционирование, образ жизни и многие другие, то критериев вида может быть столько, сколько этих свойств.

На практике же чаще всего используют **морфологический критерий** наглядных, прежде всего внешних, различий (рис. 45.1). Однако и у этого критерия есть слабые стороны. Резкий половой, сезонный или возрастной полиморфизм (наличие нескольких форм) много раз приводил к ошибочному описанию этих форм в качестве отдельных видов. С другой стороны, существуют *виды-двойники* – виды, населяющие очень сходные местообитания, почти не имеющие внешних различий. При этом они часто легко распознаются по морфологии хромосом, биохимическим признакам – характерным белкам, последовательностям генов в хромосомах и нуклеотидов в геноме, т.е. по **биохимическим и генетическим критериям**.

Близок к биохимическому **физиологический критерий** вида. Ведь почти все биохимические различия в конечном счёте имеют функциональную природу. Но и макроскопические функции могут оказаться важными критериями вида: например, способность к живорождению, впадению в спячку. Самый динамичный – **поведенческий критерий** вида, к которому относятся особенности охоты, способа питания, брачного поведения. Пеночек средней полосы, например, легче различить по песне (см. рис. 45.1), чем по внешнему виду.

Каждый вид имеет определённую область распространения – ареал. **Географический критерий** вида позволяет оценить давность и степень разобщённости популяций, но редко приводит к однозначному решению. Так, в случае с пеночками значительная часть их ареалов перекрывается.

Итак, в большинстве случаев одного критерия недостаточно для объективного суждения. Видовой статус группы особей устанавливается по комплексу критериев. Несомненно, виды так же реальны, как и особи, поскольку представляют собой замкнутые репродуктивные сообщества. Обязательно существуют признаки, плавное изменение которых образует разрыв или скачок при переходе от одного вида к другому, – это обусловлено генетической природой различий. Но выделить эти признаки без детального знания биологии видов бывает непросто.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Вид состоит из реально или потенциально скрещивающихся популяций, но практически полностью генетически изолирован от других видов. Критерии вида: экологический, репродуктивной изоляции, морфологический, биохимический, генетический, физиологический, поведенческий, географический.

Вид. Критерии вида. Изолирующие механизмы

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● В чём биологический смысл репродуктивной изоляции видов?
2. ● В чём генетический и экологический смысл видовых отличий? В чём биологический смысл репродуктивной изоляции видов?
3. ● Почему вид считают основной систематической категорией?
4. ● Какой из аргументов изменчивости видов вам показался наиболее убедительным?
5. ● Учёные часто считают главным критерием вида репродуктивную изоляцию. Что мешает применять этот критерий на практике?



● ● МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение особенностей видов растений по морфологическому критерию

1. Рассмотрите живые растения или их гербарные образцы, приготовленные для сравнения. Запишите их названия. Найдите основные элементы наружной морфологии двух сравниваемых растений, используя лупу и определитель растений, содержащий термины по описательной морфологии растений и их краткую характеристику. Сравните два растения по этим признакам и запишите результаты сравнения в таблицу.

Морфологические признаки	Черты сходства	Черты различия

2. Определите, какие из обнаруженных черт сходства являются гомологичными. Можно ли считать остальные черты сходства аналогичными? Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения.

§ 46. Видообразование – итог микроэволюции

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Ч. Дарвин: Главный фактор любой эволюции – естественный отбор.

М. Вагнер: Главный фактор видообразования – изоляция.

- Сформулируйте проблему урока. Сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое вид? (§ 45)
- Что такое полиплоидия (§ 32–33), отдалённая гибридизация (§ 35–36), естественный отбор, изоляция? (§ 42–44)
- Какая минимальная единица может эволюционировать? (§ 42)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Как образуются новые виды

- Рассмотрите условия образования новых видов, механизмы и последовательность этого процесса.

Особи одного вида, принадлежащие к разным популяциям, нередко имеют характерные отличия, величина которых зависит от противодействия двух сил. Во-первых, естественный отбор изменяет признаки, приспособлявая к местным условиям. Во-вторых, потоки генов из соседних популяций противостоят этим изменениям, поддерживая сходство всех особей. Очевидно, в центре ареала (в оптимуме) вида будет преобладать второй процесс. На краю ареала, где отличие местных условий от средних выражено сильнее, численность популяций снижается. Связь с другими популяциями часто прерывается, и могут возникнуть условия для частичной или полной изоляции.

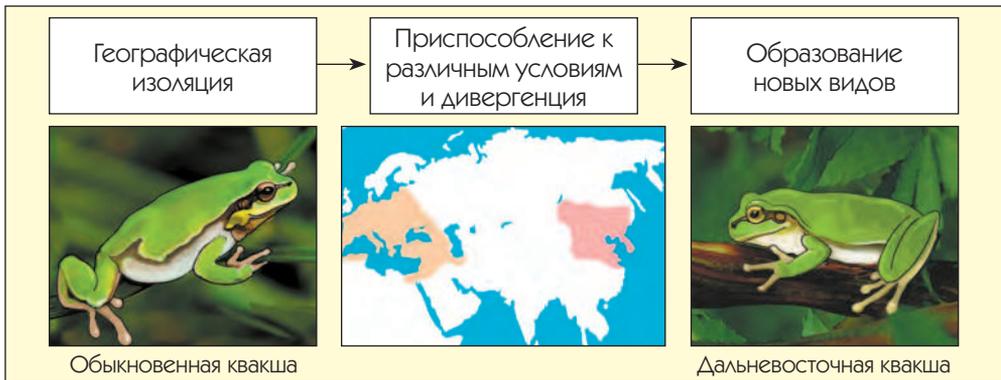
В условиях изоляции отличительные признаки популяции могут возрастать. Повышается вероятность перестройки генофонда и возможность превращения популяции в новый вид, отделённый от исходного барьером нескрещиваемости.



В условиях первичной изоляции из-за дрейфа генов популяция может лишиться части генетического разнообразия. В результате понижается устойчивость популяции. Это облегчит действие движущего отбора, в результате чего приспособительные отличия популяции усилятся. Побочным продуктом этого процесса дивергенции будет появление изолирующих механизмов, действующих после оплодотворения (невозможность скрещивания). Затем стабилизирующий отбор завершит формирование нового комплекса адаптаций, благодаря кото-

рым начнётся рост численности. Изолированная популяция станет новым видом, окончательно отделившись от исходного вида. Если же области их распространения снова пересекутся, разовьются поведенческие механизмы изоляции, препятствующие скрещиванию на самом раннем этапе.

Результат приспособления пространственно изолированных популяций к местным условиям обитания называют **географическим видообразованием**. Подобные процессы проходили, например, на территории нашей страны в период оледенения. Распространение ряда видов было разделено ледником на западную и восточную части. За время изоляции в каждой части сформировался самостоятельный вид (рис. 46.1).



46.1. Общая схема и пример географического видообразования у квакши



46.2. Схема экологического видообразования

Видообразование возможно и при совместном обитании популяций особей, избравших различные способы существования. **Экологическое видообразование** – результат адаптации совместно обитающих форм к различному образу жизни путём экологической изоляции (рис. 46.2). Очевидно, что экологические различия с самого начала должны быть достаточно велики, чтобы обеспечить первичную изоляцию. Поэтому экологическое видообразование встречается в природе нечасто.

На нескосываемых лугах растение большой погренок цветёт на протяжении всего лета (рис. 46.3). Регулярное скашивание травы в середине лета стимулировало дизруптивный отбор особей, различающихся по срокам цветения, который привёл к образованию двух форм этого растения. За период независимой эволюции у них сформировались даже морфологические различия: у ранней формы цветки жёлтые, у поздней – оранжевые. Экологическая изоляция возникла из-за невоз-

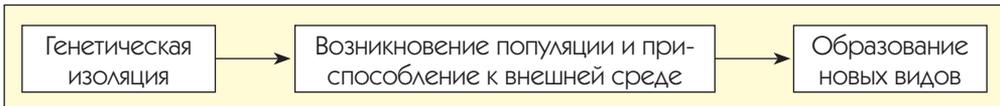
возможности перекрёстного опыления между формами, цветущими в разные сроки.

Вероятно, экологическое видообразование имело место в тех случаях, когда появлялись неиспользуемые ресурсы, а географическое разобщение было невозможным. Например, в озере Ланао, образовавшемся 10 тыс. лет назад на одном из Филиппинских островов, из одного исходного вида рыб возникло 5 новых родов с 18 видами.

Видообразование в результате полиплоидии приводит к возникновению генетической изоляции за счёт кратного увеличения числа хромосом. Потомки такой репродуктивно изолированной формы в благоприятных условиях за счёт вегетативного разрастания и самоопыления могут образовать популяцию, которая под действием естественного отбора может превратиться в полноценный вид, иной раз даже способный вытеснить родительский (рис. 46.4).



46.3. Первые этапы видообразования у большого погремка



46.4. Принципиальная схема генетического видообразования

Этот способ видообразования встречается главным образом у растений. Так, виды картофеля различаются кратным набором хромосом ($n = 12, 24, 48, 72$).

- Почему полиплоидия редко встречается у животных? (При необходимости см. § 31.)

Иногда видообразование происходит за счёт отдалённой гибридизации с последующим удвоением числа хромосом. Именно такое происхождение у сливы ($2n = 48$) – гибрида тёрна ($n = 16$) и алычи ($n = 8$).

- Почему удвоение хромосом у межвидового гибрида позволяет преодолеть барьер нескрещиваемости между видами? (При необходимости см. § 33.)

Устойчивость видов

- Выясните с помощью текста, можно ли считать, что единство вида поддерживается лишь взаимодействием генов.

Вид состоит из популяций, обособленных в разной степени. Популяции широко распространённых видов могут обмениваться наследствен-

ной информацией друг с другом непосредственно или через цепь промежуточных популяций. Но есть виды, область распространения которых (ареал) долгое время остаётся разорванной на крупные изолированные части. Тем не менее эти части сохраняют генетическую совместимость. Например, голубая сорока, рыба вьюн, ландыш распространены в Европе и на Дальнем Востоке. Живородящая ящерица Сахалина изолирована от евразийской с тех пор, как остров отделился от материка. Подобные примеры свидетельствуют об устойчивой целостности видов. Она создаётся множеством регуляторных генов, способных блокировать некоторые генетические изменения или их проявление в фенотипе. Поэтому даже в изоляции виды могут долгое время сохранять постоянные свойства.

Главный смысл возникновения репродуктивной изоляции видов состоит в сохранении накопленного фонда приспособлений от разрушающего потока генов из популяций, приспособленных к иным условиям. С другой стороны, прекращение потока генов от «бывших родственников» лишает молодые виды поддержки на случай нового изменения условий. Таким образом, достигая репродуктивной изоляции, вид становится на путь самостоятельной, независимой и необратимой эволюции. Из таких независимых, хотя и родственных эволюционных путей самостоятельных видов складывается *макроэволюция*.

Микро- и макроэволюция

- На чём основаны закономерности эволюции до и после образования вида?

С.С. Четвериков определил биологический вид как генетически замкнутую систему. Поток генов, сильный или слабый, связывает популяции одного вида между собой. В то же время разные виды лишены возможности обмениваться генетической информацией, «закрыты» друг от друга.

Опираясь на эти соображения, генетик Ю.А. Филипченко (1882–1930) ввёл представление о микро- и макроэволюции. **Микроэволюция** – это эволюция внутри вида, зависящая от обмена генетической информацией. **Макроэволюция** начинается после видообразования и распространяется на все вышестоящие таксоны, обладающие в природных условиях практически полной генетической замкнутостью. Следовательно, она определяется общими изменениями генофонда систематических групп, включая их разнообразие. Таким образом, изучение эволюции, подобно анализу карты в разных масштабах, рассматривает одни и те же события с различных точек зрения (см. табл. на с. 273).

Сравнение микроэволюции и макроэволюции

	Микроэволюция	Макроэволюция
Результат	Эволюция популяций. Завершается видообразованием	Формирование надвидовых систематических групп и их видового состава
Механизмы	Действие направляющего фактора – естественного отбора – и ненаправленных факторов эволюции (мутационная и комбинативная изменчивость, популяционные волны, изоляция)	Не имеет специфических механизмов и осуществляется только посредством процессов микроэволюции в каждой группе видовых популяций, являясь их обобщённым выражением
Длительность	Происходит в исторически короткое время, изредка доступна для непосредственного наблюдения	Охватывает геологические промежутки времени, недоступные для непосредственного наблюдения

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Изменение популяций внутри вида составляет процесс микроэволюции. В условиях географической или экологической изоляции естественный отбор приводит к образованию новых видов. Изменение генетически замкнутых систем (от уровня вида и выше) за длительные отрезки времени составляет процесс макроэволюции.

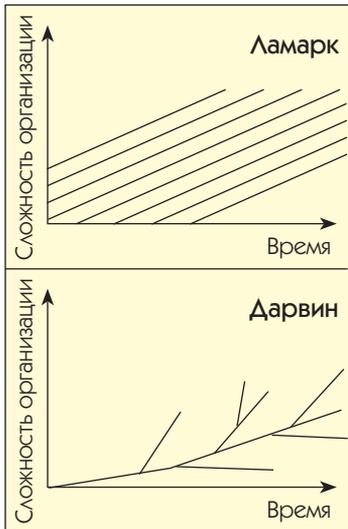
Географическое и экологическое видообразование. Макроэволюция

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

- Какую роль в видообразовании играют различные факторы эволюции?
- Какие причины приводят к тому, что из одного вида образуется два? Достаточно ли для этого изоляции?
- Объясните, как, по вашему мнению, могли образоваться головная и платяная вши.
- Происходит ли процесс видообразования в наше время и какие его этапы можно наблюдать?
- Может ли, по вашему мнению, деятельность человека повлиять на образование новых видов?
- Каков смысл в разделении микро- и макроэволюции? Почему именно видообразование завершает микроэволюцию и кладёт начало макроэволюции?

§ 47. Пути эволюции

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Ж. Ламарк: Просто устроенные организмы – эволюционно самые молодые. Они ещё не успели пройти по пути прогресса. Со временем они усложнятся, а их место вновь займут просто устроенные организмы, возникшие путём самозарождения.

Э. Геккель: Простейшие организмы – самые древние. С тех пор они существенно не менялись. Другие их потомки шли по пути усложнения и со временем достигли человеческого уровня.

- В чём заключается противоречие взглядов учёных на причины существования в природе просто устроенных форм? Кто из них прав?
- Сформулируйте проблему, которую пытались решить эти учёные, чтобы рассмотреть её на уроке. Свой вариант сравните с авторским на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что вы помните из 9-го класса о биологическом прогрессе и регрессе, ароморфозе, идиоадаптации, дегенерации?
- Что такое дивергенция (§ 40), гомологичные и аналогичные органы? (§ 41)
- Как Дарвин объяснял появление многообразия живых форм в природе? (§ 40)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Биологический прогресс

- По каким признакам можно оценить успешность существования систематической группы организмов?

Сосуществование организмов с высоким и низким уровнем организации – одна из проблем макроэволюции, не получившая последовательного разрешения в теории Ч. Дарвина. Эту задачу решил российский эволюционист А.Н. Северцов (1866–1936) в своей теории биологического и морфофизиологического прогресса. Она основана на положении Дарвина о приспособительной направленности эволюции.

Степень приспособленности группы организмов, или её успех в борьбе за существование, Северцов назвал **биологическим прогрессом**. Однако приспособленность, как мы знаем, относительна. Изменение среды обитания или появление в ней конкурентов приводит к снижению приспособленности – *биологическому регрессу* данной группы организмов, который может поставить их на путь вымирания. Судить об успешности группы организмов позволяет ряд признаков (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика биологического прогресса и биологического регресса

Признаки вида или более крупной систематической группы	Биологический прогресс	Биологический регресс
Численность	Возрастает	Сокращается
Область распространения	Расширяется	Сокращается
Количество подчинённых систематических групп	Увеличивается	Уменьшается

Пути достижения успеха могут быть крайне различными: одни виды лучше всех используют ресурсы глубин океана, другие устойчивы к высокогорным условиям, третьи нигде не достигают высокой плотности, зато могут выживать в любых условиях и получили широкое распространение.

Морфофизиологический прогресс

- По каким признакам (табл. 2) можно предсказать дальнейший путь эволюции систематической группы организмов?

Таблица 2

Признаки морфофизиологического прогресса

Признак	Пояснение	Пример
Морфологическая дифференциация	Подразделение структуры на различные элементы	Появление эукариотной клетки
Физиологическая интенсификация	Ускорение выполнения функции	Ускорение обмена веществ и переход к теплокровности
Интеграция организма	Координация взаимодействия органов	Возникновение нервной системы
Повышение уровня гомеостаза	Независимость от изменения внешних условий	Образование зародышевых оболочек в яйце
Возрастание переработки информации	Извлечение максимальной информации из внешней среды	Развитие мозга у позвоночных

Каждая группа организмов добивается биологического прогресса благодаря не только собственному набору адаптаций к определённому образу жизни, но и более универсальным адаптациям предков, которые закреплены в строении систем органов. Изучая систематику растений и животных, мы обращали внимание на то, что *морфологическая дифференциация* (подразделение структуры) организма и *физиологическая интенсификация* (ускорение функций) являются универсальными

адаптациями. Они повышают эффективность жизнедеятельности организма в широком диапазоне условий. Сравнивая эволюцию организмов с развитием техники, мы могли бы назвать такие адаптации крупными «природными изобретениями», а морфофизиологический прогресс в целом – «научно-техническим прогрессом» в эволюции (табл. 2).

А.Н. Северцов определил **морфофизиологический прогресс** как рост *уровня организации*, т.е. возрастание сложности строения и координации функций организма в ходе эволюции. Он различал три основных направления эволюции, позволяющих в общих чертах предсказать дальнейший путь развития группы. Для каждого пути характерны свои особенности строения и функций организма.

Ароморфоз

- Как образуются новые типы и классы организмов?

Путь приспособительной эволюции, связанный с морфофизиологическим прогрессом, Северцов назвал **ароморфозом** (от греч. *aíre* – поднимаю + *morphe* – форма). Это, к примеру, приспособление пресмыкающихся к жизни на суше. Интенсификация лёгочного дыхания и обмена веществ, практически полное разделение артериального и венозного токов крови, защита кожного покрова и отложенных яиц от высыхания позволили рептилиям приобрести независимость от водной среды и создать огромное разнообразие форм, даже освоить активный полёт.

Ароморфоз – крупное эволюционное изменение, ведущее к общему усложнению строения и функций организма. Оно открывает организму принципиально новые возможности в широком спектре условий. С ним связано возникновение адаптаций общего значения и новых систематических групп высокого ранга.

Дегенерация

- Совместим ли прогресс с упрощением строения?

Морфофизиологический регресс – это следствие высокого уровня приспособленности к специфическим условиям. Этот путь **общей дегенерации** «избрали» организмы, перешедшие к пассивному образу жизни: виды, прикреплённые к субстрату (оболочники, личинки которых ещё могут активно плавать, но взрослые уже нет), паразиты, особенно внутренние (паразитические черви: сосальщики, ленточные черви), и т.п. Эти группы сумели приспособиться и даже достичь заметного биологического успеха, но не оставили себе возможности для освоения принципиально новых местообитаний. Как правило, наличие богатой питательной среды приводит в конце концов к упрощению строения и функций.

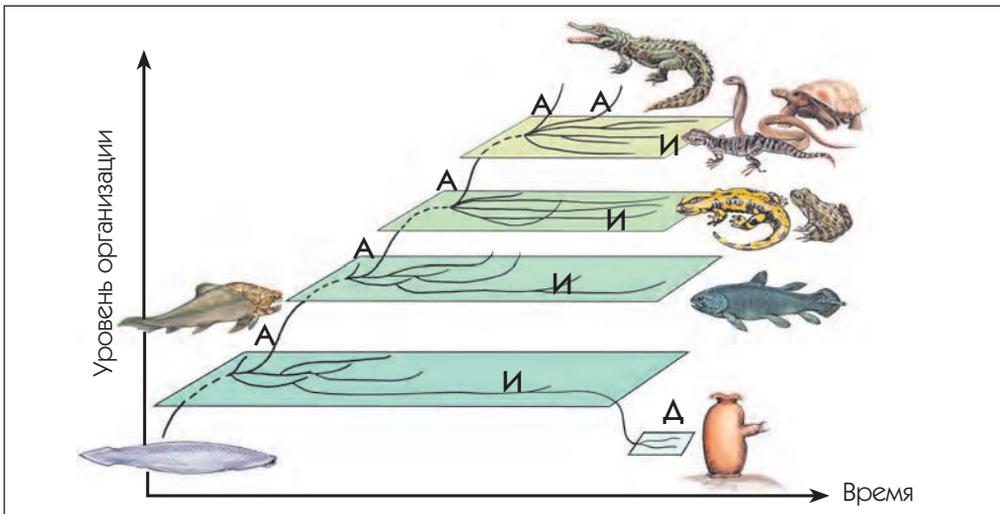
Идиоадаптация

- Как достигается разнообразие видов в группе, освоившей новую среду обитания?

Наконец, третий, наиболее обычный путь эволюции – **идиоадаптация** – не связан с изменением уровня организации. Он направлен на освоение той же среды обитания с помощью частных приспособлений к использованию элементов этой среды. К ним можно отнести: приобретение защитной окраски, специализацию на определённых кормовых растениях, особый тип устройства гнезда у животных, повышенную устойчивость к засухе или к распространению семян у растений.

Идиоадаптация достигается усовершенствованием строения и функций отдельных органов. Этот путь даёт большие возможности для увеличения численности популяций, расселения и видообразования. Однако чем глубже специализация вида к конкретному образу жизни, тем труднее изменить её при изменении условий.

Соотношение основных путей приспособительной эволюции показано на схеме (рис. 47.1).



47.1. Схема путей достижения биологического прогресса по А.Н. Северцову: А – ароморфоз; И – идиоадаптация; Д – дегенерация

Как «растёт» эволюционное древо

- Как расположены относительно друг друга «стволы» и «ветви» эволюционного древа?

Мы рассматривали дивергенцию признаков организмов в родственных популяциях. **Дивергенция** характерна и для макроэволюции: она образует разветвление предкового ствола группы организмов на обо-

собленные ветви в связи с развитием адаптаций к разным условиям внешней среды и способам использования ресурсов.

Сравнивая родственные систематические группы, обычно удаётся установить, какие именно условия способствовали расхождению отрядов, семейств, родов и видов. В каждом случае характер их специализации угадывается по видоизменению гомологичных органов (рис. 47.2).

Наряду с расхождением ветвей эволюционного дерева мы наблюдаем случаи, когда «веточки» сходятся хотя бы по некоторым, часто внешним признакам. Это явление схождения признаков в эволюции неродствен-



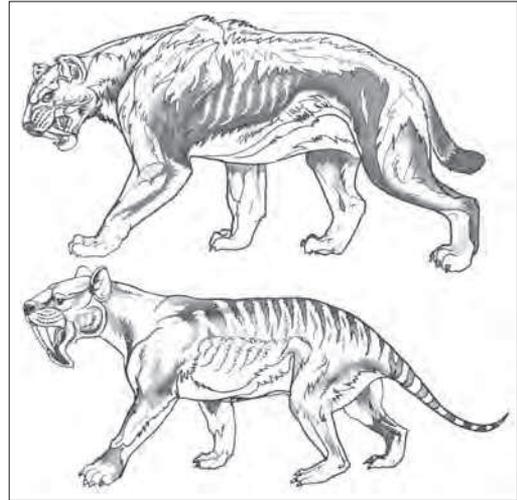
47.2. Дивергенция отрядов внутри класса птиц

- По какому пути идёт биологический прогресс в этих случаях?



47.3. Примеры независимых конвергентных приспособлений позвоночных к планирующему полёту

- Какие признаки свидетельствуют об их независимом происхождении?



47.4. Пример саблезубости среди сумчатых (вверху) и плацентарных (внизу) зверей – действие параллелизма

- Какие признаки унаследованы саблезубыми хищниками от своих предков?

ных форм называется **конвергенцией**. Оно возникает в случаях, когда представители разных систематических групп обитают в сходных условиях и ведут похожий образ жизни (рис. 47.3). Конвергенция ведёт к образованию аналогичных органов. Эти приспособления возникли независимо, а не унаследованы от общих предков.

Наконец, еще один вариант эволюции родственных групп организмов – **параллелизм**, или независимое развитие сходных признаков в эволюции родственных групп организмов. В этом случае направленность эволюции обеспечивается как сходством гомологичных органов и планов строения организмов, так и сходным образом жизни (рис. 47.4).

Необратимость эволюции

- Чем объясняется уникальность каждого эволюционного явления?

В основе генетического разнообразия лежат случайные реализации вероятностных процессов. Поскольку число возможных комбинаций генов чрезвычайно велико, повторение любого сочетания так же маловероятно, как то, что взятые наугад буквы сложатся в роман «Война и мир».

Признаки организма определяются уникальным сочетанием родительских генов. Ещё больше уникальность популяций и видов, несмотря на то что естественный отбор удерживает изменения их генофонда в

приспособительном русле. Каждый вид обладает индивидуальной историей, запечатлённой в строении организма. Поэтому конвергенция никогда не может быть полной. Следовательно, *эволюция необратима*, все её события уникальны и никогда не повторяются. Вымирание любого вида – невосполнимая потеря для природы.

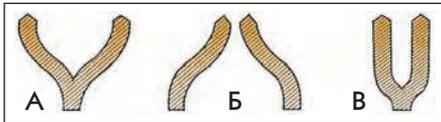
ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Биологический прогресс группы организмов – это успех в борьбе за существование, сопровождающийся ростом численности, расширением ареала и увеличением разнообразия форм. Морфофизиологический прогресс – это высокий уровень организации. Биологический прогресс может достигаться как при повышении (ароморфоз), так и при понижении (общая дегенерация) или без изменения уровня организации (идиоадаптация). Приспособление общих предков к различным условиям приводит к дивергенции их признаков и увеличению биологического разнообразия. При этом в сходной среде похожие признаки могут возникнуть и в других систематических группах, как родственных (параллелизм), так и неродственных (конвергенция). Пути эволюции живого на Земле невозможно воспроизвести, они неповторимы и необратимы.

Биологический прогресс. Ароморфоз, общая дегенерация, идиоадаптация. Дивергенция. Конвергенция. Параллелизм

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Приведите примеры биологического прогресса и регресса, не изложенные в тексте учебника.
2. • Всегда ли успех в борьбе за существование совпадает с морфофизиологическим прогрессом?
3. • Приведите другие примеры ароморфозов, дегенераций и идиоадаптаций.



47.5. Форма ветвления эволюционного древа

4. • Какие соотношения между ветвями эволюционного древа изображены на рисунке 47.5?
5. • В чём преимущества и недостатки высокого и низкого уровней организации?
6. • Почему высшие растения по уровню организации ниже, чем высшие животные?

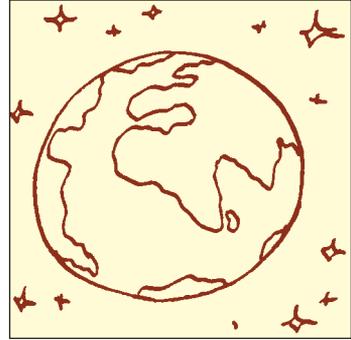
§ 48. Где и как появилась жизнь

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Ж.Б. Ламарк: Если жизнь появилась на Земле, значит, должно происходить самозарождение.

Л. Пастер: Самозарождение невозможно. Опыт показывает, что всё живое появляется только от живого.

- На какое противоречие вы обратили внимание? (Могут ли оба высказывания быть истинными? В наше время нет динозавров. Значит ли это, что их никогда не было?)
- Какие события и процессы в истории Земли необходимо рассмотреть для формирования собственной точки зрения в этом споре? Сформулируйте задачу урока и сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что вы помните об условиях на древней Земле, о взглядах разных учёных на проблему происхождения жизни? (9 класс)
- Какими свойствами должен обладать живой организм? (§ 3)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

- Найдите в тексте информацию о том, как различные учёные объясняли происхождение жизни. В чём, на ваш взгляд, сильные и слабые стороны их гипотез и теорий?

Креационизм

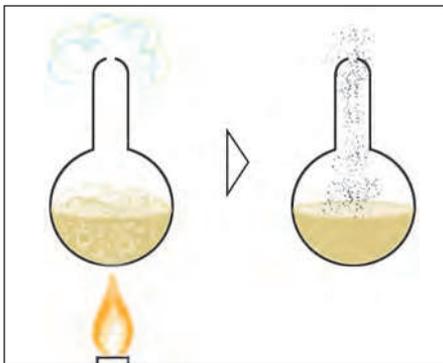
Согласно этой точке зрения, жизнь возникла в прошлом в результате чуда – акта творения. Поскольку это событие уникальное, его нельзя наблюдать, повторить, смоделировать, т.е. оно не может рассматриваться с научной точки зрения. Следовательно, в Сотворение мира можно лишь верить.

Самопроизвольное зарождение

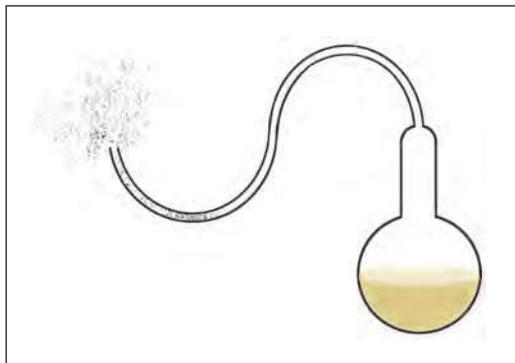
Вплоть до XVII века не только обыватели, но и учёные рассматривали самозарождение живых организмов как нечто само собой разумеющееся. Это не случайно, ведь о размножении зверей и птиц, которых люди издавна разводили, они знали достаточно. А вот о том, как на самом деле появляется плесень на хлебе, почему мухи и тараканы заводятся в пищевых отходах, известно было мало. Раз они там появляются, значит, самозарождаются. Такое простое объяснение многих до поры до времени устраивало, хотя и противоречило господствующему креационизму.

Первое серьёзное доказательство невозможности самозарождения было получено в экспериментах итальянского врача Франческо Реди в 1688 г. Он установил, что личинки мух появляются не из гнилого мяса, а из яиц, отложенных мухами. Для этого он закрыл часть сосудов с гниющим мясом марлей, которая препятствовала попаданию в него яиц мух. В этих сосудах «самозарождения» мух не произошло. Но, признавая этот факт у мух, многие учёные продолжали считать, что простые организмы (например, простейшие) возникли из мяса, ведь оно же протухло и под марлей. Учитывая это, Ламарк включил постоянно идущий процесс самозарождения живых организмов в качестве элемента своей эволюционной теории.

Следующий, более строгий эксперимент, окончательно доказавший, что в наше время **всё живое происходит только от живого** и что самозарождения в природе не бывает, был поставлен микробиологом Луи Пастером (1822–1895) в 1862 году.



48.1. Прокипячённый бульон может долго храниться в запаянной колбе, но портится, если колбу оставить открытой



48.2. Бульон остаётся прозрачным в колбе с припаянной открытой S-образной трубкой. Однако капля бульона, оставленная в колене трубки, мутнеет очень скоро

- О том, что после кипячения запаянного сосуда самозарождения не происходит, было уже известно. Но многие учёные считали, что при этом в бульон не попадает «жизненная сила», которая необходима для самозарождения. Объясните, в чём смысл опыта Л. Пастера. Какую роль играет открытая S-образная трубка?

Опыты Пастера легли в основу метода **пастеризация**. Оказалось, продукты в герметичной упаковке достаточно в течение получаса выдержать при температуре 60–70 °С, чтобы они долго не портились.

Панспермия

После опытов Пастера уже никто не сомневался, что живое происходит только от живого. Но тогда как же на Земле появился первый живой

организм? Трудность ответа на этот вопрос заставила учёных искать решение в космосе. Шведский физик Сванте Аррениус в 1895 году выдвинул гипотезу панспермии, согласно которой жизнь вечна, но была занесена на Землю с других планет вместе с метеоритами и космической пылью. Действительно, известно, что споры бактерий и семена растений весьма устойчивы к неблагоприятным воздействиям. Однако главная трудность теории панспермии состоит в том, что она не решает проблему возникновения жизни, а просто переносит её в иную часть Вселенной.

Теория биохимической эволюции

В 20-е годы XX века русский учёный А.И. Опарин (1894–1980) и англичанин Дж. Холдейн обосновали теорию о возникновении жизни в процессе биохимической эволюции углеродных соединений, которая и легла в основу современных представлений.

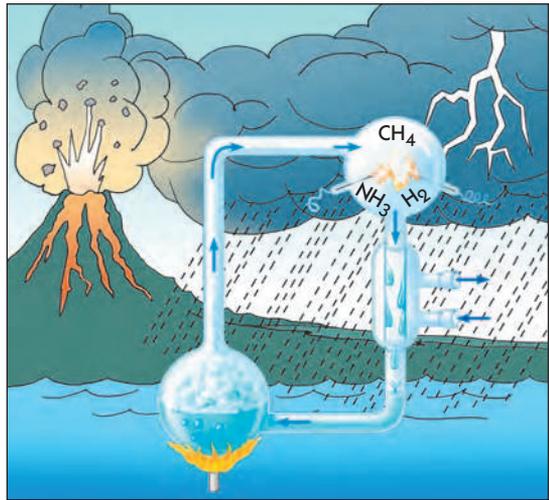
Если живое в настоящее время может произойти только от живого, то это не значит, что так было всегда. Первичная атмосфера Земли отличалась от нынешней атмосферы прежде всего отсутствием свободного кислорода. Она была восстановительной и изобиловала водородом, метаном и аммиаком, в ней действовало жёсткое ультрафиолетовое излучение (ведь озонового экрана не было) и радиоактивное излучение. В этих условиях, по мнению Опарина и Холдейна, в атмосфере и водоёмах мог идти процесс синтеза органических веществ из неорганических.

Предположения учёных блестяще подтвердились опытами американских учёных С. Миллера и Г. Юри, проведёнными в 1953 г., а позднее и многими другими исследователями (рис. 48.4). Они смоделировали условия древней Земли и доказали, что при этом мог идти синтез практически всех мономеров основных биополимеров.

Таким образом, теория биохимической эволюции может объяснить самозарождение жизни в прошлом, но объясняет лишь первые шаги этого процесса.



48.3. А.И. Опарин



48.4. Опыты Миллера и Юри, других учёных, моделирующие процессы в первичной атмосфере Земли

Современные представления о возникновении жизни

- Разберитесь с помощью текста и рисунков, какие этапы происхождения жизни выделяют современные учёные и какие модели рассматривают для объяснения этих этапов.

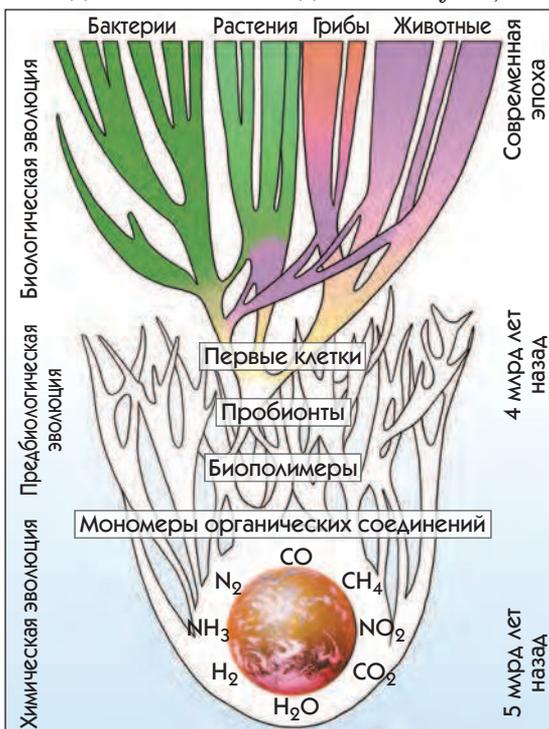
Согласно современным представлениям, выделяют три этапа формирования жизни, или **абиогенеза**: 1) этап химической эволюции, или абиогенное возникновение органических мономеров; 2) предбиологический этап, сопровождающийся формированием биологических полимеров и пробионтов; 3) этап биологической эволюции (рис. 48.5).

Этап химической эволюции

- Опишите условия, в которых проходила химическая эволюция. Чем они отличались от современных? Какие источники энергии обеспечивали синтез органических мономеров? Получены ли экспериментальные подтверждения этому этапу?

Этап предбиологической эволюции

Если первый этап биохимической эволюции был подтверждён множеством экспериментов, то второй этап во многом основан на косвенных данных. Они свидетельствуют, что при определённых условиях из



48.5. Важнейшие этапы химической эволюции и её переход к биологической эволюции

мономеров возможен синтез полимеров (из жирных кислот и спиртов – липидов, из аминокислот – белков, из нуклеотидов – нуклеиновых кислот). Это, в частности, могло происходить при высыхании водоёмов, сопровождавшемся многократным увеличением концентраций мономеров.

Но по-прежнему трудно представить, каким образом из органических веществ появились первые организмы. Здесь пока остаётся только строить гипотезы. Ведь для появления первого организма необходимо, чтобы произошло объединение каталитической функции, присущей белкам, и информационной, которая присуща нуклеиновым кислотам. Свет на это явление пролили исследования РНК, которая, как оказалось, может

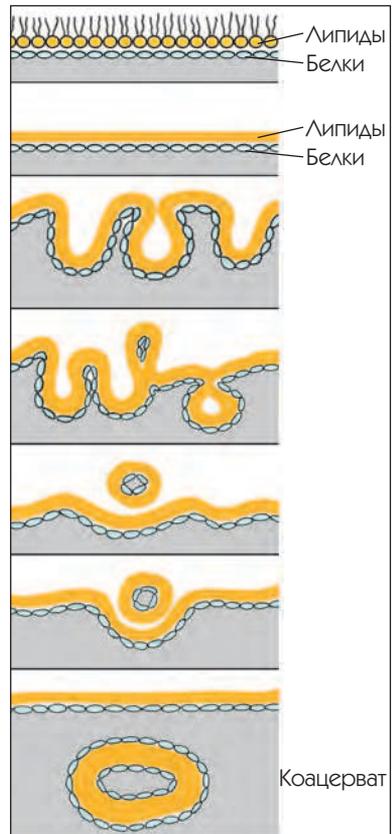
иметь ярко выраженную каталитическую активность и способна к самовоспроизведению при отсутствии белковых ферментов. Возможно, дальнейшая эволюция протобионтов шла в сторону разделения функций, первоначально присущих РНК: каталитические функции стали выполнять белки, информационные – ДНК. В результате появилось такое свойство живого организма, как самовоспроизведение.

А.И. Опарин предложил модель, объясняющую возникновение обмена веществ и роста. Белки в водном растворе образуют капли, отграниченные плёнкой поверхностного натяжения от окружающей водной среды. Такие комплексы, сливаясь друг с другом, образуют *коацерваты*, способные обмениваться веществами с окружающей средой, расти и избирательно концентрировать различные соединения. При известных условиях в них накапливаются белки-ферменты и нуклеиновые кислоты.

Системы такого рода уже обладают некоторыми признаками живого, но для превращения в живые организмы им не хватало мембран, обладающих избирательной проницаемостью, т.е. способных пропускать и задерживать нужные вещества. Последние могли образоваться из липидных плёнок, покрывающих поверхность водоёмов, к которым присоединялись различные растворённые в воде белки. При волнении и порывах ветра фрагменты липидных плёнок вместе с молекулами белка иногда могли подниматься в воздух и падать обратно, покрываясь вторым липидно-белковым слоем (рис. 48.6). Но лишь те из этих пузырьков, которые содержали коацерваты с белками и нуклеиновыми кислотами и обладали свойствами обмена веществ и самовоспроизведения, стали прототипами клеток *пробионтов* – первых гетеротрофных организмов.

Этап биологической эволюции

- В каких важнейших направлениях шла биологическая эволюция? Какие события, на ваш взгляд, следует подробно описать в последующих параграфах, посвящённых развитию жизни на Земле?



48.6. Формирование мембранных структур по А.И. Опарину

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Наука объяснила, что в современных условиях жизнь может появиться только от других живых организмов. Тем не менее на древней Земле около 4 млрд лет назад произошло самозарождение жизни из неживой материи путём химической и предбиологической эволюции.

Абиогенез. Пастеризация. Коацерват. Пробионт

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Как эволюционная теория справилась с противоречием между невозможностью самозарождения живых организмов и происхождением жизни из неживой природы?
2. • На какие из гипотез и теорий опираются современные представления о происхождении жизни на Земле?
3. • Что современная наука установила точно о происхождении жизни, а о чём она высказывает лишь предположения?
4. • Почему в современных условиях не может вновь появиться жизнь? Что этому мешает?
5. • В чём состоит сложность вопроса о происхождении жизни? Можно ли его изучить экспериментально?
6. • А.И. Опарин называл мелкие водоёмы в период образования жизни на Земле «первичным бульоном». Что, на ваш взгляд, он имел в виду?
7. • Определите по рисунку 48.5 примерную продолжительность рассмотренных периодов. Сравните с продолжительностью существования основных типов царства животных (около 0,5 млрд лет). О чём говорит такая разница?

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА ИСТОРИИ ЗЕМЛИ И ЖИЗНИ НА НЕЙ

Геохронологическая шкала – это своеобразный «календарь» для периодов времени в миллионы лет, применяемый в геологии и палеонтологии.

В основу этого большого «календаря» истории Земли положен принцип, сформулированный в 1669 году шведским врачом и основателем научной геологии Н. Стеноном. Он гласит: когда не нарушена первичная последовательность образования геологических толщ, вышележащие геологические породы образовались после нижележащих, т.е. вышележащие породы моложе, а нижележащие – древнее. В 1799 году английский инженер У. Смитт показал, что разновозрастные геологические отложения обладают разными комплексами ископаемых организмов. Это позволило синхронизировать геологические события весьма удалённых стран, расположенных на разных материках. Последовательность основных этапов развития нашей планеты, отмеченных в глобальной геохронологической шкале, основана прежде всего на данных палеонтологии. Поэтому все названия эр – крупнейших подразделений геохронологической шкалы – даны в соответствии с этапами развития жизни на Земле. Позже, уже в XX веке, прежде всего благодаря определению скоростей распада радиоактивных минералов, удалось создать абсолютную шкалу геологического времени, выраженную в миллионах лет.

• Поработайте с таблицей и ответьте на вопросы:

1. Всегда ли условия жизни на Земле были близки к современным?
2. Как вы думаете, чем обусловлен тот факт, что чем ближе к нашему времени находится эра, тем она короче во времени?
3. Жизнь на Земле развивалась от простых форм к более сложным. Найдите свидетельства этого в приведённом на с. 288 «календаре» основных событий в истории жизни на Земле.
4. Проследите, в какой последовательности на Земле появлялись крупнейшие группы растений.
5. Проследите, в какой последовательности на Земле появлялись крупнейшие группы животных.
6. Как вы думаете, почему амфибии вышли на сушу позже беспозвоночных, а беспозвоночные – позже многоклеточных растений?
7. На примере систематики самого известного вам вида – человека – определите, сколько миллионов лет существуют таксоны различного ранга.

Геохронологическая шкала

Эра	Период	Условия жизни	События
Кайнозой, или эра новой жизни 66–0 млн лет назад	Четвертичный период, или антропоген (1,8–0,01 млн лет назад).	Четыре мощных оледенения в Северном полушарии, похолодание климата.	Формирование современной флоры и фауны. Эволюция человека: изготовление орудий, одежды, освоение огня, охота на крупных млекопитающих. В конце периода возникает обширная зона тайги, вымирание большей части самых крупных зверей: гигантских сумчатых, ленивцев и броненосцев, слонов, носорогов, лошадей, саблезубых кошек.
	Неогеновый период, или неоген (5–1,8 млн лет назад).	Продолжение похолодания. Сокращение тропических и субтропических поясов.	Возникают тайга и тундра. Выход человекообразных обезьян в открытые, саванновые ландшафты. Возникновение семейства и самых древних представителей рода людей.
	Палеогеновый период, или палеоген (66–5 млн лет назад).	Потепление климата к концу его сменяется похолоданием.	Господство покрытосеменных растений. Возникают степи и саванны на основе злакового разнотравья. Господствуют костистые рыбы, птицы и млекопитающие. Млекопитающие впервые в своей истории выходят в крупный размерный класс. Появляются приматы, к концу периода – человекообразные.

Эра	Период	Условия жизни	События
Мезозой, или эра средней жизни 251–66 млн лет назад	Меловой период, или мел (145–66 млн лет назад).	Климат тёплый, в конце периода похолодание. Море наступает на сушу.	Возникновение, а во второй половине периода – быстрое распространение цветковых растений. Широкое распространение опыления растений насекомыми. Появляются общественные насекомые: термиты, муравьи, пчёлы, осы. Начинается господство костистых рыб. Возникновение настоящих птиц. В конце периода вымирание многих планктонных организмов, почти всех раковинных головоногих, крупных рептилий – динозавров, плезиозавров и ихтиозавров.
	Юрский период, или юра (200–145 млн лет назад).	Тёплый влажный климат, к концу периода более засушливый.	В крупном размерном классе господствуют динозавры, в мелком – млекопитающие, ящеры. Возникновение плацентарных и сумчатых. В конце периода появляется археоптерикс – первоптица.
	Триасовый период, или триас (251–200 млн лет назад).	Потепление, климат засушливый, ослабление климатической зональности.	Многочисленные в начале периода крупные рыбоядные амфибии к концу периода вымирают почти полностью. Возникновение современных отрядов земноводных. Резкое сокращение зверообразных, а к концу периода почти полное их вымирание. Широкое распространение морских пресмыкающихся (плезиозавров, ихтиозавров). Возникновение костистых рыб, черепах, крокодилов, летающих ящеров, динозавров, включая предков птиц, и млекопитающих. Вымирают трилобиты.

Эра	Период	Условия жизни	События
Палеозой, или эра древней жизни 542–251 млн лет назад	Пермский период, или пермь (300–251 млн лет назад).	В начале периода оледенение в Южном полушарии, похолодание и иссушение климата. Резкая климатическая зональность.	Широкое распространение голосеменных, особенно к концу периода. В конце периода – самое мощное вымирание морских беспозвоночных за всю историю жизни. Вымирание трилобитов. Пресмыкающиеся впервые по разнообразию превосходят амфибий. Господство зверообразных. Появление чешуйчатых пресмыкающихся – предков ящериц и змей. Возникновение древнейших морских пресмыкающихся и текодонтов – предков динозавров и летающих ящеров.
	Каменноугольный период, или карбон (359–300 млн лет назад).	Теплый влажный климат. Выражена климатическая зональность. В конце периода – похолодание, завершившееся оледенением.	Широкое распространение болотистых лесов. Накопление неразложившейся древесины дало начало крупным залежам каменного угля. Широкое распространение раковинных простейших – фораминифер, кораллов, моллюсков. Резкое сокращение разнообразия трилобитов. Возникновение крылатых насекомых. Господство акул, костных рыб и амфибий. Возникновение пресмыкающихся и зверообразных четвероногих.
	Девонский период, или девон (416–359 млн лет назад).	Тёплый влажный климат, зональность слабо выражена. Чередование засушливого и дождливого сезонов.	Появление древовидных папоротников, плаунов и хвощей. Возникновение древнейших голосеменных. Во второй половине периода – древнейшие леса. Среди рыб господствуют акулы, двоякодышащие и кистепёрые рыбы. Возникновение аммонитов, костных рыб и земноводных.

Эра	Период	Условия жизни	События
Палеозой, или эра древней жизни 542–251 млн лет назад	Силурийский период, или силур (444–416 млн лет назад).	Постепенное потепление и иссушение климата.	Возникновение: моховидных и древнейших сосудистых растений – папоротниковидных. Освоение суши многоклеточными беспозвоночными: паукообразные, многоножки, первичнобескрылые насекомые. Древнейшие коралловые рифы. Возникновение головоногих моллюсков, панцирных, двоякодышащих, кистепёрых и, вероятно, костных рыб.
	Ордовикский период, или ордовик (488–444 млн лет назад).	Увеличение площади морей в начале периода и сокращение их в его конце.	Широкое распространение водорослей, трилобитов и полухордовых – граптолитов. Возникновение древнейших кораллов, челюстноротых – рыб. Резкое сокращение разнообразия древних губок.
	Кембрийский период, или кембрий (542–488 млн лет назад).	Оледенение в начале периода сменяет потепление. Наступление моря на сушу. Жизнь сосредоточена в мелководных морях.	Появление в палеонтологической летописи всех современных типов многоклеточных, включая низших бесчелюстных позвоночных. Широкое распространение многоклеточных водорослей и животных с минерализованным скелетом среди представителей разных типов. Появление почти всех классов моллюсков.

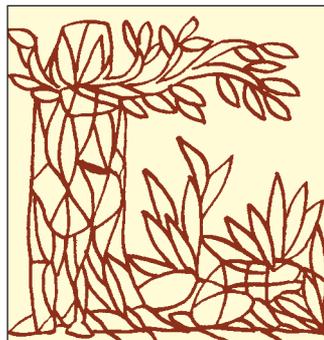
Эра	Период	Условия жизни	События
Протерозой, или эра древнейшей жизни 2500–542 млн лет назад	Вендский период, или венд (630–542 млн лет назад).	Тёплые мелководные моря.	Вспышка разнообразия крупных мягкотелых многоклеточных животных, вымерших в конце периода. К этому времени, вероятно, уже существовали все типы беспозвоночных животных. Широко распространены простейшие, губки, кишечнорастворимые, черви, вероятные предки иглокожих и трилобитов.
	Рифейский период, или рифей + нижний протерозой (2500–630 млн лет назад).	«Кислородная революция»: 2,2 млрд лет назад концентрация кислорода достигла 1% (1-я точка Пастера), а 1,9 млрд лет назад – 10% (2-я точка Пастера). Последняя обеспечивает начало возникновения озонового экрана. Несколько оледенений.	Озоновый экран обеспечил возможность освоения суши прокариотами. Расцвет цианобактерий. Возникновение аэробных прокариот, простейших, многоклеточных эукариот, включая животных. Возникновение полового размножения.
Архей, или эра ранней жизни 4000–2500 млн лет назад		Бескислородная атмосфера. Анаэробные условия жизни в мелководных морях.	Происхождение жизни. Древнейшие свидетельства существования жизни. Первые прокариотические клетки бактерий. Возникновение цианобактерий и начало фотосинтеза. В конце эры – древнейшие строматолиты – образования, состоящие из слоёв ископаемых прокариотических организмов и минеральных осадков.

§ 49. Эра скрытой жизни

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Обыватель: Я слышал, что многие миллиарды лет на Земле ничего не происходило, а потом одновременно появилось множество современных систематических групп.

Учёный: В течение архейской и протерозойской эр на Земле впервые произошло много очень важных событий, которые и составляют значительную часть учебника общей биологии (появление фотосинтеза, полового размножения, эукариот, митоза и мейоза). Просто в эту эпоху палеонтологическая летопись очень неполна, а начиная с кембрийского периода в осадочных породах появляются ископаемые остатки, и летопись становится гораздо более полной: ведь у живых организмов появился скелет.



- Можно ли считать события эры скрытой жизни простыми или незначительными?
- На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Когда и как возникла жизнь? Какие условия были на Земле в прошлом? (§ 48)
- Вспомните значение таких общебиологических явлений, как фотосинтез, хемосинтез и клеточное дыхание (§ 13–14); отличие эукариот и прокариот (§ 10); значение митоза и мейоза (§ 16), полового размножения (§ 21).
- Что такое ароморфоз? (§ 47)
- Вспомните, что такое колония микроорганизмов. (5 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Возникновение фотосинтеза

- В чём состоит значение фотосинтеза для преобразования биосферы?
- Объясните значение слов «анаэробный» и «абиогенный».

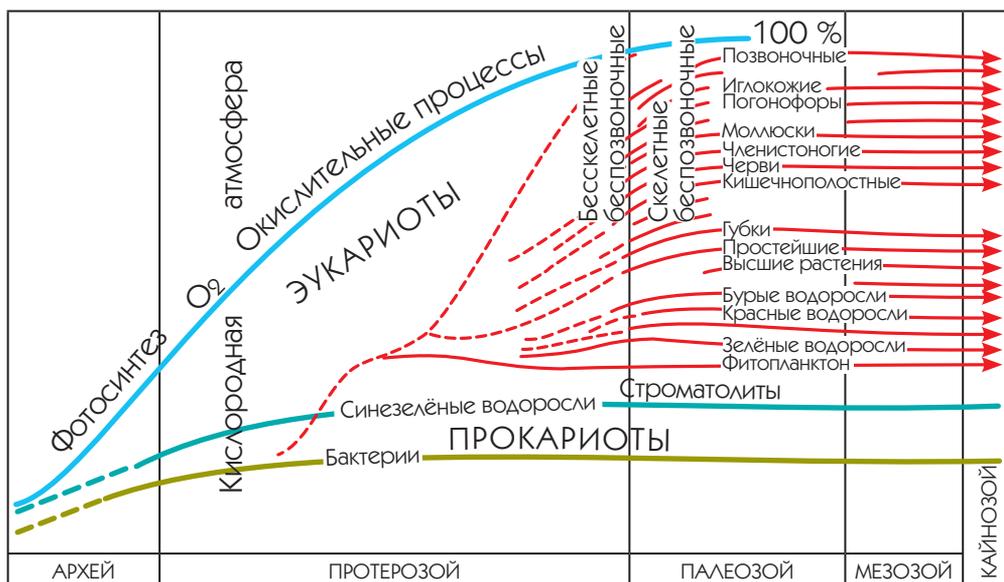
Первые живые организмы – пробионты – были устроены весьма просто и напоминали современных бактерий. Они были анаэробными гетеротрофами, т.е. питались готовым органическим веществом. В пользу этого свидетельствует, например, тот факт, что процессы разложения сложных органических молекул на мономеры – наиболее универсальная составляющая обмена веществ любого организма. Мелкие водоёмы той поры, по меткому названию А.И. Опарина, представляли собой «первичный бульон», наполненный разного рода органическими веществами, возникавшими в результате идущего медленно, но постоянно абиогенного синтеза веществ. Однако эффективность синтеза была невелика, поэтому источников пищи и энергии постоянно не хватало.

Первые автотрофные формы, способные использовать для синтеза органических веществ энергию солнечных лучей (фотосинтез) или химических связей (хемосинтез), получили явное преимущество. С этого момента на планете стал действовать полноценный биотический круговорот в биосфере, включающий на первых порах продуцентов и редуцентов, а позднее и консументов. С этих пор жизнь перестала зависеть от синтеза органических веществ в неживой природе. Первые фотосинтезирующие формы кислород не образовывали. Лишь с появлением цианобактерий, выделяющих кислород в качестве побочного продукта фотосинтеза, на планете началось накопление этого газа в атмосфере, оказавшее огромное влияние на дальнейшую эволюцию жизни (рис. 49.1).

Кислородная «революция»

- Почему накопление кислорода в атмосфере сыграло революционную роль?

Появление фотосинтеза привело к росту концентрации кислорода в атмосфере Земли. Этот активный химический элемент вступал в окислительную реакцию с другими элементами. Именно в это время образовались самые крупные на Земле залежи железной руды (оксидов железа) вроде Курской магнитной аномалии. Все они – органогенного происхождения, т.е. созданы деятельностью бактерий. Из-за быстрого



49.1. Схема развития кислородной атмосферы и органического мира

- Как кислородная «революция» повлияла на разнообразие живой природы? Каковы причины этого?

связывания кислорода его содержание в атмосфере увеличивалось очень медленно. Тем не менее, достигнув определённой концентрации, кислород стал для обитателей Земли сильным ядом. Он вызвал настоящую экологическую катастрофу и вымирание большинства существовавших тогда форм жизни.

Оборотной стороной доступности мощного окислителя стало появление организмов, эффективно использующих кислород для извлечения энергии из органических веществ. Это стало «экономически оправданным» в тот момент, когда концентрация кислорода в атмосфере достигла 1% от современного. В результате КПД обмена веществ резко возрос: ведь в ходе клеточного дыхания из каждой молекулы глюкозы стало возможным получать 38 молекул АТФ (вместо двух при бескислородном брожении)! С появлением дыхания жизнь ускорила на порядок, а вместе с ней выросли и темпы органической эволюции.

Появление эукариот

- Как, когда и почему появились эукариотные организмы?

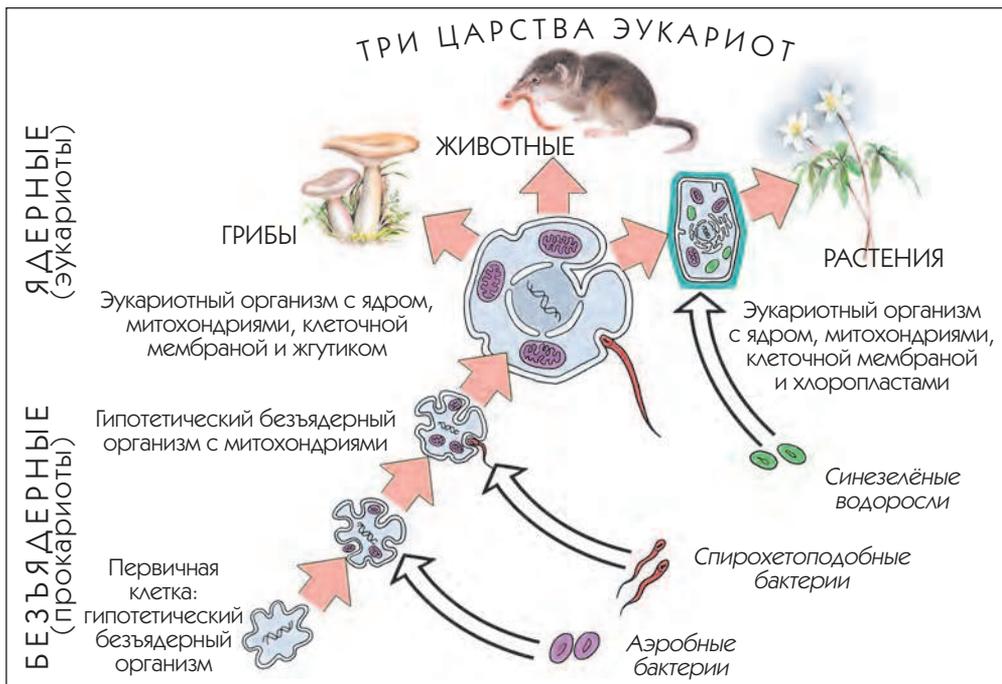
Прокариотные (безъядерные) организмы состоят из одной сравнительно небольшой клетки, их размер обычно составляет несколько микрон. Такие мелкие организмы имеют сравнительно большую относительную поверхность. А это значит, что окружающая среда весьма сильно влияет на них. Вместе с тем и внутренняя поверхность мембран, на которой, как правило, располагаются белки-ферменты и идут все реакции, у них достаточно велика. Поэтому обмен веществ бактерий весьма интенсивен.

Укрупнение клетки поощрялось отбором, так как уменьшало влияние среды. Кроме того, среди мелких организмов крупные становились менее уязвимыми при нападении. Но увеличение поверхности при этом отставало от увеличения объёма, и ощущался недостаток места для размещения белков-ферментов: скорость обмена веществ падала.

В процессе эволюции был найден выход из этой ситуации. При возникновении эукариот дополнительные поверхности создаются за счёт впячивания складок мембран внутрь клетки, а также за счёт появления новых мембранных органелл, образовавшихся путём симбиоза крупной клетки с мелкими аэробными бактериями (митохондриями) и цианобактериями (хлоропласты). О том, что нынешние органеллы были когда-то отдельными свободноживущими организмами, свидетельствует ряд факторов:

- пластиды и митохондрии образуются только из себе подобных путём их деления;
- обе органеллы обладают, как и прокариоты, кольцевыми ДНК и собственными рибосомами;
- за построение внутренней мембраны митохондрии отвечает ДНК митохондрии, а внешней – ДНК клеточного ядра.

Увеличение поверхности мембран позволило решить ещё одну задачу. В просто устроенной прокариотной клетке различные процессы происходят в едином объёме, мешая друг другу. Появление дополнительных мембран разделило клетку на отдельные «комнаты», в каждой из которых протеканию химических реакций не мешают процессы из соседних «комнат». Это явление получило название *компарментализации*.



49.2. Возможный путь образования эукариотических организмов

- Объясните с помощью схемы, как появились основные органеллы эукариотной клетки.

Возникновение полового процесса

- Постарайтесь объяснить, какую роль в эволюции живой природы сыграло появление упорядоченного деления клеток и полового размножения.

Усложнение генетического материала в ядре эукариот привело к тому, что он стал храниться не в виде кольцевой ДНК (как у прокариот), а в виде плотно упакованных белками хромосом. Это привело к появлению сложного процесса деления клетки – *митоза*, обеспечивающего равномерное расхождение хромосом по дочерним клеткам.

Прокариоты могут нерегулярно обмениваться фрагментами своего генетического материала. У подавляющего большинства эукариот возник **половой процесс**, т.е. регулярный обмен генетическим материалом.

Обычно он совмещался с делением клетки, превратившись в **половое размножение**. Поскольку при слиянии клеток генетический материал удваивался, в то же время возник и противоположный процесс – *мейоз*, включающий редукционное деление. Этот специальный тип деления клеток, как вы уже знаете, вдвое уменьшал число хромосом перед каждым половым размножением.

Весь комплекс этих важнейших ароморфозов имел далеко идущие последствия. Он создал возможность для появления и широкого распространения диплоидности, доминантности и рецессивности, комбинативной изменчивости и многих других процессов и явлений, определивших темпы и характер эволюции эукариот.

- Какое преимущество имеет диплоидность? Почему высшие животные и растения, как правило, диплоидны?
- Какую роль в эволюции высших животных и растений играет комбинативная изменчивость? (§ 30–31)

Появление многоклеточных организмов

- Когда, как и почему возникли многоклеточные организмы?

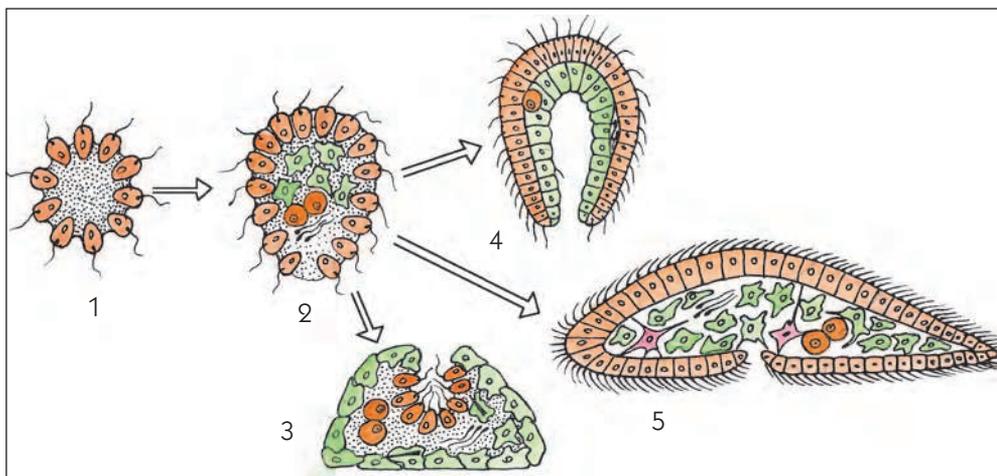
Преимущества большого размера столь велики (прежде всего из-за превосходства над конкурентами), что эволюция организмов пошла по этому пути и дальше. Сильно увеличить размеры клетки невозможно, так как затрудняется питание и дыхание через поверхность. Поэтому дальнейший рост размеров шёл по пути многоклеточности.

В колонию объединялись однородные эукариотические клетки, но их положение в колонии позволило специализироваться на различных функциях. Поскольку каждая клетка смогла лучше выполнять свою узкую задачу, эффективность работы всей колонии, ставшей постепенно целостным организмом, повысилась. Это увеличило взаимную зависимость клеток и потребовало возникновения более тонкой регуляции с помощью нервной системы. В ходе дальнейшей эволюции сформировался мозг – орган централизованного управления и возник разнообразный мир гигантских организмов. Даже мелкие многоклеточные организмы обычно в разы превосходили самых крупных одноклеточных.



Колониальные одноклеточные организмы, существующие сегодня, подсказали учёным наиболее вероятные пути происхождения многоклеточных в истории развития жизни на Земле (рис. 49.3).

1. Многоклеточные животные произошли от колониальных простейших.
2. Эффективность колониального образа жизни повысилась в результате разделения функций клеток внешней и внутренней части колонии.
3. Сидячие формы приспособились к донной фильтрации путём «выворачивания наизнанку»: жгутиковые клетки, переместившись внутрь колонии, обеспечили постоянный ток воды сквозь колонию и извлечение мелких частиц пищи из неё. Такое строение имеют современные губки.



49.3. Схема, объясняющая происхождение многоклеточных

4. Колонии, образовавшие внутреннюю полость, смогли использовать её сокращения как реактивный двигатель, чтобы приподняться над уровнем дна. Эта же полость послужила для захвата более крупной добычи. Принципиально такое строение имеют кишечнополостные.

5. Другие формы, питаясь донной органикой, освоили передвижение по дну. Их ожидало большое будущее. Таков план строения первых плоских червей.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Эра скрытой жизни (архей и протерозой) продолжалась более трёх миллиардов лет: от момента возникновения жизни вплоть до наступления палеозойской эры. Хотя палеонтологические следы этой жизни обнаруживаются крайне редко, учёным удалось реконструировать целый ряд важнейших ароморфозов, определивших будущий облик живой природы: возникновение фотосинтеза, эукариотной клетки, полового размножения, появление многоклеточных организмов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● В чём важность ароморфозов, возникших в эру скрытой жизни?
2. ● Какие события произошли в архейскую, а какие – в протерозойскую эру?
3. ● Почему нельзя точно датировать описываемые в параграфе события?
4. ● Попробуйте объяснить, почему жизнь началась в водной среде.
5. ● Какое из описанных в параграфе событий вы считаете самым важным для развития жизни на Земле?
6. ● Поработайте в паре: пусть один из вас выберет самый важный, с его точки зрения, ароморфоз и будет доказывать его важность, а второй – будет оспаривать это.



§ 50. Эра явной жизни

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Эволюция происходит постепенно, шаг за шагом, без возвратов и повторений.

Факт 2. В начале кембрия у самых различных, далёких в родственном отношении многоклеточных животных почти одновременно формируется скелет.

- На какое противоречие вы обратили внимание?
- На какой вопрос мы будем искать ответ? Предложите свой и сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие важнейшие ароморфозы возникли в докембрии? (§ 48)
- В каких направлениях шла прогрессивная эволюция растений и животных? (§ 20)
- Что такое чередование поколений? (§ 21)



РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Скелетная «революция»

- Сформулируйте причины, обусловившие одновременную скелетизацию в большинстве групп многоклеточных животных.

Только во второй половине XX века ископаемые остатки организмов докембрийского возраста стали изучать всерьёз. Поэтому долгое время казалось, что все современные типы организмов появились в кембрии, «как чёртик из коробочки». Оказалось, что древнейшие организмы были бесскелетными – не имели твёрдых частей и сохранялись в ископаемом состоянии лишь в исключительных случаях, в виде отпечатков.

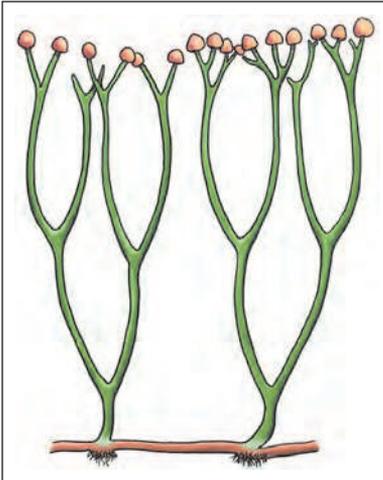
Но возникает вопрос: почему в кембрии сразу произошла массовая *скелетизация* далёких в родственном отношении животных, принадлежащих к разным типам? Древнейшие организмы питались жидкой органикой путём всасывания, хемосинтеза (бактерии) или фотосинтеза (цианобактерии, водоросли). Только эукариоты перешли к животному способу питания твёрдыми органическими частицами. Значительное преимущество такого способа питания состоит в том, что позволяет перехватить пищу – остатки умерших организмов – раньше, чем за неё возьмутся редуценты-всасыватели. Этот способ распространился и на преследование живых жертв. Вероятно, именно так возникло **хищничество** – способ питания, который организмы стали использовать позже всех остальных. Легко себе представить, что случилось, когда в мире мягкотелых животных появились хищники. За считанные миллионы лет погибли докембрийские сообщества крупных бесскелетных форм.

Другие мягкотелые организмы имели твёрдые включения – результаты жизнедеятельности в виде кристаллов. Они были для хищников «костью в горле», поэтому естественный отбор сохранил и развил различные способы внутриклеточной минерализации. Следующим шагом стал отбор форм, которые заставили хищника «поперхнуться» и не дали себя проглотить. Так получили развитие разнообразные органы защиты: иглы, раковины, панцири.

Образование подобных органов было сопряжено с затратами энергии и неудобством переноски тяжести. «Изобретательность» в преодолении этих неудобств привела к колоссальной дивергенции и образованию новых типов организмов, в том числе и большинства ныне живущих. Почти все они «нашли» дополнительное применение твёрдым частям своего тела: стали использовать их для прикрепления мышц. Так путём естественного отбора возникли скелетные организмы. Благодаря этому крупнейшему ароморфозу их дальнейшая эволюция пошла по пути совершенствования движения.

Морская жизнь выплеснулась на сушу

- Почему на сушу вначале выходили растения, затем беспозвоночные и только потом – позвоночные?



50.1. Куксония – одно из древнейших сосудистых растений суши

Древнейшая жизнь активно развивалась в море. Сушу, и то не сразу, освоили лишь прокариоты. Споры бактерий и многих одноклеточных из прибрежной зоны заносились на сушу ветром и возобновляли активную жизнь во влажных местах или на короткое время после дождя, переживая неблагоприятные условия в неактивном состоянии. Тем временем кислородная атмосфера создала мощный озоновый экран, поглощающий большую часть жёсткого излучения, устремлённого к Земле из просторов космоса, прежде всего от Солнца. Кислород и озон сделали условия жизни на суше менее агрессивными. Это стало решающим фактором, позволившим высшим многоклеточным организмам приступить к освоению суши.

Заселение суши многоклеточными растениями началось не позднее силура. Поднятая над землёй, обогнав конкурентов в перехвате солнечных лучей, им помогли механические ткани и проводящая система. Почти одновременно с растениями вышли на сушу и отдельные группы многоклеточных беспозвоночных. Это были относительно мелкие формы.

Их не так сильно прижимал к земле собственный вес, и они были способны использовать для обитания небольшие пустоты в почве.

Значительно труднее было более крупным позвоночным – рыбам. Первым стимулом для них могло быть заселение новых изолированных водоёмов на обширных приморских равнинах. Половозрелые особи, способные раз в жизни преодолеть несколько метров суши, давали своим рыбоподобным личинкам огромное преимущество в борьбе за существование. Следовательно, продолжение развития с метаморфозом в конце жизни имело адаптивный характер из-за превосходной возможности расселения, приумножения числа выживших потомков и своего генетического вклада в будущие поколения. Так в процессе эволюции сформировались первые амфибии.

Границу между водой и сушей амфибиям помогли преодолеть развитое кожное и легочное дыхание, два круга кровообращения. (Напомним, что даже у амфибий с наиболее развитыми лёгкими не менее 60% газообмена осуществляется через кожу.) Именно смещение токов крови в желудочке трёхкамерного сердца позволило кислороду, ассимилированному кожей, попасть из венозного русла в артериальное. Но то же самое смещение понизило эффективность обмена веществ у амфибий, даже по сравнению с большинством рыб. Именно поэтому амфибии с кожно-лёгочным дыханием никогда не питаются низкокалорийной растительной пищей, требующей быстрого переваривания в больших количествах. Все они хищники.

Следовательно, амфибии могли освоить сушу не прежде, чем это сделали наземные беспозвоночные, которые годились им в пищу. Случилось это в девоне. В это же время появились древнейшие леса, состоявшие из гигантских родичей современных плаунов, хвощей и папоротников, способных жить только во влажных местах, буквально «ногами в воде». Их мощные стволы падали в воду и накапливались, не успевая разлагаться при дефиците кислорода. Так образовались залежи *каменного угля*, который, в свою очередь, дал имя каменноугольному периоду. В каменноугольных лесах влажная и голая кожа амфибий была защищена от прямых солнечных лучей.



50.2. Девонская амфибия

Независимость от воды

- Какие приспособления необходимы для освоения суши?

Для того чтобы стать по-настоящему наземными животными, позвоночным необходимо было «порвать» с зависимостью от воды. Это стало возможным благодаря появлению яйца, в котором в дополнение к характерному для икринки рыб и амфибий желточному мешку появи-



50.3. Археоптерикс – переходная форма между рептилиями и птицами

поколений: бесполого (диплоидный спорофит) и полового (гаплоидный гаметофит) поколений. Гаметофит (заросток), обеспечивающий перекрёстное размножение высших споровых растений, тесно связан с наличием воды, хотя бы в виде капель. У высших споровых продолжительность этой стадии была сокращена. У голосеменных и цветковых растений гаметофит в сильно редуцированном виде помещён внутрь шишки или цветка, т.е. органа разросшегося спорофита, который и обеспечивает его влагой.

Голосеменные появились в каменноугольном периоде, а цветковые – только в раннем мелу. Важным эволюционным приобретением цветковых растений стало их опыление насекомыми и даже некоторыми птицами. Это позволило неподвижным растениям целенаправленно распространять пыльцу при помощи летающих насекомых и птиц. Этот ароморфоз вызвал цепочку ароморфозов в других группах наземных организмов и обозначил начало современной эры в палеонтологической летописи.

Расточительный обмен

- Какие признаки морфофизиологического прогресса характеризуют птиц и млекопитающих?

Важный этап в эволюции наземных позвоночных – развитие теплокровности у птиц и млекопитающих. Высокая и постоянная температура тела обеспечила им высокую интенсивность и независимость обмена от температуры окружающей среды. Поэтому здоровый человек одинаково бодро себя чувствует летом и зимой, тогда как амфибии и пресмыкающиеся в холодное время года вынуждены впадать в спячку.

лись зародышевые оболочки и скорлупа. Формы, у которых лёгочное дыхание преобладало над кожным, сердце разделяло кровь от этих органов, а скелет позволял выдерживать большие нагрузки, оказались более приспособленными к дальнейшему освоению суши.

Так появились настоящие наземные четвероногие – предки современных рептилий, птиц и млекопитающих.

Аналогичную проблему (но, конечно, по-своему) решали древние сосудистые растения, размножение которых, подобно амфибиям, было связано с водой. Развитие сосудистых растений, как вы знаете (см. § 19), сопровождается чередованием

Однако теплокровность птиц и зверей – энергетически самое дорогое приспособление в органическом мире. Большую часть потребляемой энергии они теряют в результате теплоотдачи. От этого не спасают даже теплоизолирующие покровы: мех, толстый слой жира или оперение. Иными словами, пресмыкающиеся – последние «экономисты», главные достоинства птиц и зверей основаны на расточительном обмене. Крокодилу в Африке достаточно досыта поесть два раза в год. Мы же предпочитаем питаться не менее трёх раз в день.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Среди основных способов питания хищничество возникло позже других. Появление скелетных организмов на заре палеозоя позволило совершенствовать способы защиты и нападения. Сушу раньше всех освоили прокариоты и гораздо позже – многоклеточные: сначала растения и беспозвоночные, а потом и позвоночные. Независимость от близости водоёмов, особенно в процессах размножения, приобрели пресмыкающиеся, голосеменные и цветковые растения. Опыление насекомыми – важное приспособление цветковых растений. Теплокровность – главное преимущество птиц и млекопитающих – связана с большим потреблением и затратами энергии.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

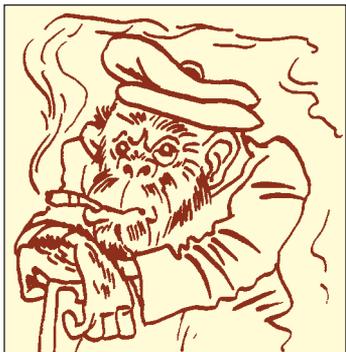
1. ● Перечислите и кратко охарактеризуйте важнейшие ароморфозы в эволюции живой природы, приведённые в параграфе.
2. ● Какие из описанных событий произошли в палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эру? (Используйте таблицу на с. 288–291.)
3. ● Какие проблемы приходилось преодолевать растениям и животным при освоении суши?
4. ● Почему на суше нет крупных бесскелетных многоклеточных?
5. ● Какие преимущества и недостатки имеет жизнь на суше?
6. ● Каковы достоинства животного способа питания?
7. ● Какое из описанных событий вы считаете самым важным для развития жизни на Земле?



8. ● Поработайте в группе: пусть каждый из вас докажет, что выбранный им ароморфоз – самый важный.

§ 51–52. Почему мы похожи на обезьян

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



В июне 1860 года произошёл знаменательный спор между епископом Оксфордским Семьюэлом Уилберфорсом, написавшим отрицательную рецензию на книгу Чарлза Дарвина «Происхождение видов...», и членом Королевского научного общества Томасом Гексли, защищавшим эволюционные идеи.

С. Уилберфорс: Скажите, кому вы обязаны честью происходить от обезьяны – своему деду или бабке?

Т. Гексли: Я не устыдился бы признать своим предком обезьяну, зато счёл бы постыдным родство с человеком, употребляющим незаурядное дарование на то, чтобы затемнять истину.

- На какое различие во взглядах вы обратили внимание? (Вы уже представляете, какое объяснение сходству человека и животных даёт Гексли. Но есть ли разумное объяснение этого сходства у Уилберфорса?)
- Предложите свой вопрос и сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Чем человек похож на животных и чем он от них отличается? (9 класс, жизненный опыт)
- Как Ч. Дарвин объяснял сходство между организмами? (§ 40)
- Как возникают приспособления к среде обитания? (§ 40)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

История взглядов на происхождение человека

- Найдите в тексте ответы на следующие вопросы.
 1. Какие существуют взгляды на происхождение человека?
 2. Какую точку зрения разделяет большинство учёных?
 3. Какие доводы они высказывают?
 4. Каково систематическое положение человека?
 5. Чем человек похож и чем отличается от животных?

Изучением происхождения и эволюции человека занимается наука **антропология** (от греч. *antropos* – человек и *logos* – разум, знание). Издавна люди обращали внимание на глубокое сходство человека и животных. Существует два принципиальных подхода к объяснению этого сходства (табл. 1).

На сходство человека и животных обращал внимание ещё Аристотель (IV в. до н.э.), который включал человека в созданную им классификацию животных, относя его к группе «кровяных». Учёный также признавал животных предками человека.

Таблица 1

Религиозные и естественно-научные объяснения причин сходства между человеком и животными

Креационизм	Естествознание
Поверхностное телесное сходство человека и животных, только у человека присутствует душа.	Глубокое сходство тела и психики человека и животных свидетельствует об их родстве.
Животные и человек сотворены независимо.	Животные и человек имеют общего предка.
Появление человека – событие уникальное. Замысел Творца непостижим для людей, в него можно лишь верить.	Происхождение человека познаваемо. Его можно установить путём сравнительных исследований, наблюдений, изучения ископаемых остатков.

К. Линней в своей книге «Система природы» включал вид Человек разумный (*Homo sapiens* L.) вместе с шимпанзе и орангутаном в один род *Homo*, обращая внимание на глубокое сходство этих организмов.

Ж.Б. Ламарк объяснил это сходство, предположив эволюционное родство между человеком и человекообразными обезьянами, сопроводив его спасительной оговоркой: «Вот каким могло бы выглядеть происхождение человека, если бы оно не было иным».

Научная проблема происхождения человека от животных предков была поставлена после работ Ч. Дарвина. Уже в книге «Происхождение видов...» Дарвин писал о том, что «свет будет пролит на происхождение человека и его историю». Ещё больше фактов поразительного сходства человека с животными, особенно с человекообразными обезьянами, было приведено в книгах «Происхождение человека и половой отбор» (1871 г.) и «Выражение эмоций у человека и животных» (1872 г.). Именно Ч. Дарвин сформулировал современную научную точку зрения, согласно которой у человека и человекообразных обезьян был общий предок.

Таким образом, современное естествознание последовательно пришло к мысли о том, что сходство человека и животных свидетельствует об их родстве (табл. 2).



Вместе с тем не надо забывать, что «близкое родство» в эволюционном смысле совсем не то же самое, что в бытовом. Эволюционные пути человека и человекообразных обезьян разошлись около 10 млн лет назад, т.е. их разделяет приблизительно миллион поколений. Чтобы записать полностью слово «прапрапра...дедушка», отражающее наше родство с общим предком, понадобилась бы книга в 5 раз толще этого учебника. Посчитайте сами, сколько времени понадобилось бы Т. Гексли на прямой ответ С. Уилберфорсу!

- Воспользовавшись таблицей и описанием систематического положения человека, объясните, с кем из живых организмов люди похожи по большинству признаков, а с кем – лишь по некоторым (поясните, по каким).

Таблица 2

Черты сходства человека с другими видами организмов

Признак	Организмы, имеющие данный признак
Генетический код	Все виды организмов
Клеточное строение	Все виды организмов
Клеточное ядро	Все эукариоты
Многоклеточный организм	Все многоклеточные
Животный способ питания	Почти все животные
Двусторонняя симметрия	Большинство подвижных животных
Вторичная полость тела	Все высшие многоклеточные животные
Наличие хорды	Все хордовые
Позвоночник – осевой скелет	Все позвоночные
Четыре конечности	Все наземные четвероногие
Зародышевые оболочки	Рептилии, птицы и млекопитающие
Теплокровность	Птицы и млекопитающие
Выкармливание детёныша молоком	Все млекопитающие
Наличие плаценты	Плацентарные млекопитающие
Ногти	Почти все приматы
Уплощённая грудная клетка и широкие плечи	Все человекообразные
Почти полная идентичность групп крови, белков (отличие 1%)	Все человекообразные
Культура	Человек (другие виды науке пока не известны)

Систематическое положение человека

Царство Животные (Animalia)

Тип Хордовые (Chordata)

Класс Млекопитающие (Mammalia)

Отряд Приматы (Primates)

Надсемейство человекообразные (Hominoidea)

Семейство люди (Hominidae)

Род человек (Homo)

Вид человек разумный (Homo sapiens)

Ближайшие родичи человека

- О каком образе жизни предков свидетельствует глубокое сходство человека и человекообразных обезьян?

В какой бы зоопарк вы ни пришли, всегда около клеток с человекообразными обезьянами скопление народа. Посетители наблюдают за их поведением, жестами, мимикой. Люди видят в человекообразных обезьянах карикатуру на себя и поэтому именно на них меньше всего хотят быть похожими.

Среди наиболее очевидных черт нашего сходства – широкие плечи, плоская грудная клетка, хватательные конечности, близко посаженные глаза, обращённые вперёд, крупный мозг (рис. 51.1, 51.6). Причина этого сходства – древесный образ жизни общих предков.

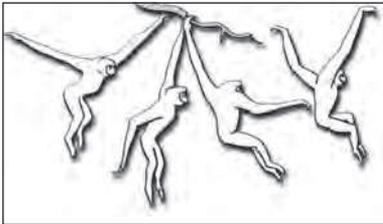
Человекообразные обезьяны перемещаются по веткам с помощью **брахиации** – раскачивания на руках (рис. 51.2). При этом их тело принимает вертикальное положение. Как легко догадаться, широкие плечи и плоское туловище облегчают такой способ передвижения, поскольку обеспечивают более эффективный рычаг.

Жизнь на деревьях и быстрое передвижение в трёхмерном пространстве требуют чёткой ориентации. При таком образе жизни адаптивными признаками стали хорошее бинокулярное цветное зрение (рис. 51.3) и большой, хорошо развитый мозг, отвечающий за обработку и синтез информации от органов чувств. Ведь надо не только смотреть глазами, но и «видеть» мозгом.

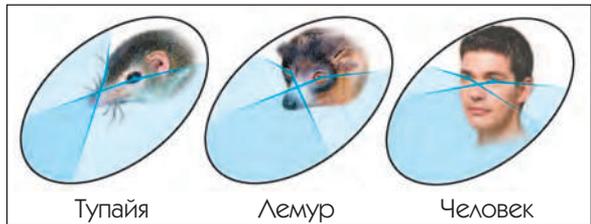


51.1. Человекообразные обезьяны – ближайшие современные родственники человека

- Какие черты строения человека сближают его с человекообразными обезьянами?



51.2. Раскачиваясь на руках, гибконы «перелетают» с ветки на ветку



51.3. Область бинокулярного зрения у человека и человекообразных обезьян шире, чем у других млекопитающих

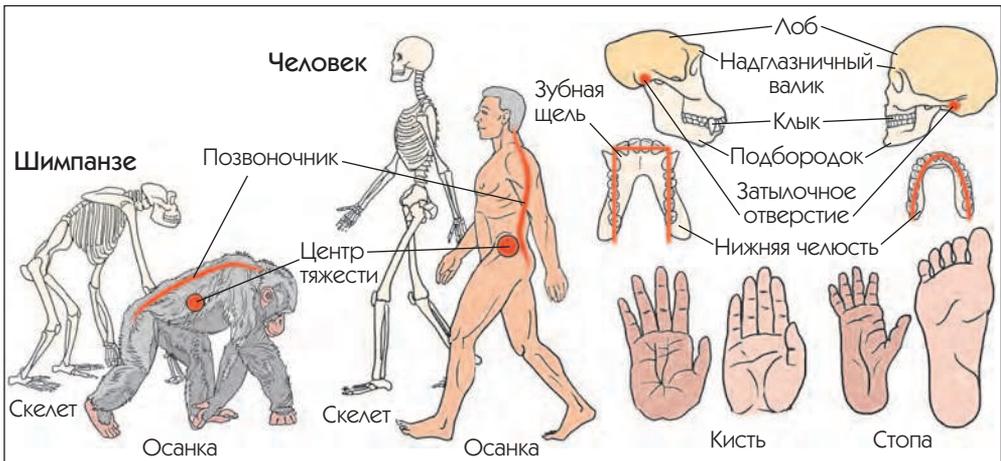
Летать без крыльев в кронах деревьев – виртуозное и опасное занятие. Это важная причина того, что детёныши нуждаются в длительной заботе родителей и обучении. Период детства продолжителен: у шимпанзе 8 лет. Детёныш – как правило, единственный – рождается крупным. Его появлению предшествует длительный – около полугода – срок беременности.

Функция прямохождения

- С чем связано прямохождение человека и к каким анатомическим особенностям оно привело?

Вертикальное положение тела у видов, передвигавшихся путём брахиации, послужило главной предпосылкой прямохождения. Местом дальнейшей эволюции человека стали открытые ландшафты, где возник ряд новых приспособлений, поддерживающих прямохождение (рис. 51.4). S-образный позвоночник позволял поддерживать высокий центр тяжести и амортизировать внутренние органы, предохраняя их от сотрясения. Сильно развитые ягодичные и икроножные мышцы поддерживали вертикальное положение тела. Разделение функций между нижними и верхними конечностями привело к закреплению и усилению хватательной функции лишь у руки, вогнутая подошва стопы дополнительно предохраняла от сотрясения при ходьбе.

Усложнение поведения человека, использование орудий труда, развитие речи шли параллельно с развитием мозга. Приготовление пищи на огне допускало сокращение челюстей. Это привело к изменению пропорций: уменьшению лицевого и увеличению мозгового отдела черепа.



51.4. Черты отличий шимпанзе и человека

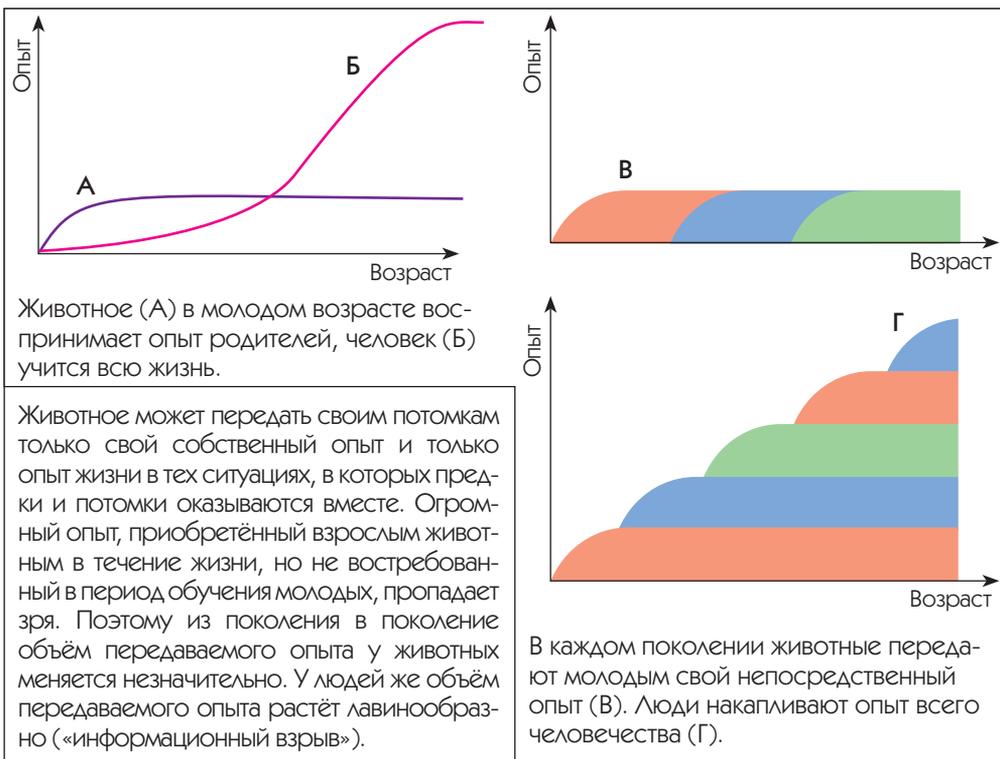
- Используя текст учебника, охарактеризуйте различия шимпанзе и человека.

Биологические отличия и социальные последствия

- Сформулируйте главные отличия человека от животных.

Биологические отличия человека от человекообразных обезьян невелики. Хорошо развитая рука позволяет манипулировать предметами, но зато обезьяны легко управляют с предметами и руками, и ногами. Поведение человека, конечно, существенно сложнее, чем обезьяны, но ведь и шимпанзе может соединить две палки, чтобы достать с их помощью висящий фрукт. Даже ворона может «сообразить» положить сухой хлеб в лужу, чтобы он размок. Объём мозга шимпанзе составляет примерно 350–500 см³, человека – 1300 см³, но доля ассоциативной коры, отвечающей за высшие психические функции, у человека не намного выше.

Все эти биологические отличия человека послужили предпосылками становления нового феномена – **разумного** мыслящего существа. Развитие мозга позволило человеку **предвидеть последствия** тех или иных действий, т.е. представить себе то, что ещё не произошло. Перенесение прошлого опыта на будущие события называют *экстраполяцией*.



51.5. Различия в накоплении опыта животным и человеком

Благодаря **коллективному образу жизни**, невозможному без общения, у людей сформировалась **речь**, с помощью которой можно передать своему потомку не только личный, но и чужой опыт. В самом деле, мы многому учимся на опыте литературных героев. Воспринять чужой опыт помогает яркое образное мышление. Появилась возможность учиться всю жизнь, усваивая опыт не только родителей, но и всего человечества, передаваемый учителями. Историческое развитие человека, особенно благодаря письменности, привело к накоплению гигантского опыта цивилизации, т.е. к **культурной эволюции**. За этот период жизнь человека изменилась кардинально, а его биологическая сущность практически осталась прежней.

Наконец, сочетание хорошо развитого мозга, острого зрения и моторики кистей рук позволило человеку обучаться разнообразной предметной деятельности – **изготавливать орудия труда**. В результате сочетания всех этих факторов человек создал свой мир вещей – предметов, не существовавших в природе. Все они – от одежды до мобильных телефонов и космических кораблей – в некотором смысле подобны «сменным» адаптациям, повысившим нашу приспособленность к среде обитания.

В итоге сравнительно небольшие изменения биологических признаков человека привели к неожиданным последствиям. Мысль человеческая, по словам В.И. Вернадского, стала новой мощной геологической силой, действующей на поверхности Земли, способной изменять облик целых ландшафтов и даже климат на всей нашей планете.

Культурная эволюция человека уже обогнала его биологическую природу. Давно известно, что вежливость лучше хамства, знание лучше невежества, а мир лучше войны. Но иногда животное начало человека берёт своё. Поэтому каждое новое поколение вынуждено доказывать эти истины вновь и вновь.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Человек биологически сходен с другими видами организмов, что свидетельствует о его принадлежности к органическому миру. Наибольшее сходство с человекообразными обезьянами обусловлено близким эволюционным родством. Отличия выражаются, главным образом, в развитии мозга, появлении разума, речи и орудийной деятельности. Биологическая эволюция перестала играть в жизни человека ведущую роль. Намного важнее культурная эволюция – накопление совокупного опыта всего человечества.

Антропология. Разум. Речь. Изготовление орудий труда

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Какие характерные видовые признаки человека связаны с древесным образом жизни его предков, а какие – с прямохождением?
2. • Охарактеризуйте самые убедительные, с вашей точки зрения, доказательства естественного происхождения человека от животных предков.
3. • Какие черты предков человека предопределили его дальнейшую эволюцию и каким образом?
4. • Почему речь возникла только у коллективно живущих приматов?
5. • В чём преимущества и недостатки длительного обучения по сравнению с унаследованными инстинктами?
6. • Люди имеют повышенную чувствительность нижней части стопы: боятся щекотки. При контакте с предметами подошва выгибается. Предложите биологический смысл этого приспособления.



7. • Поработайте в паре: пусть один из вас называет признаки сходства человека с животными, а второй – отличительные черты. Выиграет тот, кто приведёт больше примеров.



51.6. Человекообразные обезьяны: горила (А) и орангутан (Б)

§ 53–54. Путь к человеку

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Дарвин: Человек имеет глубокое сходство со всеми животными, и прежде всего с приматами.

Геккель: Значит, должны быть промежуточные формы между человекообразными обезьянами и человеком.

- Есть ли ныне живущие промежуточные формы между человекообразными обезьянами и человеком?
- Какой пробел необходимо восполнить для понимания движущих сил и механизмов происхождения человека? Предложите свой вариант и сравните с авторским на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие предки человека вам известны? (9 класс)
- Как передвигаются человекообразные обезьяны в кронах деревьев? (§ 51–52)
- В чём причина сходства между человеком и животными? (§ 51–52)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

«Полубог» или «сирота»?

- Чем объясняется существенный разрыв между признаками современных человекообразных обезьян и человека?

Мы рассмотрели неоспоримые факты принадлежности человека к миру живых организмов и выявили наибольшее сходство с человекообразными обезьянами. Однако научные данные беспристрастно свидетельствуют и о том, что человекообразные обезьяны *не являются прямыми предками* человека. С позиций биологической систематики человек относится к отдельному семейству приматов, с одним родом и единственным ныне живущим видом.

Креационисты поспешили истолковать «пропасть», отделяющую человека от животных, как несомненное доказательство его независимого сотворения, невзирая на обилие противоречащих фактов. Учёные, опираясь на установленные факты родства и эволюционную логику, объяснили этот разрыв вымиранием прямых предков. Они предсказали существование переходных форм в прошлом и неизбежность подтверждающих находок в будущем.

За последнее столетие палеонтологам и археологам удалось обнаружить сотни стоянок с костными останками древних людей и родственных им приматов, следами их жизнедеятельности: жилищами, орудиями труда, домашней утварью, одеждой и т.п. Ниже дана краткая рекон-

струкция эволюции человека (*антропогенеза*), выполненная на основе палеонтологических данных.

Освоение открытых пространств

- Какие детали строения и поведения человека сформированы благодаря обитанию в открытом ландшафте?
- Найдите по геохронологической таблице (с. 288) периоды, о которых идёт речь в тексте.

В конце палеогена – неогене на всех материках широкое распространение получили открытые ландшафты, степи и саванны, расположенные к северу и к югу от зоны пустынь. Их освоили самые разнообразные копытные, а вслед за ними и хищники. Некоторые древние формы человекообразных обезьян Старого Света также распространились на открытые пространства. Среди них были и наши далёкие предки.

Они осваивали безлесные ландшафты совсем не так, как другие животные. Звери, передвигающиеся прыжками на задних ногах, существовали и прежде, но хождение на двух ногах наши предки «изобрели» первыми среди млекопитающих. *Вертикальное положение тела*, унаследованное от лесных обезьян, при этом сохранилось. В условиях открытых пространств высоко расположенная голова давала определённое преимущество: это позволяло смотреть вдаль поверх травы, издали замечать жертву или приближающегося хищника. Тут пригодилось и *отличное*, причём именно *бинокулярное, зрение*, приобретённое ещё древесными предками. Любое четвероногое того же размера не могло видеть так далеко и объёмно.

Человек – не очень быстрого создания, большинство млекопитающих резвее. Зато далёкий обзор позволял заранее *планировать* своё поведение, основываясь на прежнем опыте. Благодаря этому получила развитие главная особенность *человеческого мышления* – способность экстраполировать, т.е. *переносить прежний опыт в новые обстоятельства* (которые никогда не повторяются в точности). Способность к экстраполяции стимулировала увеличение и развитие мозга, что, в свою очередь, позволяло ещё больше развивать навыки мышления.

- Какие факторы отбора формировали возможность и способность планирования поведения?

Экологическая ниша древнего человека

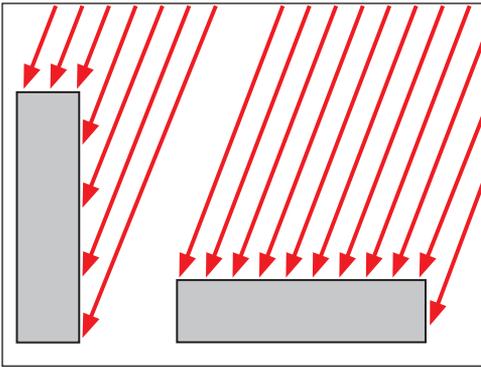
- Какие предпосылки определили место человека в экосистеме саванн? Какие адаптации стали следствием нового образа жизни?

Приматы всеядны, но в открытых местообитаниях роль хищничества в их питании увеличивается. В лесу важную роль в рационе обезьян

играют сочные плоды. В саванне их практически нет, а для перетирания жёстких растений зубы обезьян не приспособлены. Поэтому в открытых пространствах хищничество обезьян – частое явление. Коллективные охоты на других зверей, в том числе и на марьшишек, устраивают и современные шимпанзе и при этом с удовольствием едят мясо.

Предки человека в открытом ландшафте стали коллективными подкрадывающимися охотниками. Задача состояла в том, чтобы, заметив жертву издали, приблизиться к ней под прикрытием высокой травы, отдельно стоящих в саванне деревьев, кустов, рельефа местности. Нападать можно только тогда, когда жертве уже некуда или поздно бежать.

В саванне днём очень жарко и негде укрыться. Обессилев от жары, звери отдыхают, причём антилоп и зебр нередко можно встретить неподалёку от львов и гепардов. Хищники выходят на охоту либо рано утром, либо вечером, в поиске жертв больше полагаясь на обоняние. Используя преимущество в зрении, человек применил тактику *полуденного хищника*. Она была поддержана естественным отбором, так как давала возможность избегать лишнего риска и не конкурировать с ночными хищниками. Такой способ охоты используется некоторыми африканскими племенами и в наши дни.



53.1. Обогрев лучами солнца тел двуногого и четвероногого существа

- Объясните, как вертикальное положение тела спасает от прямых лучей солнца.

как средства общения между членами охотничьего коллектива. Для планирования совместных действий понадобился не только сигнальный язык, как у животных, но и *концептуальный язык*. В нём слова означают не только эмоции, но и понятия. Всё это углубляло развитие мозга.

Вертикальное положение тела позволяло человеку легче переносить дневную жару и было дополнительной предпосылкой для тактики полуденного хищника. Следствием её, по мнению многих исследователей, стали новые адаптации: утрата шерстного покрова и развитие потовых желёз, предохраняющих от перегрева под прямыми солнечными лучами.

Известно, что из-за сложности охотничьего поведения у всех хищников мозг крупнее, чем у растительноядных того же размера. У человека, кроме того, тактика охоты способствовала развитию речи

Основные этапы эволюции человека

- Какие этапы прошла эволюция человека? Какие изменения были поддержаны естественным отбором на этом пути?

Австралопитеки (9–1 млн лет назад) сочетали признаки, характерные для обезьян и человека. Вертикальное положение тела и двуногое хождение австралопитека были уже почти человеческими. Об этом свидетельствует строение скелета: обращённое вниз затылочное отверстие, характерный изгиб позвоночника, относительно широкий таз, длинные ноги и короткие руки, хватательная кисть. В то же время череп, а стало быть, и мозг были практически обезьяньими: объём черепной коробки 350–550 см³, как у шимпанзе. Жили они в Африке группами не более 20–30 особей. Вероятно, они кочевали вместе с самками и детёнышами, поэтому ещё не могли охотиться на самых крупных зверей. Слабо развитое обоняние, унаследованное от древесных предков, компенсировалось острым зрением, звуковой сигнализацией и жестикуляцией.

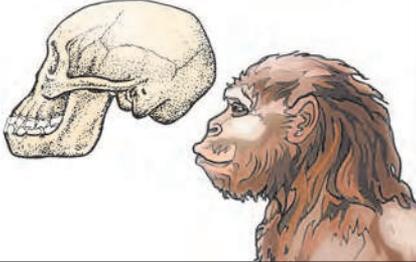
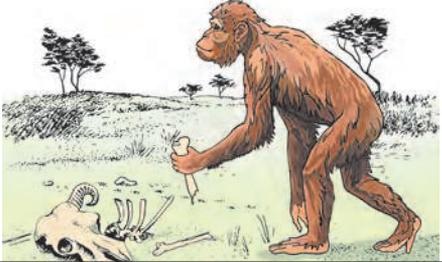
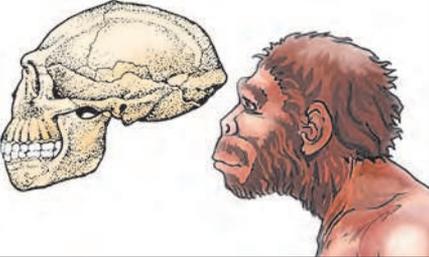
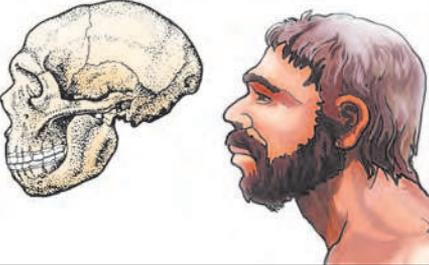
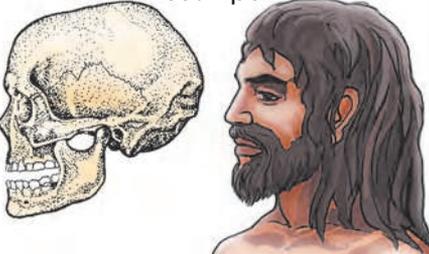
Архантропы (2,6 млн – 150 тыс. лет назад) – первые настоящие люди с человеческим строением скелета и объёмом мозга 700–1100 см³. Отметим, что у современного человека он варьирует в пределах 1000–1800 см³. (Например, у выдающегося французского писателя Анатоля Франса объём мозга был 1100 см³, у великого немецкого поэта Вольфганга Гёте – 1800 см³.) Вместе с тем архантропы ещё резко отличались большими челюстями, покатым лбом, нависающими надбровными дугами и скошенным подбородком. Рука имела уже современное строение.

Ранних архантропов, обитавших в Африке, учёные называют *Homo habilis* (человек умелый). Они были более сходны с австралопитеками, но уже изготавливали орудия труда.

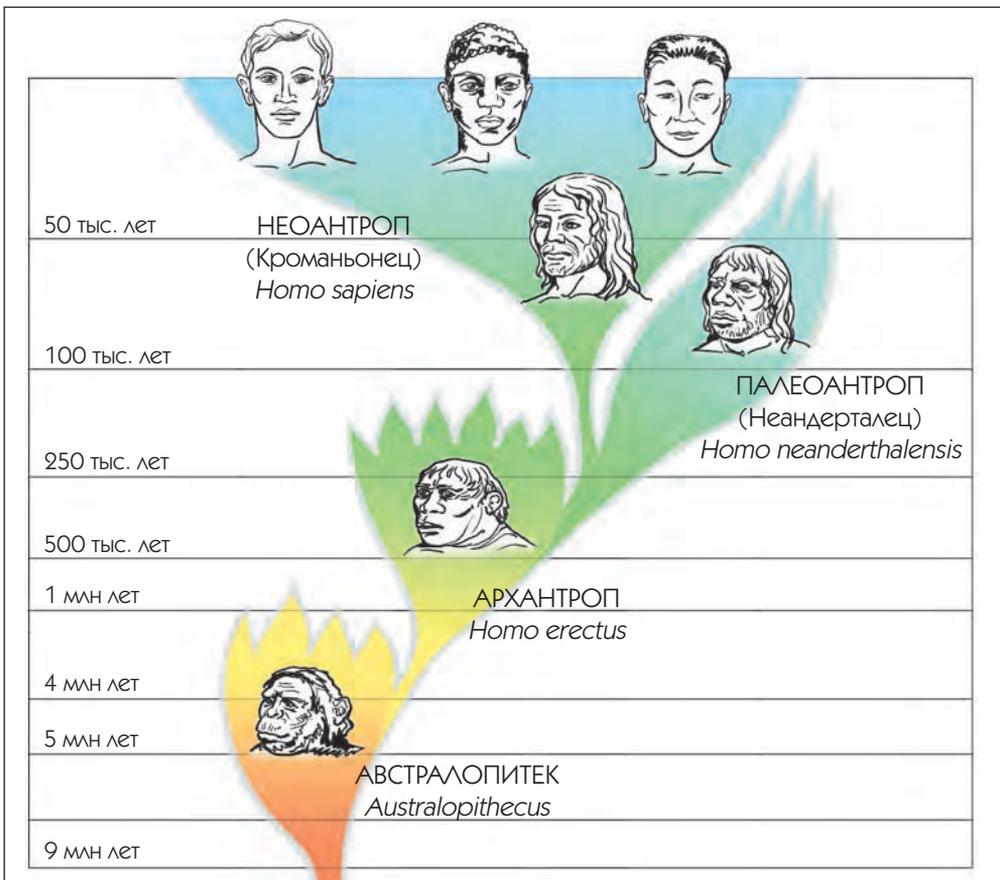
Поздние архантропы (*Homo erectus* – человек прямоходящий) широко расселились в Старом Свете: Западной Европе (гейдельбергский человек), Грузии (человек из Дманиси), Южной (питекантроп) и Восточной (синантроп) Азии. Они умели поддерживать огонь, но не умели разводить его: в пещере Чжоу-Коу-Дянь (Китай) огонь непрерывно поддерживался в течение тысячелетий. Впервые стали строить примитивные жилища, охотиться группой на крупных животных. В лобных и височных долях коры головного мозга имелись зоны, ответственные за анализ звуковых сигналов, т.е. у них, вероятно, были зачатки речи и отвлечённого мышления.

Палеоантропы (250 тыс. – 35 тыс. лет назад) – вымерший вид людей (*Homo neanderthalensis*), живших от Европы и Северной Африки до Средней Азии. По облику они были похожи на современных людей, но отличались некоторой сутулостью. Объём мозга палеоантропов – 1000–1700 см³.

- Рассмотрите таблицу. Сравните внешний вид предков человека и используемые орудия труда. Опишите тенденции развития.

<p>Австралопитек</p> 	<p>Австралопитеки не изготавливали орудий, но использовали найденные предметы для поиска пищи, нападения и защиты</p> 
<p>Архантроп</p> 	<p>Рубило – орудие труда архантропа</p> 
<p>Палеоантроп</p> 	<p>Остроконечник и скребло – орудие палеоантропа</p> 
<p>Неоантроп</p> 	<p>Орудия труда неоантропа 10 тыс. лет назад</p> 

В пещерах люди селились и раньше, однако особое значение этот факт приобрёл для популяций, живших вблизи ледника. Охота на крупных животных была основным источником существования. Для такой охоты необходим коллектив из нескольких десятков человек, который нуждается в управлении. Следовательно, общество этих людей имело социальную структуру. На зачатки культуры указывают известные могилы, причём на одну из них, похоже, были принесены цветы. Есть пещера, в которой из плоских камней сделано некоторое подобие саркофага для двух черепов пещерных медведей. Вероятно, это было святилище, поскольку трудно предположить какой-либо утилитарный смысл в этом сооружении.



53.2. Эволюционное дерево предков человека и происхождение рас

- Какие человеческие расы изображены на вершине эволюционного дерева? Где их родина?

Неоантропы (100 тыс. лет назад – настоящее время) – это мы, люди, относящиеся к виду человек разумный (*Homo sapiens*). Лицо неоантропа отличает высокий лоб, отсутствие надглазничного валика, хорошо выраженный подбородочный выступ. Объём мозга составляет в среднем 1400 см³.

Неоантропы *палеолита* (древнего каменного века, исторической эпохи, закончившейся 12–10 тыс. лет назад) – это умелые охотники на крупных зверей, изобретатели копья с каменным наконечником, лука и стрел, бумеранга, костяной иглы с ушком, рыболовных сетей. Они достигли высокого уровня в технике обработки камня, умели не только пользоваться огнём, но и разводить его, приручили собаку. Наконец, эти люди изобрели искусство. Мы и поныне восторгаемся галереями с наскальной живописью, которая в своём роде не уступает лучшим образцам искусства более поздних эпох.

В *неолите* (новом каменном веке, который закончился менее 6 тыс. лет назад) неоантропы совершили множество технологических открытий во всех областях быта и образовали очаги человеческой цивилизации в Месопотамии, Египте, Индии, Китае, а несколько позже – в Южной и Центральной Америке.

Формирование рас

- Объясните, что такое человеческая раса.

Любой вид, имеющий протяжённый ареал и населяющий разнообразные территории, обладает географической изменчивостью. Эта закономерность хорошо прослеживается и у человека. **Человеческие расы** – это исторически сложившиеся группировки (группы популяций) людей внутри вида *Homo sapiens*. Они отличаются друг от друга комплексом морфологических, физиологических и психологических особенностей, которые в прошлом имели адаптивное значение, но стали несущественными для современного цивилизованного человека.

Традиционно выделяют 3 основные расы. Для представителей **европеоидной расы** характерна светлая кожа, прямые или волнистые светлые волосы, широко открытые серые, карие или голубые глаза, неширокий выступающий нос, хорошо развитый волосяной покров на лице у мужчин. У людей монголоидной расы кожа имеет желтоватый оттенок, волосы чёрные и жёсткие, лицо широкое, уплощённое, скуластое, с редким волосяным покровом, узкие карие глаза, плоский и довольно широкий нос. Представители **австрало-негроидной расы** темнокожи, имеют курчавые (негроиды) или волнистые (австралоиды) чёрные волосы, тёмные глаза, широкий и плоский нос, редкий (негроиды) или значительный (австралоиды) волосяной покров.

В настоящее время люди, относящиеся к различным расам, живут повсеместно, их можно встретить в одном городе. Но сформировались расы в особых климатических условиях, где перечисленные черты имели приспособительный смысл. Так, европеоидная раса возникла в Европе и Передней Азии, где светлый цвет кожи не препятствовал образованию витамина D, а выступающий нос позволял нагревать вдыхаемый воздух. Монголоидная раса изначально преобладала в засушливых областях Азии, где нередко пыльные бури, и узкий разрез глаз был там адаптивным. Люди австрало-негроидной расы сформировались в Экваториальной Африке и Австралии, где тёмный цвет кожи защищал от избыточного солнечного излучения.

Расовые различия коснулись лишь второстепенных внешних признаков и не повлияли на единство вида человека. Об этом свидетельствует отсутствие генетической изоляции и существование промежуточных рас. Люди различных рас не отличаются по уровню своего умственного развития. Современные данные о строении ДНК в рамках проекта «Геном человека» показали глубокое сходство между ними. Эти исследования определили, что расхождение геномов сложилось 100–40 тыс. лет назад, т.е. в рамках современного вида *Homo sapiens*.

В прошлой истории **расизм**, т.е. учение о физической и психической неравноценности человеческих рас, принёс много бед человечеству. Достаточно вспомнить покорение индейцев Америки европейцами, работорговлю в Африке и т.п. Современный мир шаг за шагом избавляется от этих предрассудков. Определённой моральной победой можно считать тот факт, что в самой развитой стране мира, США, президентом стал представитель расы, в прошлом занимавшей бесправное положение.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Люди – потомки вымерших человекообразных обезьян, обитавших на открытых пространствах, – австралопитеков. Особенности строения тела, унаследованные от древесных предков, позволили им занять экологическую нишу «полуденного хищника». Коллективная охота предполагала планирование поведения, способствовала увеличению и усложнению мозга, обучению и развитию речи. Палеонтологические данные позволили обнаружить прямых предков человека, описать этапы и факторы эволюции его биологических особенностей, становление трудовых навыков и культурных традиций. Вид *Homo sapiens* сформировался около 100 тыс. лет назад. Как и любой другой вид, он характеризуется географической изменчивостью. Представители различных рас отличаются внешними приспособительными признаками, не нарушающими единства вида.

**Австралопитек. Архантроп. Палеоантроп. Неоантроп.
Человеческие расы (европеоидная, монголоидная,
австрало-негроидная)**

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Как данные палеонтологии помогли реконструировать историю происхождения и эволюции человека?
2. ● Какую роль в эволюции человека сыграла высоко расположенная голова?
3. ● Почему вопрос о географической изменчивости человека так волнует людей?
4. ● Какие доводы о единстве человеческих рас вы считаете наиболее убедительными?
5. ● Почему двуногие ящеры не стали разумными?
6. ● Почему путь от обезьяны до современного человека оказался примерно в 100 раз более долгим, чем от первого наскального рисунка до холста Леонардо да Винчи?
7. ● Как вы думаете, зачем понадобилось искусство? Ведь оно не кормит, не поит, не одевает...

§ 55. Эволюция органического мира. Повторение

Все живые системы имеют историческую природу, т.е. произошли эволюционным путём. Поэтому теория биологической эволюции является ядром всех биологических наук. Первую попытку создания такой теории предпринял Ж.Б. Ламарк, но только теория естественного отбора Ч. Дарвина и А. Уоллеса составила основу современной синтетической теории эволюции. Она гласит:

1. Элементарной эволюционной единицей является популяция, т.е. множество совместно размножающихся особей одного вида, на котором может осуществляться естественный отбор.

2. Материалом для действия естественного отбора и эволюции в целом является наследственная изменчивость: мутации и их комбинации.

3. Основным фактором, направляющим эволюционный процесс, является естественный отбор: избирательное выживание и размножение более приспособленных организмов.

4. Итогом микроэволюции популяций в условиях первичной изоляции может стать видообразование, т.е. возникновение нового вида путём приобретения репродуктивной изоляции от других популяций вследствие значительных генетических отличий из-за отбора приспособительных признаков.

5. Биологический смысл репродуктивной изоляции видов – в сохранении каждым из них видоспецифичных приспособлений, возникших в процессе естественного отбора.

6. Эволюция репродуктивно изолированных видов (макроэволюция) идёт на основе эволюции популяций каждого из них. Дивергенция – расхождение признаков в процессе эволюции – позволяет организмам освоить различные местообитания и способы существования, т.е. различные роли в биосферном круговороте веществ.

Теория эволюции позволила объяснить разнообразие приспособлений на организменном и клеточном уровнях организации, причины сходства и различия организмов, многие особенности развития жизни на Земле, включая происхождение человека.

Развитие органической химии, биохимии и клеточной биологии позволило, основываясь на эволюционных представлениях, реконструировать вероятные условия и ряд важных этапов происхождения жизни, хотя окончательное решение этой проблемы ещё впереди.

Вопросы для повторения

1. • Что является единицей эволюции в теориях Ж.Б. Ламарка и Ч. Дарвина?
2. • К. Линней и Ж. Кювье не были эволюционистами. Как же они могли участвовать в подготовке создания эволюционной теории?
3. • Изложите основные положения теории Ч. Дарвина, используя схему из § 40.
4. • Почему синтетическая теория эволюции называется синтетической?
5. • Чем эволюционная роль естественного отбора отличается от роли других факторов эволюции?
6. • Что такое вид и каков биологический смысл разделения организмов на виды?
7. • Дайте сравнительную характеристику различным способам видообразования.

8. • Какие данные сравнительной биологии получили объяснение в свете теории эволюции?
9. • Какой принцип применяется для любой исторической реконструкции и в чём его суть?
10. • Всегда ли приспособление связано с усложнением строения организма? Какие способы достижения биологического прогресса вам известны?
11. • Почему усложнение строения невозможно без повышения координации частей?
12. • Как теория эволюции помогает объяснить значение ключевых событий в развитии органической жизни на Земле?
13. • В каких условиях возможен абиогенный синтез мономеров основных биологических макромолекул (нуклеиновых кислот и белков)?
14. • Как и в каких условиях происходит самосборка однослойной и двухслойной липидных мембран?
15. • В чём выражается сходство человека с другими группами организмов?
16. • В чём отличие разумной деятельности человека перед рассудочной деятельностью животных?
17. • Назовите основные этапы происхождения человека. С какими достижениями связан каждый из этих этапов?
18. • Сколько поколений (приблизительно) отделяет нас от ближайшего современного родственника среди животных и какие промежуточные формы нас связывают?

Что означают эти понятия? Естественная система. Принцип актуализма. Эволюция. Естественный отбор. Факторы эволюции. Приспособленность. Относительность приспособлений. Дивергенция. Гомология. Аналогия. Закон зародышевого сходства. Биогенетический закон. Популяция – единица эволюции, генофонд. Микро- и макроэволюция. Генетика популяций. Факторы эволюции: мутационный процесс, популяционные волны, изоляция, естественный отбор. Движущий и стабилизирующий отбор. Вид. Критерии вида. Изолирующие механизмы. Географическое и экологическое видообразование. Биологический прогресс и регресс. Ароморфоз, общая дегенерация, идиоадаптация. Дивергенция. Конвергенция. Параллелизм. Абиогенез. Пастеризация. Коацерват. Пробионт. Разум. Предвидение последствий (экстраполяция), речь, изготовление орудий труда. Культурная эволюция. Австралопитек. Архантроп. Палеоантроп. Неоантроп. Человеческие расы (европеоидная, монголоидная, австрало-негроидная).



Жизненная задача 3

Название. Выборы.

Ситуация. Колорадский жук «наступает» на посевы картофеля в регионе. Партия промышленников предлагает финансировать широкое применение новых высокотоксичных ядохимикатов, к которым вредители не могут приспособиться и поэтому восприимчивы к их воздействию. Партия зелёных ратует за отказ от химических средств борьбы с вредителями сельского хозяйства, так как они ядовиты для людей, а насекомые всё равно приспособляются к ним.

Роль. Избиратель.

Результат. Вам надо выбрать, какая из партий обеспечит вам и вашей семье полноценное питание и здоровый образ жизни.

ГЛАВА 5. ОРГАНИЗМЫ В СРЕДЕ ИХ ОБИТАНИЯ



В этой главе вы научитесь

понимать и критически оценивать экологическую информацию.

Для этого вы должны уметь:

- пользоваться понятиями о факторах среды, об экологической нише, популяции, биоценозе, экосистеме и биогеохимическом круговороте, продуцентах, консументах и редуцентах.

Осознавать роль жизни на Земле, чтобы не нарушать окружающую среду, в которой мы живём.

Для этого вы должны уметь:

- характеризовать биосферу, её основные функции и роль жизни в их осуществлении;
- классифицировать живые организмы по их ролям в круговороте веществ, выделять цепи питания в экосистемах;
- объяснять роль биоразнообразия в поддержании биосферного круговорота веществ.

Использовать в быту элементарные биологические знания основ медицины, сельского и лесного хозяйства, биотехнологии.

Для этого вы должны уметь:

- характеризовать причины низкой устойчивости агроэкосистем;
- использовать знания по экологии для оптимальной организации борьбы с инфекционными заболеваниями, вредителями домашнего и приусадебного хозяйства, для организации и планирования собственного здорового образа жизни и благоприятной среды обитания человечества.

Оценивать биологический риск взаимоотношений человека и природы.

Для этого вы должны уметь:

- характеризовать экологические проблемы, стоящие перед человечеством;
- находить противоречия между деятельностью человека и природой и предлагать способы устранения этих противоречий;
- объяснять и доказывать необходимость бережного отношения к живым организмам.

Проверьте себя!

- Эколог Барри Комонер сформулировал экологические правила общения с природой. Постарайтесь объяснить их суть, в случае необходимости можете найти ответы в этой главе.



«ВСЁ СВЯЗАНО СО ВСЕМ»



«ВСЁ ДОЛЖНО КУДА-ТО ДЕВАТЬСЯ»



«ПРИРОДА ЗНАЕТ ЛУЧШЕ»



«ЗА ВСЁ НАДО ПЛАТИТЬ»

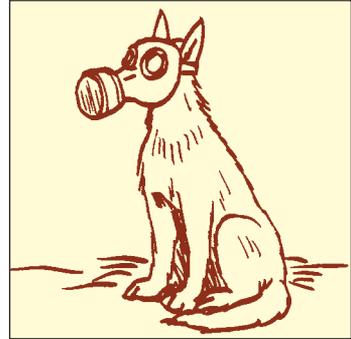
§ 56. Чем занимается экология

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Одно из важнейших условий жизни большинства организмов – наличие кислорода.

Факт 2. На суше кислород почти никогда не бывает в дефиците.

- Действительно ли концентрация кислорода оказывает существенное влияние на численность организмов?
- Сформулируйте основной вопрос экологии. Сравните свой вариант с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое экология, факторы среды, экологическая ниша? (9 класс)
- Как Дарвин определял борьбу за существование? (§ 40)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Наука об условиях жизни

- Что такое экология? Какие задачи решают её отдельные отрасли?

Экология – наука о взаимоотношениях организмов со средой обитания. Эрнст Геккель – автор термина «экология» – называл эту науку учением о *борьбе за существование*.

Одна из важнейших задач экологии – изучить закономерности изменения численности организмов во времени и пространстве. Знание закономерностей подразумевает выявление причин изменений, т.е. зависимости их от факторов среды. Знание численности организмов даёт возможность контролировать потоки энергии и вещества через экосистему, оценивать состояние среды, в том числе среды обитания человека, и предвидеть будущие изменения биосферы.

Экосистемная роль каждой особи зависит от того, как среда влияет на её физиологическое состояние. Механизмы адаптации организма к различным внешним воздействиям – температуре, освещению, тесноте, качеству питания – рассматривает *физиологическая экология*.

Приспособления формируются естественным отбором на уровне *популяции*, в зависимости от её структуры и динамики. Этими вопросами занимается *экология популяций*. Она изучает размещение особей в пространстве, частоту их контактов, состав особей по полу, возрасту, фенотипу, изменению выживаемости и плодовитости в зависимости от качества среды обитания.

Существование популяции невозможно вне *сообщества* популяций различных видов, объединённых общим местом обитания. Взаимоотно-

шения видов – пищевые, конкурентные, враждебные и взаимовыгодные – и структуру сообщества в различных условиях изучает *экология сообществ*.

Сообщество организмов вместе с абиотическим окружением образует *экосистему*. Из экосистем складывается *биосфера*. Главная функция каждого сообщества – обеспечение замыкания круговорота веществ. Закономерностями передачи вещества и энергии между живыми и неживыми компонентами экосистемы занимается *экология экосистем*.

Экология базируется на эволюционной теории. Более того, она, в сущности, занимается изучением эволюционного процесса и его последствий. Методы и результаты работы экологов зависят от объектов исследования. Это отражено в выделении экологии растений, животных, микроорганизмов, а также гидробиологии, лесной экологии. Экология тесно переплетается со всеми естественными науками. В связи с этим развиваются такие самостоятельные области, как палеоэкология, математическая экология, социоэкология.

- Попробуйте определить, чем занимаются разделы экологии, возникшие на стыке с другими науками.

Экологические факторы

- Какие факторы действуют на живой организм и как они взаимодействуют?

Среда обитания организма – это сочетание всех воздействующих на него факторов. *Экологическим фактором* может быть любой компонент среды, оказывающий влияние на состояние и численность организмов.

Абиотические факторы представляют собой влияние неживой природы: ветра и волн, солёности и содержания микроэлементов, температуры, влажности, смены сезонов, дня и ночи и т.д. **Биотические** факторы объединяют воздействие организмов, входящих в сообщество: хищников, конкурентов, кормовых объектов, паразитов, опылителей. Иногда в особую группу выделяют **антропогенные** факторы – воздействия, обусловленные деятельностью человека. К ним относится прямое изъятие или уничтожение организмов и косвенное влияние человека через изменение природных абиотических и биотических факторов.

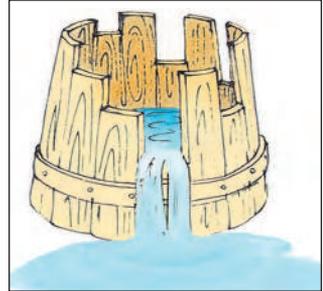
Все факторы делятся на условия и ресурсы. **Условия среды** действуют на организм независимо от присутствия других организмов. Так действует, например, температура или смена дня и ночи. **Ресурсы** организм может потреблять, тем самым снижая их доступность для других. Например, для растений ресурсами могут быть свет и минеральные вещества почвы, а для животных – пища и укрытия. Ресурсы бывают *возобновляемыми* (трава) и *невозобновляемыми* (дупла, территория). Даже возобновляемые ресурсы могут исчерпаться, если скорость их потребления велика. Условия же не расходуются и никогда не исчерпываются.

Лимитирующий фактор

- Почему из всего разнообразия факторов среды обычно лишь один существенно влияет на состояние организма в природе?

Организм испытывает влияние всех факторов окружающей среды. Какой же из них определяет его состояние?

Немецкий агроном Юстус Либих (1803–1873) убеждал земледельцев, что низкий урожай полевых культур вызван нехваткой какого-нибудь одного необходимого элемента – того, который содержится в почве в минимальном количестве. Внося его в виде удобрения, можно резко повысить урожай (рис. 56.1). Этот принцип, известный как **закон минимума**, в общем виде предсказывает, что состояние организма и численность популяции ограничивается **лимитирующим** фактором – ресурсом или условием, находящимся в дефиците. Если преодолеть недостаток этого фактора, то численность (или другой показатель благополучия) увеличится, а лимитирующим станет следующий дефицитный фактор (рис. 56.2).



56.1. «Бочка Либиха»



56.2. Влияние удобрений на развитие растений (удобрение было внесено по трафарету)

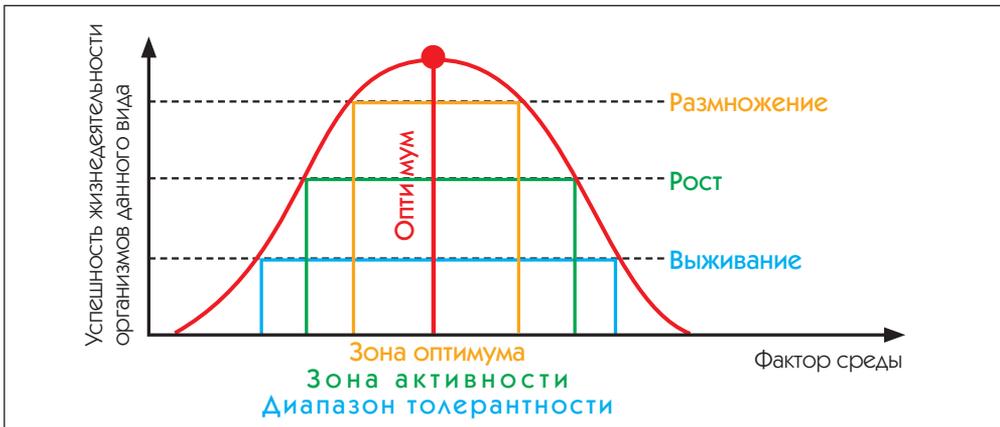
- Попробуйте определить, какой лимитирующий фактор определяет рост кормовых трав на этом лугу.

Оптимум и диапазон толерантности

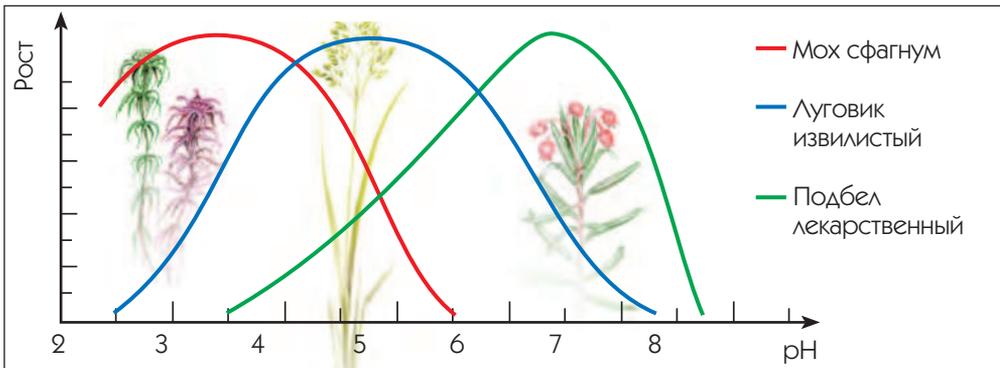
- В чём особенность реакции организма на изменение условий среды?

Позднее, однако, экологи обнаружили, что избыточное значение фактора также губительно, как и недостаточное. Например, избыток удобрений угнетает рост растений. Перегрев для животных может быть даже опаснее, чем переохлаждение. Такие ситуации реже встречаются в природе, поэтому эволюция не выработала эффективных механизмов противодействия им.

В отношении любой характеристики качества среды обитания организм обладает определённым **диапазоном толерантности** (выносливости). Значение фактора, наиболее благоприятное для организма, называется **оптимумом** (рис. 56.3). Именно к этому значению организм приспособлен лучше всего, хотя может существовать и при других значениях, не выходящих за пределы его толерантности.



56.3. Схема проявления закона толерантности



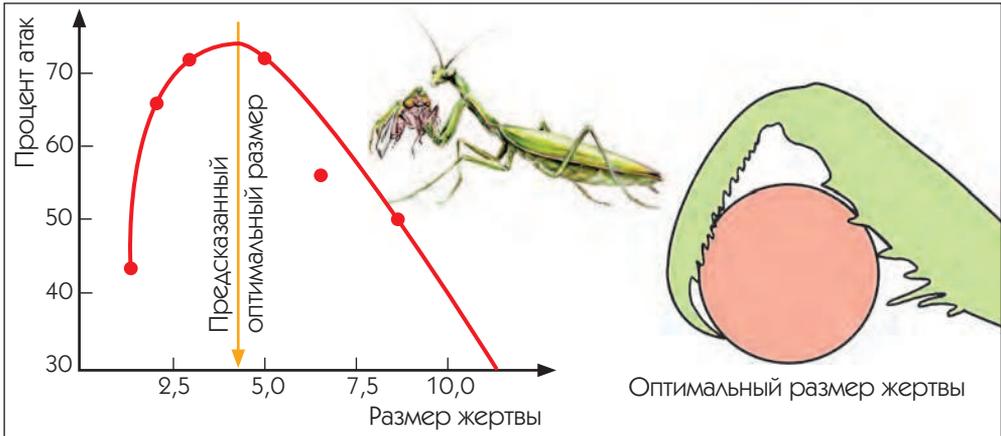
56.4. Выносливость растений по отношению к кислотности почв

- Найдите оптимальные, минимальные и максимальные значения фактора кислотности почвы для каждого вида растений. Каким законам экологии эти значения соответствуют?



Нетрудно догадаться, что закон минимума относится к экологическим факторам, играющим роль ресурсов. Избыток ресурсов не может повредить организму. Закон толерантности имеет отношение к условиям среды — признакам её качества, а не количества. Многие факторы являются ресурсом и условием одновременно. Например, вода для пустынных видов — дефицит-

ный ресурс, а для водных организмов – избыточный ресурс и условие их обитания. Для богомола насекомые являются кормовым ресурсом, а размеры насекомых – их качеством, или условием среды, определяющим её пригодность для обитания (рис. 56.5).



56.5. Богомол, его передняя лапа с окружностью, соответствующей оптимальному размеру жертвы, график процентного соотношения частоты атак голодного богомола на жертвы разных размеров

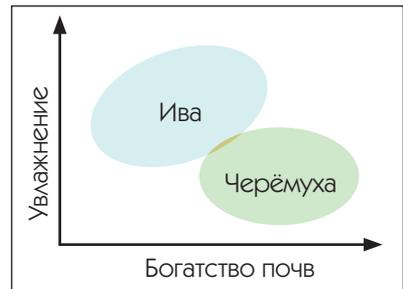
Экологическая ниша

- Что такое экологическая ниша?

Влияние различных факторов взаимосвязано. Экологическая толерантность вида по одному фактору наибольшая при оптимальном значении остальных (рис. 56.6).

Область толерантности вида ко всем факторам, необходимым для его существования, называется **экологической нишей**. Она включает как абиотические, так и биотические факторы, а значит, и все связи с другими видами сообщества.

Многообразие факторов, образующих экологическую нишу вида, очень велико. Каждый вид имеет свою экологическую нишу, отличную от ниш других видов. Она соответствует уникальному комплексу его адаптаций к используемым ресурсам и условиям обитания. Совокупность требований вида к среде проявляется в том, что он занимает определённое **местообитание**, где все эти требования выполняются. Наиболее общее представление о различии экологических ниш



56.6. Диапазоны толерантности ивы и черёмухи в отношении каждого из факторов перекрываются, но их экологические ниши разделены

близких видов удаётся получить, если сравнить диапазоны их толерантности по трём комплексным факторам, отражающим различие местообитаний, кормовых объектов и времени их использования.

Экологическая ниша вида определяет его устойчивость к факторам среды, объясняет распространение и указывает на взаимоотношения с близкими видами в сообществе.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Экология – это наука о взаимоотношениях организмов со средой обитания. Благополучие организма зависит от экологических факторов: абиотических, биотических и антропогенных. Факторы могут выступать в качестве ресурсов и условий среды. Возможность существования вида в среде определяется лимитирующим фактором – ресурсом, находящимся в наибольшем дефиците, или условием среды, близким к пределу толерантности. Экологическая ниша вида определяется диапазоном его толерантности по всем факторам.

Экология. Факторы среды: абиотические, биотические, антропогенные. Лимитирующий фактор. Диапазон толерантности. Экологическая ниша

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Почему Э. Геккель называл экологию учением о борьбе за существование?
2. ● Почему экологию популяций не удаётся свести к экологии организмов, а экологию экосистем – к экологии организмов и популяций?
3. ● Какие факторы ограничивают жизнедеятельность организма и при минимальных, и при максимальных значениях?
4. ● Чем отличаются условия среды от факторов, называемых ресурсами?
5. ● Можно ли сказать, что оптимум для данного вида находится там, где совпадают его оптимумы по каждому отдельному фактору?
6. ● Во времена Э. Геккеля в экологии видели «домоведение», жизнь организмов в их естественной среде обитания. В наше время её часто стали называть «биологией окружающей среды». Чем, по-вашему, обусловлено такое различие?

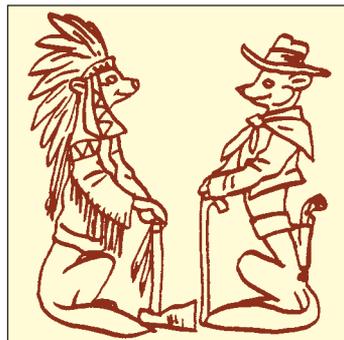
§ 57. Популяция – одновидовое сообщество

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Домовый воробей распространён на всех материках и населяет даже многие океанические острова.

Факт 2. Домовые воробьи живут оседло, перемещаются лишь на небольшие расстояния и большую часть жизни проводят в одном населённом пункте.

- Насколько жизнь воробья зависит от его ближних и дальних соседей?
- Предложите общую проблему для анализа на уроке. Сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое популяция с точки зрения экологии (9 класс) и теории эволюции (§ 42)?
- Почему численность того или иного вида меняется или остаётся стабильной? (9 класс, жизненный опыт)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Популяция – единица существования вида

- Почему особи любого вида распределены неравномерно?

Область географического распространения вида называется его **ареалом**. Однако ни один вид не заселяет пространство своего ареала равномерно. Каждый вид организмов способен занимать лишь то местообитание, к которому он приспособлен. На других участках условия среды выходят за пределы его толерантности и допускают лишь кратковременное существование. Некоторые пригодные участки остаются незаселёнными из-за того, что окружены непригодной территорией. Наконец, если участок местообитания недостаточно велик по площади, его население не сможет устойчиво поддерживать смену поколений.

Совокупность особей одного вида, занимающая определённое местообитание и способная к длительному самовоспроизведению, называется **популяцией**. Если для генетика важнее всего степень изоляции популяции, то для эколога важно, что эта совокупность особей испытывает общее влияние среды. Границы популяции могут быть резко выражены у одних видов, а у других – более размыты. Это не мешает сравнивать реакцию популяций на изменение среды. Устойчивое существование популяций в своих местообитаниях определяет важную роль популяции как **единицы существования вида**.

Описание популяции

- Какие термины применяют экологи для описания свойств популяции?

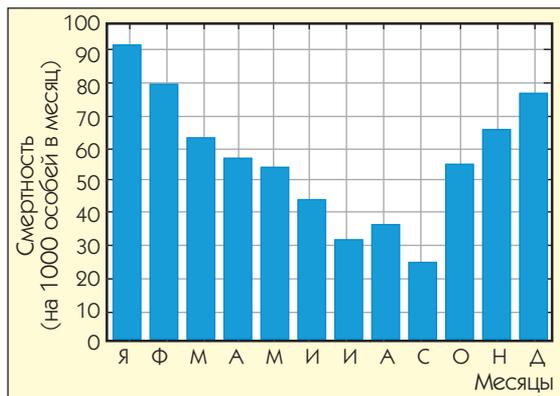
Судьба отдельных особей в большой степени случайна, а судьба популяции закономерна. Поэтому влияние природной среды на организмы изучают на примере популяций. Состояние популяции отражается рядом показателей – *демографических параметров*. Хорошей характеристикой состояния популяции может быть её **численность**. Но численность крупной популяции обычно очень трудно определить, особенно если она не отделена естественными рубежами от соседней популяции. Более удобно оценивать изменения **плотности** популяции – числа особей на единице пространства местообитания, например на площади в 1 км².

Помимо численности и плотности, популяция обладает и другими особыми показателями своего состояния. Число рождённых особей, соотнесённое с численностью популяции за единицу времени, составляет **рождаемость** (см. табл.), а относительное число погибших за единицу времени – **смертность** (рис. 57.1). Каждый из этих показателей зависит от изменения условий среды. Численность популяции, в свою очередь, зависит от баланса рождаемости и смертности.

Для прогнозирования изменений популяции мало определить её численность, рождаемость и смертность. Нужно знать и возраст членов популяции. Ведь, например, будущий прирост обеспечивают лишь половозрелые особи. Для этих целей экологи определяют **возрастную структуру популяции**, а для раздельнополых – и **половую**. Её анализ позволяет сделать суждение о будущем популяции.

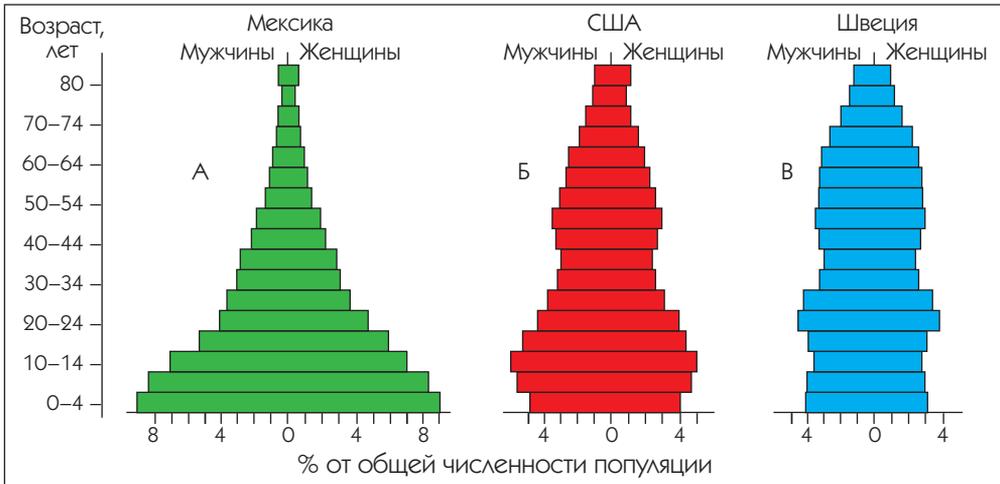
Показатели рождаемости в популяции домового воробья

Средние показатели	Число потомков на пару за год
Потенциальная рождаемость	15,0
Отложено яиц	13,4
Вылетело птенцов	7,8
К концу гнездования	3,5
К новому сезону	2,0



57.1. Смертность взрослых особей в популяции домового воробья в течение года

- Почему реальная рождаемость (число отложенных яиц или выращенных птенцов) всегда меньше, чем потенциальная?
- Определите, в какой период года смертность увеличивается, и предположите вероятную причину.



57.2. Половозрастная структура различных популяций человека

- Рассмотрите рисунок. Определите, в какой из человеческих популяций происходит естественное возобновление численности, а в какой сокращение.

Каждая особь в популяции перемещается в пределах индивидуального участка обитания. Взаимное расположение индивидуальных участков образует **пространственную структуру популяции**. Изучая распределение живых организмов, можно определить характер взаимоотношений между особями.



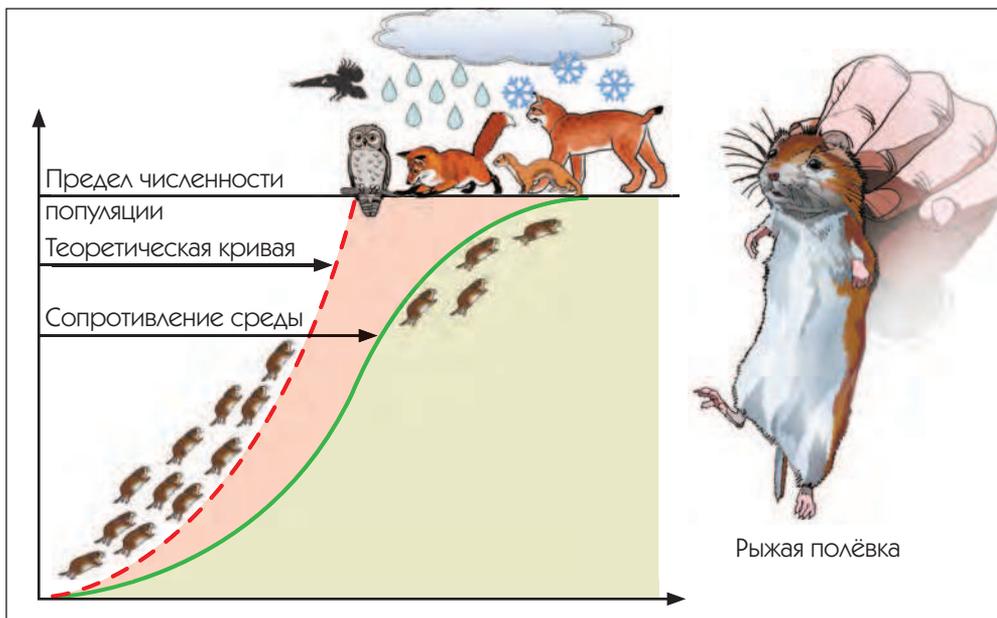
57.3. Основные типы пространственного размещения организмов (центров их активности)

- Догадайтесь, в каком случае особи охраняют свою территорию от соседей, в каком – только гнездо, а в каком оказывают взаимную помощь.

Динамика численности популяции

- Почему, несмотря на многочисленные непредвиденные воздействия среды, численность популяции довольно быстро возвращается к прежнему уровню?

Популяция реагирует на изменения факторов среды изменением численности (рис. 57.4).



57.4. Рост численности популяции полёвки и ограничивающие его факторы окружающей среды

- Почему рост никогда не соответствует теоретической кривой?

В благоприятных условиях, когда численность популяции мала, а корма в изобилии, популяция увеличивается с максимально возможной скоростью. В природе такое наблюдается редко, лишь в короткие периоды. «Цветение» воды, вспышка численности насекомых-вредителей, размножение микроорганизмов в начале болезни – знакомые примеры таких ситуаций.

Рост любой популяции рано или поздно ограничивается недостатком ресурсов и внутривидовой конкуренцией за них. В конце концов численность приближается к такому уровню, при котором плотность популяции соответствует наличию необходимых ресурсов. В этом случае рождаемость в точности компенсируется смертностью. Обилие ресурсов, необходимое и достаточное, чтобы обеспечить такую плотность, называется **ёмкостью среды**.

Можно выделить две группы экологических факторов, влияющих на численность популяции. Одни из них действуют **независимо от плотности** популяции, т. е. влияют на каждую особь вида одинаково и при низкой, и при высокой плотности. Такие факторы могут снизить или увеличить численность популяции, но не станут её регулировать, т.е. приводить в соответствие с ёмкостью среды. В большинстве случаев к ним

относятся абиотические факторы. Например, зимой все животные испытывают на себе влияние суровых погодных условий вне зависимости от того, высока или низка численность популяции (рис. 57.5).

Другие факторы оказывают ограничивающее влияние тем сильнее, чем выше становится плотность популяции. Их называют **факторами, зависящими от плотности**. Это прежде всего обилие ресурсов (корма, минеральных веществ, укрытий, мест для гнездования или отдыха) и количество биологических врагов (хищников, паразитов, болезнетворных микроорганизмов). Так, при росте плотности популяции пища становится лимитирующим фактором. Её хватает не всем, и за счёт недоедания и гибели слабых особей увеличивается смертность, снижается рождаемость, рост численности замедляется или начинает сокращаться. При падении плотности популяции ниже ёмкости среды численность начинает восстанавливаться. В итоге факторы, зависящие от плотности, *регулируют* численность, поддерживая её на относительно стабильном уровне.



57.5. Массовая гибель рыбы в результате катастрофического загрязнения водоёмов

Её хватает не всем, и за счёт недоедания и гибели слабых особей увеличивается смертность, снижается рождаемость, рост численности замедляется или начинает сокращаться. При падении плотности популяции ниже ёмкости среды численность начинает восстанавливаться. В итоге факторы, зависящие от плотности, *регулируют* численность, поддерживая её на относительно стабильном уровне.

- Приведите другие примеры изменения численности популяции факторами, зависящими и не зависящими от плотности.

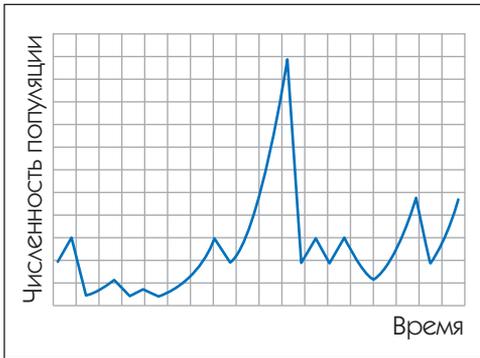
Как приспособиться к непредсказуемости

- Почему численность одних видов относительно стабильна, а другие дают резкие «вспышки» численности?

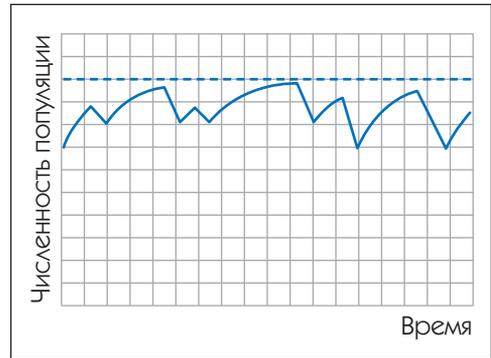
Сравним несколько примеров: одуванчик и ландыш, берёза и дуб, треска и лосось, воробей и стриж, кролик и обезьяна. Что в них общего? В каждой паре первый вид более плодовит, чем второй. Почему? Потому что особи первого вида подвергаются действию таких факторов, к которым трудно выработать совершенные приспособления. Среди них: вытаптывание, бедная почва и неблагоприятный микроклимат, отсутствие укрытий для потомства, суровые условия перезимовки, беззащитность против хищников.

Воздействие этих факторов бывает так велико или так неожиданно, что приводит к гибели особей независимо от их индивидуальных качеств. В таких условиях естественный отбор направлен на повыше-

ние репродуктивного потенциала организма (параметра r в экологических моделях). Чем менее предсказуемы изменения среды, тем более выгодно особям вкладывать все усилия в размножение, и чем раньше, тем лучше. Преимущество получают мелкие, но многочисленные потомки, приспособленные к расселению. Некоторые из них, попав в благоприятные условия, способны обеспечить быстрый рост популяции. Однако в непредсказуемой среде её рост может прерваться в любое время, из-за чего численность испытывает нерегулярные колебания в десятки и сотни раз (рис. 57.6).



57.6. Популяция r -вида обычно находится на стадии роста



57.7. Численность популяции K -вида приближается к ёмкости среды

- Какую стратегию используют чаще простейшие по сравнению с многоклеточными животными, насекомые по сравнению с позвоночными животными?

В противоположных условиях – когда среда стабильна и предсказуема – на всякий ресурс находится избыточное число потребителей. Но ёмкость среды (параметр K в экологических моделях) ограничена, поэтому здесь господствует острая индивидуальная конкуренция за ресурсы. Эффективно конкурировать способен только взрослый, сформированный организм. Естественный отбор здесь направлен на выживание, а размножение становится возможным лишь в старшем возрасте, в том случае, если потомки немногочисленны и хорошо подготовлены к жизни благодаря родительской заботе. Во взрослой популяции, численность которой удерживается равной по отношению к ёмкости среды, место для молодого поколения освобождается только после гибели старых особей. Поэтому численность таких популяций отличается большим постоянством (рис. 57.7).

Эти две противоположные стратегии жизни получили название **r -** и **K -стратегии**. Каждая из них позволяет максимально использовать ресурсы среды.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Существование вида в ареале определяется благополучием каждой его популяции – совокупности особей, занимающей определённое местообитание и способной к длительному самовоспроизведению. Благополучие популяции выражается её численностью, плотностью, рождаемостью, смертностью, половозрастной и пространственной структурой. Численность популяции в целом тем больше, чем больше обилие пригодных ресурсов и чем меньше условия среды отличаются от оптимальных. Факторы среды, не зависящие от плотности популяции, отклоняют её численность в произвольном направлении. Факторы среды, зависящие от плотности, вновь приводят её в соответствие с ёмкостью среды, т.е. регулируют численность по принципу отрицательной обратной связи. Естественный отбор выработал различные жизненные стратегии видов, позволяя максимально использовать как стабильные, так и непредсказуемые ресурсы.

Ареал. Популяция. Рождаемость, смертность. Возрастная и пространственная структура популяции. Факторы, зависящие и не зависящие от плотности

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Как называется группа особей, которая может существовать в течение многих поколений?
2. ● Опишите любую человеческую популяцию, используя демографические термины.
3. ● Приведите примеры влияния факторов среды, зависящих и не зависящих от плотности популяции, на вымышленном примере с неким животным.
4. ● Как вы считаете, имеем ли мы моральное право регулировать человеческую популяцию, и если да, то каким образом?
5. ● Почему в подавляющем большинстве случаев организмы не выходят за границы своей популяции?
6. ● Опишите, какие факторы могут ограничивать величину популяции сосен, лосей, шмелей, карасей.
7. ● Предложите вымышленный случай увеличения ёмкости среды для данной популяции. Опишите, как менялись при этом рождаемость и смертность.
8. ● Чем отличаются возрастные структуры населения первобытных людей, жителей развивающихся и развитых стран?
9. ● Как образ жизни и поведение животных может влиять на пространственную структуру их популяций?

§ 58–59. Кому выгодны межвидовые взаимоотношения

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Факт 1. Испокон века люди истребляли волков. Продолжают истреблять и теперь.

Факт 2. Место волка занимают одичавшие собаки. В отличие от волков, они людей знают и не боятся. Они потеряли способность охотиться на диких животных и охотятся на домашних, селятся вблизи человека.

- Подумайте, надолго ли удастся повысить численность жертв, истребляя хищников?
- Предложите вопрос, определяющий роли видов в сообществе. Сравните с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие существуют факторы среды? (§ 56)
- Какие типы биотических отношений вы знаете? (9 класс, жизненный опыт)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Многовидовое сообщество

- Какие отношения связывают видовые популяции в одно сообщество?

Совокупность совместно обитающих популяций разных видов образует **сообщество**. Их объединяет не только общее местообитание, но и **межвидовые отношения**, закреплённые долгой совместной эволюцией. Каждое сообщество характеризуется собственной видовой структурой: составом видов и их количественным соотношением. Межвидовые взаимодействия определяют численность популяций, входящих в сообщество.

Межвидовые отношения многообразны. Виды растений образуют среду обитания для животных, включая микроклимат, укрытия и опору для гнезда; в море ту же роль выполняют кораллы. Одни организмы могут служить транспортом для других. Это особенно важно для неподвижных растений, которые используют животных для переноса пыльцы и семян. Но наиболее распространены пищевые, или трофические, отношения, в которых один вид служит источником пищи для другого. Виды, использующие один и тот же ресурс, вступают в конкурентные отношения друг с другом. Даже виды, не имеющие прямых отношений друг с другом (нейтрализм), косвенно зависят от остальных членов сообщества.

Взаимоотношения типа «хищник – жертва»

- Какие типы межвидовых отношений выгодны для одной стороны и не выгодны для другой?



58.1. Три типа трофических отношений

- Найдите общее в этих отношениях. Назовите особенности каждого из них.

Растительность – один из самых распространённых типов отношений между растениями и животными. Именно он в конечном счёте обеспечивает существование всех животных. Эти отношения часто называют пастбищными, имея в виду не только питание травоядных копытных в саванне, но и листогрызущих насекомых в лесу или зоопланктон, потребляющий микроскопические водоросли.

Хищничество – поедание одним организмом (хищником) другого (жертвы) – самый наглядный тип биотических взаимоотношений. Как правило, хищники и жертвы принадлежат к разным, достаточно далёким видам. Это волки и копытные, хищные (осы, жужелицы, муравьи) и растительноядные (личинки жуков и гусеницы бабочек) насекомые.

Для **паразитизма** характерно длительное использование паразитом тела хозяина в качестве источника пищи и убежища. Паразиты бывают наружными (блохи, клещи, комары) и внутренними (черви, простейшие, личинки некоторых насекомых). Особый случай – гнездовой паразитизм кукушки и некоторых других птиц. Начальную стадию паразитизма можно наблюдать у поморников, отнимающих пойманную рыбу у чаек, или у лисиц, «выживающих» барсука из норы.

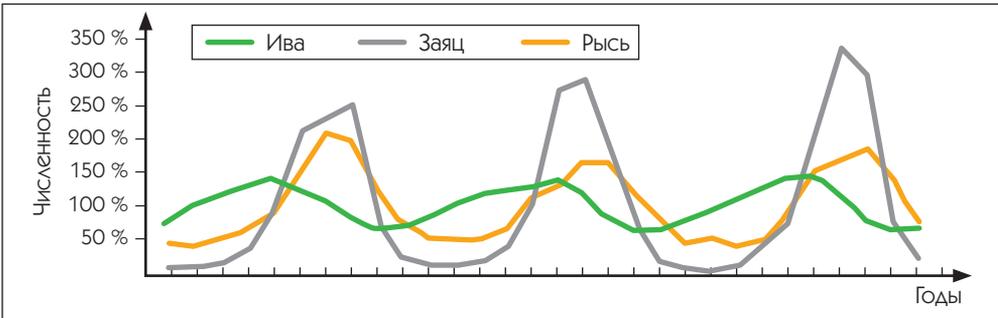
На первый взгляд, эти отношения различаются: истинный хищник убивает свою жертву, паразит наносит ей длительный вред, а растительноядные животные – самые мирные на свете – не убивают, а повреждают множество организмов. Но во всех отношениях типа «хищник – жертва» один вид живёт за счёт питания живыми тканями другого вида. «Хищник» получает выгоду, жертва – ущерб, но ни тот ни другой не может избежать этих отношений и вынужден приспосабливаться друг к другу.



58.2. Примеры приспособлений

- Вспомните назначение этих приспособлений.

Естественный отбор совершенствует методы нападения и защиты. Как правило, состязание приводит к «ничьей»: популяция жертвы жива, а «хищника» – сыта. Устойчивое равновесие сил может приводить к периодическим колебаниям их численности.



58.3. Колебания численности ивы, зайца и рыси в Канаде

- Обратите внимание на то, в каком порядке популяции достигают пика. Объясните своё наблюдение.

Учёные подтвердили, что численность рыси обусловлена колебаниями численности зайца. Численность рыси растёт вслед за численностью зайца, но запаздывает на время, необходимое для размножения. Однако обратное влияние мало: рыси размножаются не так быстро, как зайцы, и их хищничества недостаточно, чтобы снизить численность зайцев. Позднее обнаружили, что не учтены ещё пищевые отношения между зайцем и ивой, влияние которых на численность оказалось взаимным. Ивы, объеденные зайцами, вырабатывают токсин и на 2–3 года становятся несъедобными. Из-за этого численность зайцев снижается. В итоге все три звена этих отношений колеблются с периодом в 10 лет.



Некоторые насекомые, приспособившись к воздействиям хищников, имеют столь высокий репродуктивный потенциал, что не всякий хищник способен остановить рост их численности. Вспышки «гасят» другие члены сообщества.

Изучение пищевых взаимодействий между видами помогает предсказать массовые вспышки численности насекомых и грызунов, выработать биологические методы борьбы с ними. Для этого ставят эксперименты по эффективности хищников, разрабатывают сложные математические модели взаимного влияния популяций. Не менее важно исследовать ситуации, когда человек сам выступает в роли хищника: например, при промысле рыбы. Есть способы определить оптимальную промысловую нагрузку – с наибольшим эффектом и устойчиво высокой численностью.



К трофическим отношениям также относятся питание *продуцентов* неорганическими веществами и питание *редуцентов* детритом (мёртвой органикой). Опосредованно, через почву, растения превращаются в потребителей мёртвой органики. Между ними – хотя и с большим запаздыванием – также складывается количественная пропорциональность.

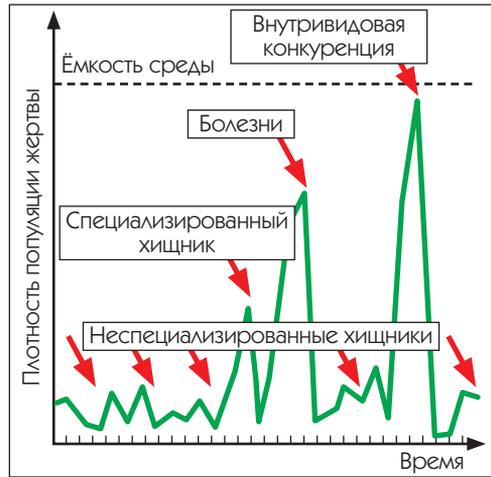
Симбиотические отношения

- Какие типы межвидовых отношений выгодны обеим сторонам?

Симбиозом (от греч. *symbiōsis* – совместная жизнь) называют отношения между видами, которые в той или иной степени увеличивают выживаемость или плодовитость каждого из них.

Симбиоз, жизненно необходимый для обоих партнёров, называется **мутуализмом**. Яркий пример – простейшие и бактерии в пищеварительном тракте растительоядных животных.

Взаимовыгодные, но необязательные отношения принято называть **протокооперацией**. Например, на раковине, занятой раком-отшельником, иногда селятся актинии. Рак в поисках пищи привозит актинию к кормным местам, а сам пользуется остатками её трапезы и защитой её стрекательного аппарата.



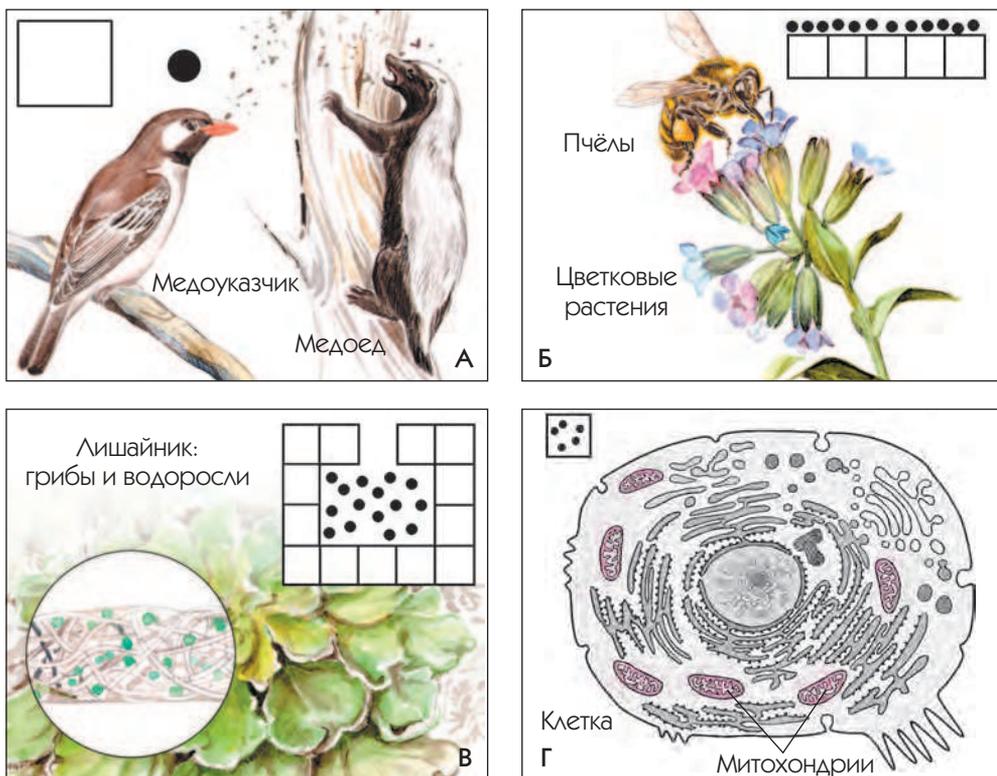
58.4. Причины падения численности популяции

- Как действуют факторы, удерживающие численность популяции в определённых границах?

Отношения, выгодные одной стороне, называют **комменсализмом**. В этой роли выступают, например, шакалы, подбирающие остатки трапезы льва, или жуки-копрофаги – поедатели навоза.

Вероятно, в большинстве случаев такие связи происходят из отношений типа «хищник – жертва», в которых хищник (паразит, потребитель) стал «заботиться» о жертве, чтобы дольше её использовать. Эти отношения вполне эгоистические: затраты на заботу значительно уступают получаемой выгоде от партнёра.

Выгоды партнёрства заключаются в том, что каждый организм получает от другого необходимое ему питание или защиту и опору. Высшие растения, водоросли и бактерии делятся произведёнными углеводами, взамен получая необходимые неорганические вещества, микроэлементы и структуру, подводящую вещества и энергию к каждой клетке. В других случаях неподвижные организмы используют подвижность своих симбионтов. При этом достигается различная степень объединения организмов (рис. 58.5).



58.5. Различная степень объединения симбиотических организмов: А – на уровне поведения; Б – на поверхности организма; В – внутри организма; Г – внутри клетки

Симбиотические организмы синтезируют значительную часть биомассы на планете. На суше это лишайники, травянистые растения с клубеньковыми бактериями и деревья, образующие микоризу с грибами, в море – кораллы, содержащие водоросли под своими покровами, а на глубине – погонофоры, тело которых «нашпиговано» хемосинтезирующими бактериями. Опыление и расселение большинства растений не обходится без помощи животных. Пищеварение растительноядных животных нуждается в работе микроорганизмов, разлагающих клетчатку.

В последнее время всё больше подтверждений получает теория, согласно которой все эукариоты обязаны своим происхождением и эволюцией внутриклеточному симбиозу с бактериями, образовавшими пластиды, митохондрии и другие органеллы. Наконец, человечество научилось эффективно обеспечивать себя пищей только в симбиозе с культурными растениями и животными и даже микроорганизмами.

Межвидовая конкуренция

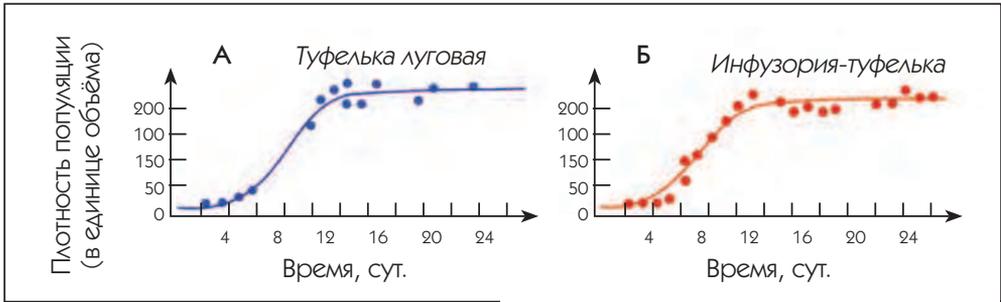
- В каких случаях между видами возникают конкурентные отношения?

Конкуренция может возникать между организмами, претендующими на общие для них ресурсы. Например, растения засушливых мест конкурируют за воду, а конкуренция за свет создаёт ярусную структуру леса и луга. Птицы-дуплогнездники, белки, сони и желтогорлые мыши конкурируют за подходящие дупла. Зайцы могут служить пищей рыси, лисице и волку.

Иногда виды, конкурирующие за определённые ресурсы, вступают в прямую борьбу (она называется *интерференцией*). Некоторые растения активно борются с конкурентами при помощи *фитонцидов* – ядов, выделяемых ими в воздух и почву. Если поставить в один букет ландыши и сирень, то уже к вечеру того же дня сирень завянет, отравленная фитонцидами ландыша.

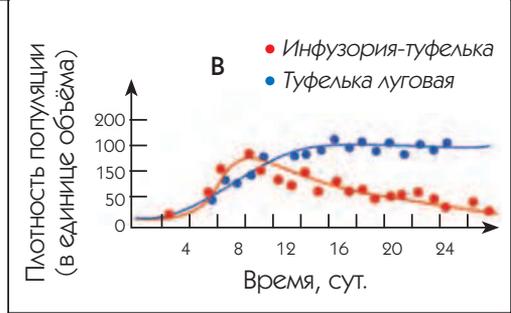
Чаще при конкуренции прямой борьбы не происходит, но виды, потребляя общие ресурсы, снижают выживаемость и плодовитость друг друга (такую конкуренцию называют *эксплуатационной*). На самом деле гораздо чаще виды, потребляющие один и тот же ресурс, не оказывают влияния друг на друга, потому что этот ресурс не является для них лимитирующим.

Численность каждого вида может ограничиваться ёмкостью его среды обитания, которая определяется количеством доступных ресурсов. Различные виды, использующие сходные ресурсы, также могут уменьшать ёмкость среды друг друга. В этом случае виды становятся конкурентами. В основе изучения межвидовой конкуренции лежат лабораторные работы российского учёного Георгия Францевича Гаузе. Он исследовал рост популяций инфузорий различных видов в питательном растворе, равная порция которого подливалась каждый день (рис. 58.6).

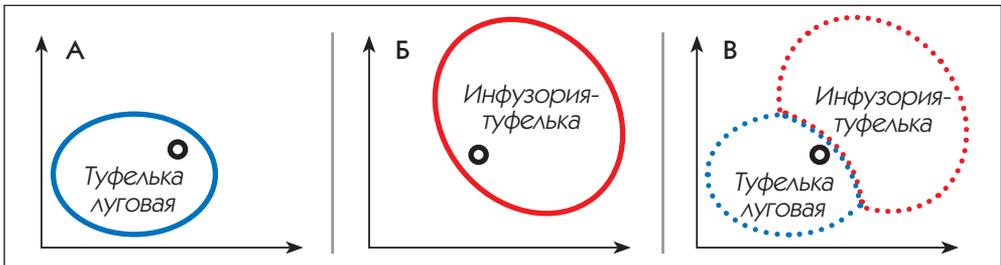


58.6. Рост лабораторных популяций двух видов инфузорий при раздельном (А, Б) и совместном выращивании (В)

- Опишите опыты Гаузе. Почему виды не смогли существовать совместно?



Один из видов (туфелька луговая) оказался более приспособленным к данной среде. Размножаясь медленнее, он смог размножиться при более высокой совместной плотности двух видов, чем его конкурент. Результаты многих подобных опытов позволили вывести **принцип конкурентного исключения** (правило Гаузе): *из двух видов, приспособленных к существованию в одной и той же однородной и постоянной среде, при совместном обитании выживает только один*. Отсюда следует, что не может быть двух видов, одинаково приспособленных к одним и тем же условиям, т.е. экологические ниши видов обязательно различаются.



58.7. Экологические ниши двух видов инфузорий в зависимости от температуры и концентрации пищи в опыте Гаузе, проведённом в условиях межвидовой конкуренции, обозначены кружком. Обратите внимание на уменьшение ниш видов при совместном обитании

Если в природе или в эксперименте мы наблюдаем сосуществование двух видов, значит, нарушены условия принципа исключения: среда неоднородна или непостоянна и каждый вид находит в ней свою нишу. Возникает вопрос: насколько неоднородна должна быть среда и насколько близки могут быть виды, чтобы сосуществовать? Оказывается, при острой конкуренции по одному признаку (например, размеру жертв) для существования достаточно различаться хотя бы в 1,3 раза (рис. 58.8).



58.8. Землеройки-бурозубки средней полосы России – потребители почвенных беспозвоночных



58.9. Сумчатый волк вымер в результате вытеснения конкурентом – собакой динго

Если два близких вида с различным распространением встречаются в одном местообитании, то конкуренция способствует *смещению их признаков*, позволяя занять различные ниши. Наоборот, вид, попадающий на далёкий остров, где нет конкурентов, окружавших его на материке, испытывает *экологическое высвобождение* и может расширить свою нишу. Случаи конкурентного исключения происходят в природе и по вине человека. Так, завезённая в Австралию и одичавшая собака динго вытеснила более слабого конкурента – сумчатого волка, который вскоре вымер (рис. 58.9).

Несмотря на то что межвидовая конкуренция в природе наблюдается реже, чем внутривидовая, она, несомненно, сыграла большую роль в эволюции органического мира. Соревнование в освоении ресурсов ведёт к отбору более приспособленных видов и к повышению эффективности использования этих ресурсов. Расхождение экологических ниш заставляет виды использовать новые малодоступные ресурсы, заселять новые местообитания. Существующее разнообразие форм жизни на Земле возникло в значительной мере благодаря конкуренции.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Совокупность популяций разных видов, объединённых общим местообитанием, образует сообщество. Каждый вид зависит от других видов сообщества – в обеспечении пищей, возможностью передвигаться, удобным местоположением, укрытиями, микроклиматом – и сам влияет на другие виды. Взаимоотношения типа «хищник – жертва» (растительноядность, хищничество, паразитизм) положительны для «хищника» и отрицательны для жертвы. «Хищник» не уничтожает популяцию «жертвы», но снижает её численность. Симбиотические отношения (мутуализм, протокооперация, комменсализм) положительны (или неотрицательны) для обоих видов. Конкуренция за общие ресурсы отрицательно влияет на численность обеих популяций и может привести к вытеснению или вымиранию одной из них. Даже в случае нейтрализма любая пара видов в сообществе влияет друг на друга через промежуточные звенья.

Растительноядность, хищничество, паразитизм, комменсализм, мутуализм, протокооперация, конкуренция

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Чем связаны друг с другом популяции видов одного сообщества?
 2. • Приведите примеры трофических и нетрофических отношений между видами.
 3. • В чём сходство и различие хищничества, паразитизма и комменсализма?
 4. • В чём сходство и различие мутуализма и протокооперации?
 5. • Приведите наиболее яркие примеры внутриклеточного симбиоза.
 6. • Чем конкуренция отличается от других типов биотических отношений? К каким долгосрочным последствиям она ведёт?
 7. • Опишите зависимость популяции жертвы от популяции хищника и наоборот. В каком случае влияние будет сильнее?
 8. • Какие факторы удерживают численность популяции в ограниченных пределах? Поясните на примере.
 9. • Докажите, что для использования природных популяций полезен опыт рантье, живущего на проценты от капитала.
 10. • В чём состоит принцип конкурентного исключения? Почему его редко удаётся наблюдать в природе?
-  11. • Поиграйте в группе: каждый из семи участников по очереди приводит примеры типа взаимоотношений в сообществе. Выигрывает тот, кто приведёт больше примеров.

§ 60–61. Сообщество – экологический продукт эволюции

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Сообщество складывается из ныне существующих видов. Их численность и распространение меняются, изменяя структуру сообществ.

Факт 2. Эволюция каждого вида проходила в сообществе под влиянием комплекса биотических отношений.

- На какое противоречие вы обратили внимание? Что первично: виды или их сообщество? Может ли любой вид стать членом любого сообщества? Какие особенности сообщества препятствуют свободной замене видов?
- Предложите проблему для исследования на уроке и сравните её с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие отношения связывают виды в сообществе? (§ 58–59)
- Как среда направляет процессы микро- и макроэволюции? (§ 43–44, 47)
- Что такое сукцессии? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Описание сообщества

- Какие свойства характеризуют сообщество в целом?

Свойства борща зависят от искусства хозяйки. Они появляются при определённом сочетании и обработке овощей, набор которых зависит от наличия в магазине. При этом масса блюда не превышает ёмкости кастрюли. Так же и свойства каждого сообщества складываются из свойств видов, входящих в его состав, и взаимодействий между ними, но не сводятся к сумме свойств отдельных видов. Среди них биомасса сообщества, его продуктивность (урожайность), видовое разнообразие, структура трофических сетей, пространственная структура, допустимое сходство экологических ниш и многое другое.

Главный вопрос экологии сообществ: повторяются ли общие свойства в сообществах, состоящих из других видов?

Видовая структура

- Почему каждое сообщество имеет свой характерный видовой состав?

Каждое сообщество включает от сотен до десятков тысяч характерных видов. Каждый вид выполняет определённую функцию в круговороте веществ. Чем больше видовое разнообразие сообщества, тем более

эффективны эти функции и их варианты в различные сезоны и годы, отличающиеся условиями температуры, влажности и т.д. Но главное – это взаимная согласованность функций разных видов в экосистеме, которая достигается в процессе их совместной эволюции (*коэволюции*). Поэтому каждое сообщество имеет вполне определённый видовой состав.

Пространственная структура

- Чем определяется вертикальная и горизонтальная структура сообщества?

Взаимное расположение организмов разных видов определяет **пространственную структуру**. В наземных сообществах важнейшую роль играет растительность, особенно виды-*эдификаторы* – виды, преобладающие по биомассе. Они создают среду обитания для других организмов. Различают вертикальную и горизонтальную структуры.

Основу вертикальной структуры формируют **ярусы** растительности – высотные уровни с различным микроклиматом. Различают мохово-лишайниковый ярус, травяной, кустарниковый, древесный. В тропических лесах с особо развитой вертикальной структурой насчитывается до пяти древесных ярусов. С каждым ярусом растительности связаны определённые виды животных и растений-эпифитов. Благодаря ярусному расположению растения эффективно используют световой поток, снижая конкуренцию за него.

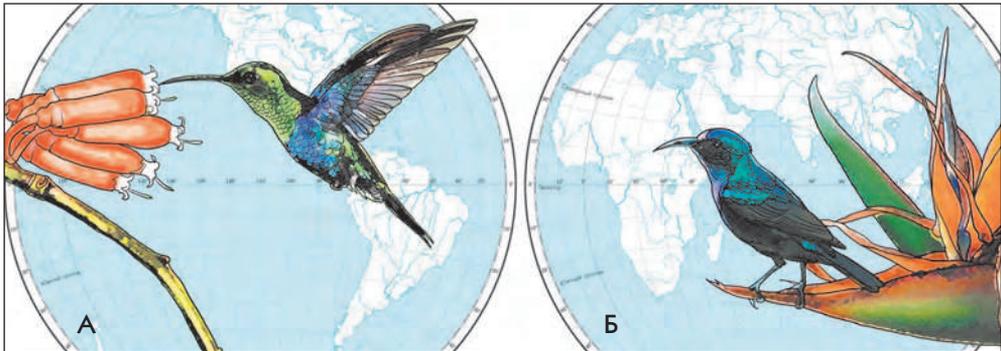
Неоднородность рельефа, почвы, экспозиции обуславливает мозаичное распределение видов-эдификаторов и создаёт иерархическую горизонтальную структуру сообществ. Самым мелким подразделением будет конкретный **биоценоз**, занимающий однородное местообитание. Самым крупным – **биом**, объединяющий биоценозы целой природной зоны. К числу основных биомов относятся, например, тундра, тайга, саванна.

Функциональное сходство сообществ

- Насколько различны сообщества, сформировавшиеся независимо в одинаковых условиях среды?

Главный вопрос экологии сообществ: повторяются ли общие свойства сообществ, если они состоят из других видов?

Свойства биомов зависят прежде всего от климатических условий: распределения тепла и влаги по сезонам. От этого зависит, какими экологическими группами будут представлены сообщества этого биома. Каждую экологическую группу, или **жизненную форму**, составляют виды со сходным образом жизни, отношением к среде обитания и ролью в сообществе. В разных сообществах одни и те же жизненные формы могут быть представлены различными видами (рис. 60.1). Виды одного

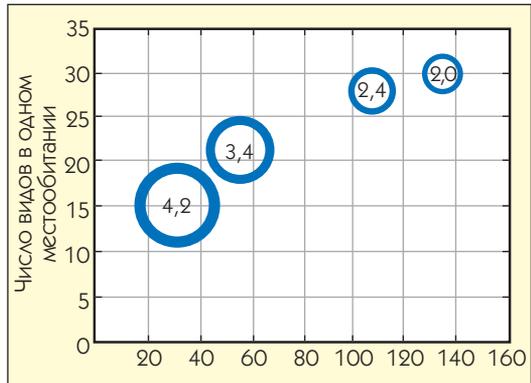


60.1. Жизненные формы и виды-аналоги: А – колибри; Б – нектарницы

сообщества – продукт их совместной (сопряжённой) эволюции, обеспечивающей их взаимное приспособление и согласование функций в сообществе.

Число видов зависит от обилия и разнообразия ресурсов. Принцип конкурентного исключения ограничивает возможность использования сходных ресурсов различными видами в одном сообществе. Поэтому в каждом местообитании встречается только часть тех видов, которые могли бы войти в него в силу своего географического распространения. Это те виды, которые оказались устойчивыми к данным условиям обитания и более сильными конкурентами, чем другие претенденты.

Исходя из сказанного, мы должны ожидать, что местообитания со сходными условиями в разных областях населены сходным числом видов. На самом деле там, где сообщество богато видами, каждый из них занимает то местообитание, к которому он лучше приспособлен, а там, где их меньше, каждый может занять несколько пригодных местообитаний (рис. 60.2). На изолированных островах фауна беднее видами. Зато обилие каждого островного вида выше, так как он может использовать ресурсы, которые на материке используют другие виды. При этом часто оказывается, что материковый вид, попав на остров, начинает вытеснять местный, менее конкурентоспособный.



60.2. На четырёх тропических островах число видов птиц в каждом местообитании возрастает с увеличением разнообразия их фауны. При этом каждый вид встречается в меньшем количестве (размер кружков) и в меньшем числе местообитаний (цифры)

В тропиках, где условия среды благоприятны для жизни, для структуры сообществ особое значение имеет конкуренция. В высоких широтах, в горах, пустынях, морских глубинах более важной становится способность противостоять лимитирующим физическим условиям. Обитание вида часто ограничивается не крайними значениями факторов среды, а непредсказуемостью наступления суровых условий.

Первичная и вторичная сукцессии

- Как сообщество реагирует на нарушение среды обитания?

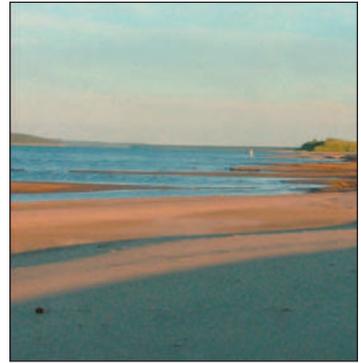
Различные природные катастрофы (рис. 60.3 – 60.4) и деятельность человека могут частично или полностью уничтожить сообщество. Постепенное самопроизвольное восстановление нарушенного сообщества или его развитие на новом месте называется **сукцессией**.



60.3. Лес, сгоревший после попадания молнии



60.4. Потoki лавы при извержении вулкана



60.5. Река размывает заросший растительностью берег и взамен откладывает наносы

- Предскажите, что рано или поздно образуется в таёжной зоне на месте хвойного леса после прекращения воздействия катастрофических факторов.
- Чем различаются условия, созданные природными нарушениями, для развития сообщества?

Образование и развитие сообщества организмов на лишённом жизни минеральном субстрате часто называют *первичной сукцессией*. Восстановление сообщества после частичного повреждения (пожар, вырубка и др.) называют *вторичной сукцессией*. Каждое сообщество находится на какой-либо стадии первичной и вторичной сукцессии, причём очень немногие достигают конечных стадий. Часто различные стадии сукцессии можно наблюдать в ряду соседних сообществ, например на берегу озера или на опушке леса, где на более удалённых участках сукцессия начиналась в более ранние сроки.

Куда «идёт» сукцессия?

- Что придаёт направленность сукцессионной смене биоценозов?

Первые организмы, поселившиеся на голом грунте, подвержены резкому влиянию абиотических факторов. В ходе сукцессии сменяющие друг друга биоценозы всё в большей степени берут на себя контроль за средой собственного обитания, в том числе и за её абиотическими факторами. На скале сообщество создаёт почву, задерживающую влагу, и тень, уменьшающую испарение. На зарастающем озере отмирающие части растений постепенно образуют слой торфа, поднимающий сообщество над уровнем грунтовых вод. На щелочной материнской породе растения увеличивают кислотность почв, а на кислой – уменьшают. В итоге с течением времени, иногда очень длительного, но рано или поздно условия в любом биоценозе становятся сходными и приближаются к климатической норме для данной природной зоны.

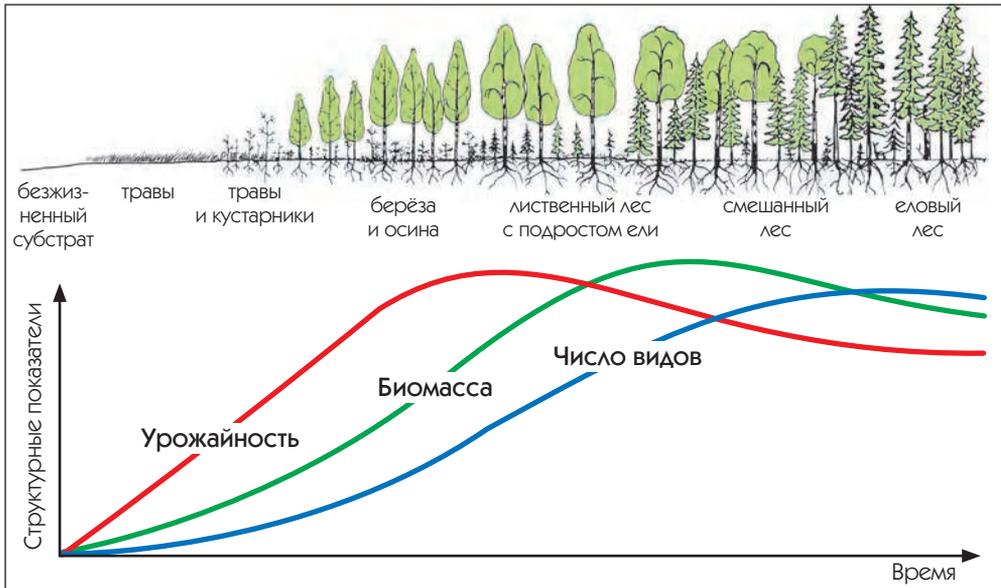
Такой биоценоз, к которому привела бы любая сукцессия в данном регионе при отсутствии нарушений, называется *климаксным*. В нём в конкурентной борьбе побеждают одни и те же виды, наиболее приспособленные к зональным условиям. Экологический круговорот становится полностью замкнутым, и условия перестают изменяться. Однако природные нарушения – ураганы, пожары, наводнения, оползни – случаются обычно раньше, чем биоценоз достигнет климакса, и сукцессия начинается снова. Поэтому в природе мы чаще встречаем промежуточные стадии.

Как меняются свойства биоценоза

- Как изменяются свойства биоценозов, сменяющих друг друга в ходе сукцессии?

Основных причин сукцессии две. Первая – *накопление излишков органического вещества*, которое ведёт к изменению условий. Вторая причина – *наличие «сменных комплектов» видов* в региональном сообществе. Они способны временно заселить нарушенный участок, пока могут использовать его ресурсы более эффективно, чем другие.

Чем же отличаются биоценозы на разных стадиях сукцессии? На начальных стадиях биомасса, урожайность и видовое разнообразие биоценоза невелики из-за влияния неблагоприятных абиотических факторов (переувлажнение, засушливость, повышенная кислотность и т.п.). Затем условия существования смягчаются за счёт воздействия биоценоза на окружающую среду (рис. 60.6). Становится возможным рост урожайности, который позволяет накопить биомассу. На поздних стадиях мощная растительность обеспечивает наибольшее средообразующее воздействие на неживую природу. Условия в климаксном биоценозе становятся более стабильными. Это способствует росту популяций многих специализированных видов, приспособленных к жизни в конкурентной среде.



60.6. Изменение структуры биоценоза в ходе сукцессии

- В чём причины падения урожайности на поздних стадиях сукцессии? С какой сменой растительности это связано? Чем объясняется монотонный рост разнообразия видов?

«Сменные комплекты» видов для сукцессии

- Какие адаптации помогают осваивать ранние и поздние стадии сукцессий?

Виды растений на ранних стадиях сукцессии отличаются высокой толерантностью к тем или иным абиотическим факторам, но низкой конкурентоспособностью. Для них характерны короткий жизненный цикл, быстрый рост, высокая плодовитость и дальнейшее расселение. Главный фактор успеха растений поздних сукцессионных стадий – теневыносливость, которая позволяет развиваться под пологом других растений. У них калорийные семена или плоды, привлекающие животных для распространения. Среди деревьев, обычных для средней полосы России, берёза и тополь, например, характерны для ранних, а ель и дуб – для поздних стадий сукцессий.

- Как распределяются по сукцессионным стадиям *r*- и *K*-виды?
- На каких стадиях сукцессий и почему в биомассе растений преобладают омертвевшие опорные ткани?

Многие виды животных также приурочены к определённым стадиям сукцессий. Некоторые высшие животные могут оказывать существенное влияние на ход сукцессий. Так, считается, что сукцессии степных

сообществ зависят от крупных млекопитающих. Большой вклад в формирование растительности вносит роющая деятельность животных. Ещё значительнее влияние животных на почвенные процессы и на изменения водных экосистем.

Сложность и устойчивость сообществ

- Есть ли преимущества у обитателей сообщества с более сложной структурой?

Сложность сообщества (биоразнообразие во всех значениях) связана в первую очередь с экологическими условиями существования и длительностью эволюционных приспособлений видов к жизни в таком сообществе. В суровых и непредсказуемых условиях сообщества обладают меньшей биомассой, меньшим видовым разнообразием и меньшей эффективностью превращения неорганических веществ в «живое вещество» – биомассу. Но в любых условиях природное сообщество – это то лучшее сочетание видов для данного местообитания, которое создано природой за долгую эволюцию жизни на Земле.

Если лишить сообщество части входящих в него видов, эффективность его «работы» снизится. Изменится численность оставшихся видов: возможно вымирание одних и вспышка численности других, что приведёт к вымиранию третьих видов. Из-за сокращения числа видов число используемых ресурсов уменьшится. Будет накапливаться природный «мусор» – отходы, не перерабатываемые сообществом. Из-за недоиспользования ресурсов сократится суммарная биомасса организмов в сообществе. Изменится ценогическая среда сообщества: уменьшится защита от физических факторов и они станут ограничивать численность многих популяций. Это, в свою очередь, приведёт к снижению биоразнообразия сообществ. Исчезновение видов, важных для отдельных стадий сукцессии сообщества, приведёт к тому, что восстановление нарушенных сообществ замедлится, пойдёт по другому пути и, возможно, не достигнет климакса.

Таким образом, антропогенное уменьшение разнообразия видов в сообществе делает его менее эффективным и более уязвимым к нарушениям. В конечном счёте из-за этого страдает среда обитания человека.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Сообщество складывается из видов, приспособленных друг к другу в процессе совместной эволюции. В сходных условиях формируются сообщества, включающие сходный набор жизненных форм. Они содержат различные функциональные группы видов, обеспечивающие способность к сукцессии – самопроизвольному восстановлению биоценозов на нарушенных участках. Развитая структура сообщества способствует эффективному использованию ресурсов и устойчивому существованию.

Биоценоз. Сукцессия. Жизненная форма

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Перечислите основные свойства сообществ.
2. ● От чего зависят свойства сообществ различного масштаба?
3. ● В чём причины сукцессии?
4. ● Чем отличаются поздние стадии сукцессий от ранних?
5. ● Как изменяется сообщество, утратившее часть видов?
6. ● Какие ярусы можно выделить в лесном сообществе вашей местности? Опишите их различия по температуре, влажности, а также суточному и сезонному ходу изменений этих показателей микроклимата.
7. ● Как вы думаете, любое ли нарушение окружающей среды приводит к восстановлению исходной экосистемы путём сукцессии?
8. ● Почему в природных экосистемах не бывает вредителей?
9. ● Аклиматизация растений и животных может увеличить видовое разнообразие экосистем. Какую опасность может нести такое обогащение флоры и фауны?
10. ● Стоит ли охранять биоценозы, если они способны самопроизвольно восстанавливаться?



● ● МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение особенностей биоценозов на разных стадиях сукцессии

Используя учебник, дополнительную литературу, Интернет и собственные наблюдения, заполните таблицу на примере биоценозов своей местности.

Сравнительная характеристика сукцессионных стадий

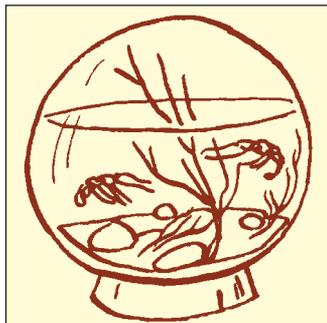
Признак, характеристика	Ранняя стадия	Поздняя стадия
Название биоценоза		
Абиотические факторы у поверхности почвы (ветер, амплитуда температуры и влажности, безморозный период, глубина и плотность снега)		
Сложность ярусной структуры растительности		
Характерные виды растений		
Особенности семян		
Характерные виды животных		
Разнообразие видов растений и животных		

§ 62–63. Экосистема замыкает круговорот веществ

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Факт 1. Стремясь получить высокий урожай, человек вносит удобрения на поля.

Факт 2. Поверхностный сток выносит избыток органических веществ в соседние водоёмы. Это вызывает вспышку размножения цианобактерий и их потребителей, накопление мёртвой органики, истощение ресурсов кислорода и вымирание в водоёме всех аэробных организмов. Из-за опасности отравления вода этих водоёмов становится непригодной даже для купания.



- Достиг ли человек поставленной цели?
- Какая проблема в природе решается лучше, чем в хозяйстве человека? Предложите вопрос для исследования на уроке. Сравните свой вариант с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое круговорот веществ и экосистема? (9 класс)
- Какую роль в экосистеме играют продуценты, консументы и редуценты? (9 класс)
- Какие организмы относятся к авто- и гетеротрофам? (§ 13)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Единство сообщества и местообитания

- Что такое экосистема, какие необходимые компоненты она включает?

Всем организмам необходимо поступление веществ и энергии из окружающей среды. Животное питается другими живыми существами и поглощает из воздуха кислород; растению требуются углекислый газ, минеральные вещества и солнечная энергия. Поэтому живые организмы в отсутствие неживой природы существовать не могут.

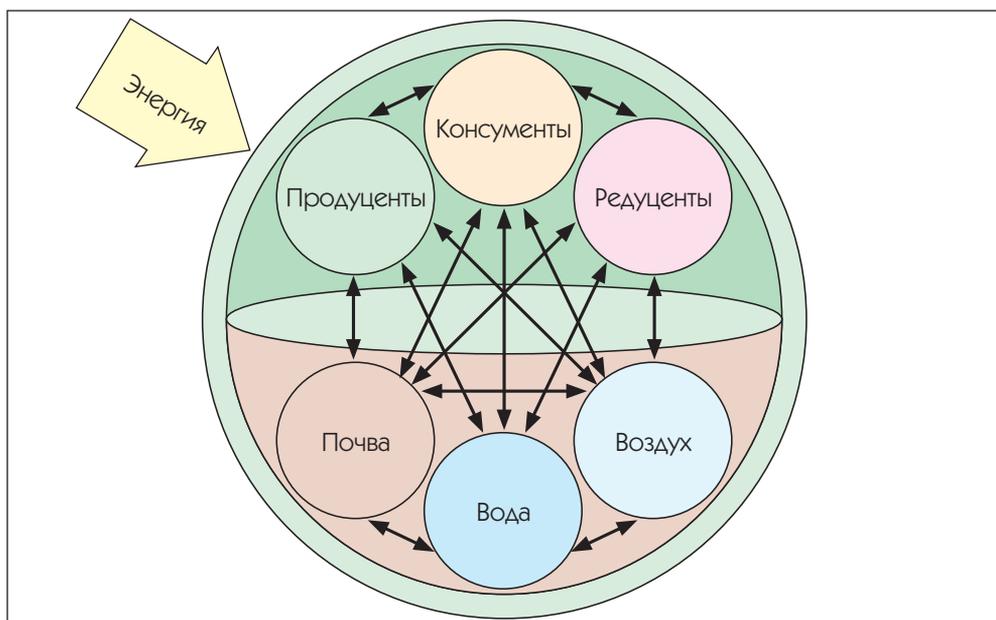
Экосистема – единство биотических и абиотических (вода, воздух, почва, минеральные вещества и т.п.) компонентов природы, в котором сообщество совместно обитающих живых организмов способно общими усилиями поддерживать круговорот веществ (рис. 62.1).

Сообщество – «двигатель» круговорота веществ

- Как действует круговорот веществ?

Рассмотрим для примера две хорошо знакомые экосистемы: озеро и лес (рис. 62.2).

Главная роль в преобразовании неорганических компонентов экосистемы принадлежит **продуцентам** (от лат. *producentis* – создающий). Это автотрофные организмы – в основном зелёные растения, способные



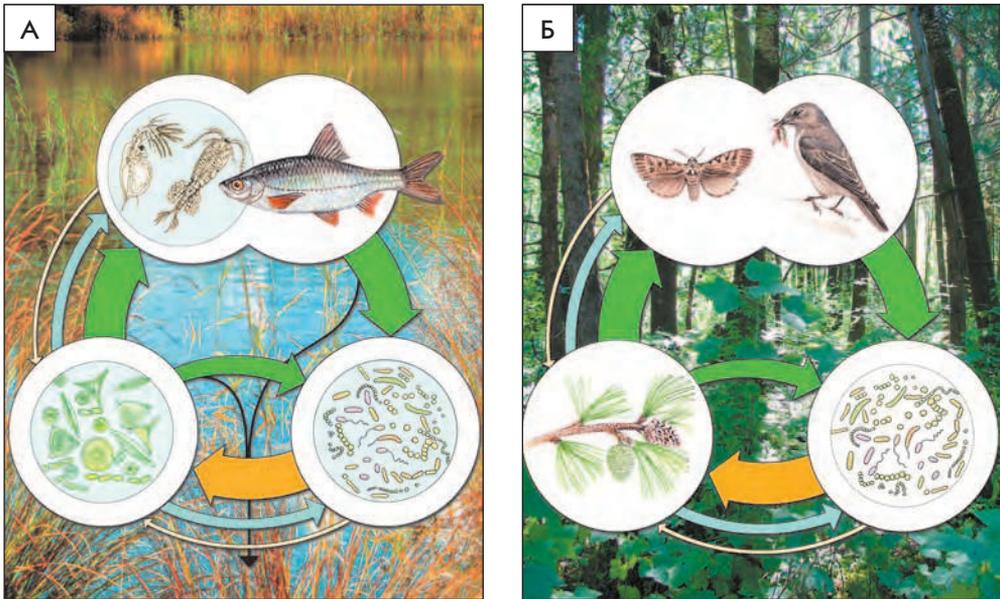
62.1. Взаимосвязь компонентов экосистемы

- Приведите примеры взаимодействия компонентов экосистемы. Какое влияние на все компоненты оказывает энергия Солнца? Кто создаёт почву? Как растения влияют на микроклимат в экосистеме (влияние на температуру, влажность, силу ветра)? Как живые организмы влияют на газовый состав воздуха?

создавать органические вещества из неорганических в результате фотосинтеза. Солнце – главный источник энергии, поддерживающий круговорот веществ в экосистеме. Продуценты аккумулируют энергию и минеральные вещества в составе своих организмов, делая их доступными для оборота в экосистеме.

Продуценты – источник вещества и энергии для **консументов** (от лат. *consumo* – потребляю). К ним относятся гетеротрофные организмы, потребляющие готовые органические вещества, богатые энергией. Консументы первого порядка (растительноядные животные) получают их непосредственно от продуцентов, а консументы второго, третьего и следующих порядков (хищные животные) – опосредованно, в виде животной пищи.

Возвращение минеральных веществ в почву обеспечивают **редуценты** (от лат. *reducentis* – возвращающий) – разрушители органических веществ до более простых, неорганических компонентов. К ним принадлежат главным образом бактерии и грибы, которые используют остатки отмерших организмов в виде растворов готовых органиче-



62.2. Символическая схема экосистемы: А – озера; Б – леса

- Опишите круговорот веществ в экосистеме. Что обозначают стрелки разного цвета? Какие роли играют живые организмы в круговороте веществ?

ских веществ. Сохранённую в них энергию редуценты тратят на жизнедеятельность, благодаря которой минеральные вещества снова становятся доступными для продуцентов. Тем самым круговорот замыкается.

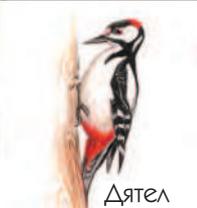
Цепи питания и трофические уровни

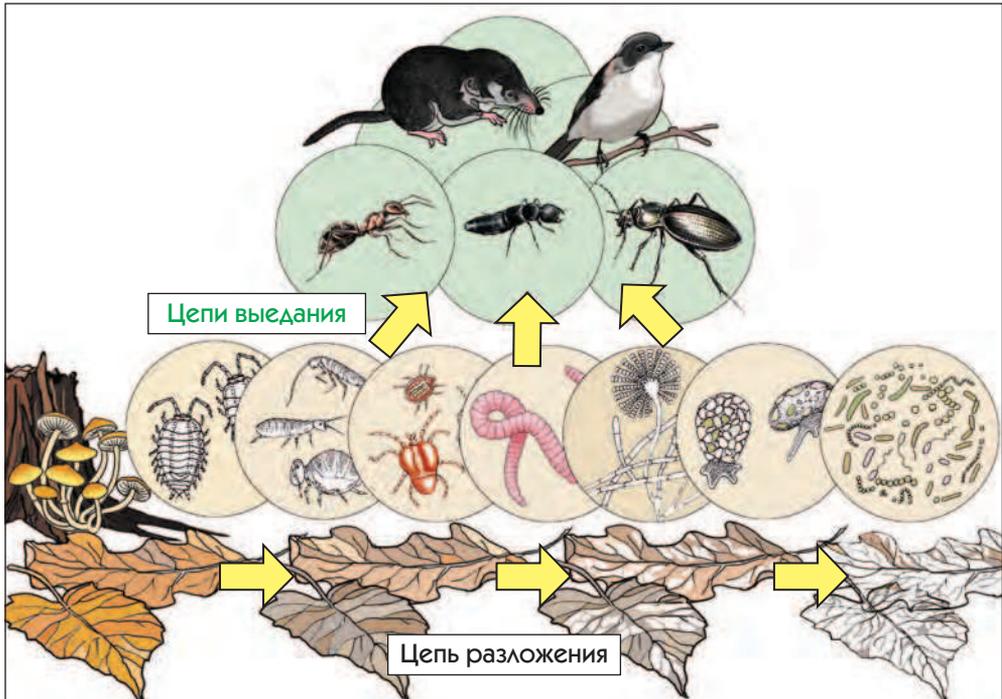
- Как трофические связи организмов отражаются в структуре экосистемы?

Цепь питания (трофическая цепь) – последовательность организмов, в которой каждый предыдущий служит пищей последующему. Эти взаимоотношения лежат в основе передачи вещества и энергии в экосистеме.

Трофический уровень организма – это порядковый номер его звена от начала трофической цепи. Организмы, получающие пищу через равное число звеньев, находятся на одном трофическом уровне независимо от того, принадлежат ли они к одной или разным цепям питания. Питание каждого организма разнообразно, поэтому он может одновременно принадлежать к разным цепям питания и занимать в них различный трофический уровень. В результате пищевые цепи превращаются в пищевые сети.

Примеры цепей питания на суше и в море

Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4	Уровень 5
Продуцент	Консумент 1-го порядка	Консумент 2-го порядка	Консумент 3-го порядка	Консумент 4-го порядка
 <p>Ель</p>	 <p>Усач</p>	 <p>Дятел</p>	 <p>Ястреб</p>	 <p>Пухоед</p>
 <p>Фитопланктон</p>	 <p>Криль</p>	 <p>Пингвин</p>	 <p>Морской леопард</p>	 <p>Касатка</p>



62.3. Цепи разложения

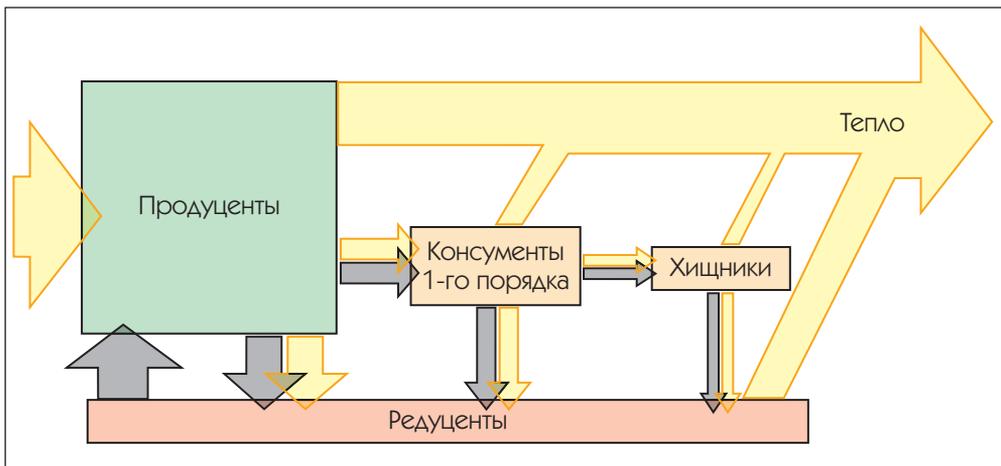


Приведённые выше цепи питания объединяют продуцентов и консументов, их называют *цепями выедания*. Они начинаются с растений, затем идут растительноядные организмы, а затем хищники. В *цепях разложения* (они наиболее распространены в лесах) большая часть продукции растений не потребляется животными, а отмирает, подвергаясь разложению редуцентами. Цепи разложения начинаются с остатков мёртвых организмов, идут к потребляющим их микроорганизмам и другим редуцентам, а от них расходятся по двум направлениям. Часть вещества и энергии организмов-редуцентов потребляется хищниками, т.е. переходит в цепи выедания. Другая часть пополняет мёртвую массу. На каждом этапе разложения мёртвой органики происходит упрощение состава веществ, вплоть до их минерализации. Для каждого этапа характерны свои виды-редуценты и их потребители-хищники (рис. 62.3).

Поток энергии через экосистему

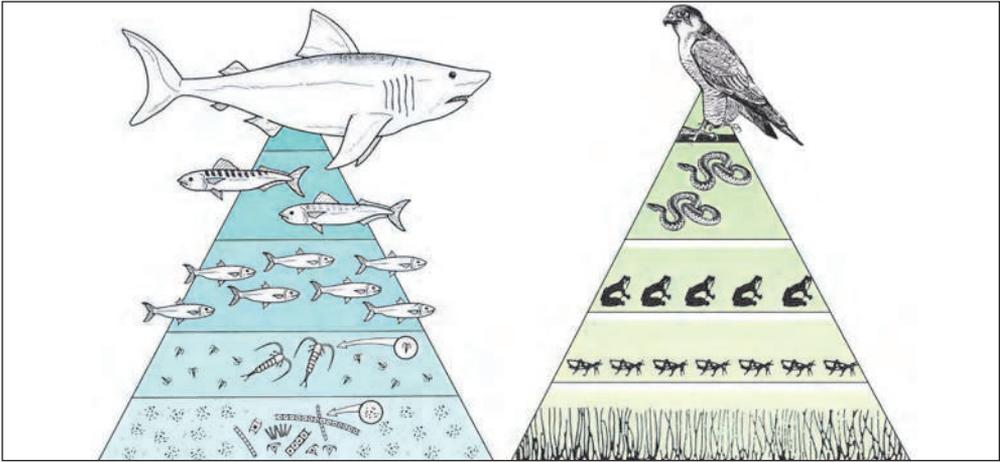
- Почему число трофических уровней не бывает велико?

Вещество перемещается по круговороту без потерь: то, что не потребляют консументы, попадает к редуцентам. В то же время энергия Солнца, запасённая продуцентами, расходуется на жизнедеятельность и при каждом преобразовании рассеивается в виде тепла. Таким образом, энергия движется однонаправленным потоком. На новый трофический уровень переходит около 10% энергии, заключённой в биомассе предыдущего уровня.



62.4. Круговорот веществ (серые стрелки) и поток энергии (оранжевые стрелки) в экосистеме

- Объясните, почему мясо дороже овощей.



62.5. Эффект убывания энергии при переходе с одного трофического уровня на другой принято схематически изображать в виде «пищевой пирамиды»

- Почему «пирамида» численности и биомассы трофических уровней сообщества иногда выглядит иначе?

Замкнутый круговорот – итог эволюции

- Как приспособительная направленность эволюции влияет на эффективность использования ресурсов в экосистемах?

Благодаря взаимосвязанной деятельности всех живых организмов круговорот веществ в экосистеме замкнут или почти замкнут. Сколько ресурсов использует экосистема, столько она и восстанавливает – по крайней мере, в среднем за год на достаточно большой площади. Небольшие расхождения касаются отдельных местообитаний и периодов с аномальными условиями. Как достигается это удивительное равновесие?

В случае появления излишков ресурсов рано или поздно находится вид, который сможет их использовать. За счёт успешного размножения его численность возрастает, а излишки ресурсов сокращаются. Если же, наоборот, возникает дефицит ресурсов, то снижается выживаемость его потребителей и численность их популяций устанавливается на новом уровне равновесия.

В зависимости от длительности существования избыточного ресурса в экосистеме последовательно включаются различные способы саморегуляции. Сначала срабатывают механизмы адаптивного поведения: перестройка специализированного потребителя на запасание излишков и переключение неспециализированных потребителей на избыточный ресурс. Затем подключаются экологические механизмы: скопление кочующих потребителей и размножение местных. Позднее можно ожидать вселение видов из удалённых сообществ в результате расши-

рения ареала. Наконец, естественный отбор приводит к усилению эффективности каждого способа использования избыточного ресурса всеми потребителями путём углубления их адаптаций.

Таким образом, все способы саморегуляции, приводящие к замыканию круговорота в экосистеме, созданы адаптивной эволюцией. Адаптации относительны, поэтому реакция на появление «излишков» будет тем быстрее, чем «привычнее» данный вид ресурса и чем ближе абиотические условия к экологическому оптимуму для сообщества.

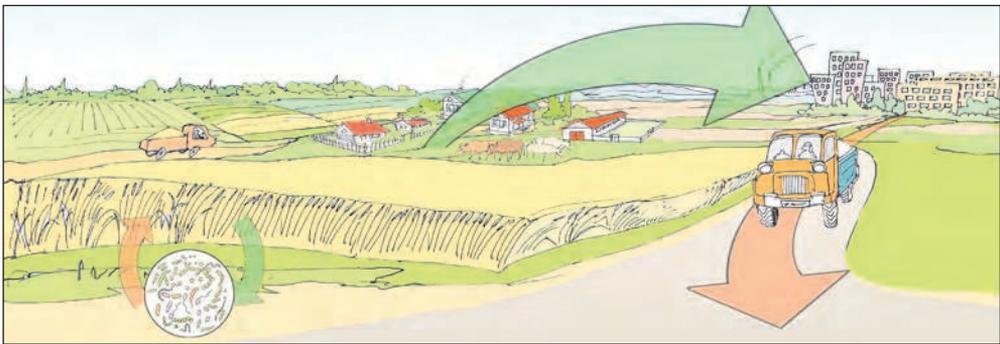
Агрэкосистема – искусственная экосистема

- Чем отличается агроэкосистема от природной и каким образом можно поддерживать её урожайность?

Агрэкосистемы – искусственные экосистемы, созданные с целью получения сельскохозяйственной продукции и регулярно поддерживаемые человеком. Большинство сельскохозяйственных земель представлено искусственными травянистыми экосистемами. Как правило, это монокультурные посевы: их легче возделывать, проще собирать и обрабатывать урожай. По экологическим свойствам они сходны с ранними и средними стадиями сукцессии. Оставленные без ухода, они заселяются видами соответствующей стадии природного сообщества. В чём же причины такой невысокой устойчивости?

Изъятие урожая приводит к тому, что круговорот перестаёт быть замкнутым. Недостаток детрита и, следовательно, редуцентов приводит к ухудшению структуры почвы, поэтому она требует ежегодной механической обработки – вспашки, боронования и т. д.

Острее всего сказывается недостаток минеральных ресурсов для растений. Приходится затрачивать силы на производство, транспортировку и внесение удобрений. Они тем не менее восполняют не весь



62.6. Нарушение круговорота в агроэкосистеме

- Кому достаётся урожай экосистемы поля? Много ли органических отходов достаётся редуцентам? Что вынужден везти человек на поля?



62.7. Вредители съедают 1/3 урожая агроэкосистем

минеральный комплекс, и плодородие почв постепенно снижается.

Сельскохозяйственная монокультура менее конкурентоспособна, чем местные виды растений, готовые здесь поселиться, начать конкурентное вытеснение и сукцессионную смену растительности. На борьбу с ними направлена дополнительная обработка земли, прополка, внесение гербицидов.

Культивируемые виды растений – «привычное блюдо» для многих местных потребителей. Они образуют дополнительный ресурс, на использование которого направляется весь арсенал средств сообщества.

Рост обилия потребителей – насекомых и грызунов – облегчается малочисленностью консументов более высокого порядка: они не находят здесь необходимых экологических условий. Для защиты растений приходится изобретать и постоянно обновлять высоко-токсичные пестициды направленного действия. Однако, несмотря на непрерывающуюся борьбу, мы по-прежнему вынуждены отдавать прожорливым насекомым и грызунам треть выращенного урожая.

Для поддержания высоких урожаев и борьбы с вредителями современному сельскому хозяйству потребовалось в десятки раз увеличить свою энерговооружённость, использовать достижения промышленности. С каждым годом зависимость агроэкосистем от человека только возрастает. Только такой ценой удаётся кормить растущее население Земли.

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Экосистема – единство биотических и абиотических компонентов природы, в котором сообщество организмов способно поддерживать круговорот веществ, движимый потоком энергии. Продуценты, консументы и редуценты, представленные множеством видов, приспособленных к условиям своего обитания, образуют пищевые сети, замыкающие круговорот веществ в экосистеме. Соответствие количества ресурсов и их потребителей обеспечивается разнообразием экологических механизмов, выработанных в ходе адаптивной эволюции видов природного сообщества. Искусственное сообщество, в особенности монокультура, не обладает этими качествами, оно всегда крайне неустойчиво. Функционирование агроэкосистем обеспечивается дополнительными энергозатратами, постоянным уходом, внесением химикатов.

Экосистема. Продуценты, консументы, редуценты. Цепи питания. Трофические уровни. Агроэкосистемы

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. • Как биотическое сообщество обеспечивает постоянство экосистемы?
2. • Чем определяется существование пищевых цепей?
3. • Какие следствия имеет замкнутый круговорот веществ?
4. • Что происходит с энергией, вовлечённой в круговорот веществ?
5. • Какими свойствами не обладает агроэкосистема?
6. • В отсутствие редуцентов органические вещества будут распадаться. Почему же жизнь без редуцентов невозможна?
7. • Приведите примеры необратимой деградации экосистемы из-за нарушения круговорота веществ деятельностью человека.
8. • Как вы считаете, почему понятия «экосистема» и «экология» ранее были знакомы лишь специалистам, а теперь стали известны каждому обывателю?
9. • С помощью дополнительной литературы и Интернета составьте цепь питания из четырёх видов живых организмов.
10. • Выберите из списка виды и объедините их в две цепи питания: лисица, ель, серая полёвка, блоха, ястреб-перепелятник, пухоед, мятлик луговой, клёст.
11. • Согласны ли вы с мнением, что ради того, чтобы накормить всё население Земли, можно не думать о последствиях роста потребления энергии и пестицидов?



• • МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение изменений в экосистемах на биологических моделях (аквариум)

Растениям в аквариуме необходим свет. В воздухе – даже в комнате – всегда присутствуют споры цианобактерий и зелёных водорослей. Они попадают в аквариум и развиваются на стенках. Поэтому стеклянные стенки аквариума со временем покрываются зелёным налётом – особенно быстро, если аквариум стоит на окне.

Проведите наблюдения за зарастанием стёкол вашего аквариума цианобактериями и зелёными водорослями. Какое влияние на этот процесс оказывают моллюски? Опишите, как происходит зарастание при различной освещённости и численности моллюсков. Объясните различия. Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои наблюдения.

§ 64. Сфера жизни

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА



Распространённое мнение: Биосфера – живая оболочка Земли, она состоит из живых организмов.

В.И. Вернадский: Биосфера – не живая, а биокосная система, состоящая из живых и неживых компонентов.

- На какое противоречие вы обратили внимание? (Рассудите, кто прав, используя материал § 55.)
- Предложите вопрос для обсуждения. Сравните его с вариантом авторов на с. 397.

НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Что такое экосистема и какова в ней роль живого? (§ 62–63)
- Что такое биосфера? (9 класс)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Экология в геологическом масштабе

- Как изменяются результаты процессов в зависимости от масштаба анализа?

В природе одновременно происходят процессы, связанные с различным *масштабом времени и пространства*. Их закономерности различаются так же сильно, как законы физики Ньютона и Эйнштейна или как законы геометрии Евклида и Лобачевского.

Так, родство организмов (в том числе человека и обезьяны) может показаться нереальным, пока мы не учтём, что речь идёт об эволюционном родстве, переданном через миллионы поколений. Изменчивость особей в популяции имеет *вид случайных отклонений* их признаков от среднего значения. Средние значения признаков лабораторных культур через сотни поколений обнаруживают явные *направленные изменения*. Тысячекратное повторение их в природе превращается в процесс эволюции, который невозможно заметить за короткое время.

То же относится и к экологическим процессам, если рассмотреть их результаты в «*геологическом времени*» – за периоды, сравнимые с продолжительностью существования нашей планеты. Замкнутый круговорот веществ в экосистеме – закон экологии, действующий в «экологическом времени». Скорости накопления и разложения органического вещества в любой экосистеме в среднем *уравновешивают* друг друга. В засушливый год разложение органики может немного отставать от накопления, а в дождливый год – наоборот, обгонять. Но в среднем это не нарушает экологического равновесия. Если мы перенесёмся в «исто-

рическое время» и рассмотрим те же процессы за периоды, сравнимые с историей человечества, мы легко обнаружим *сукцессионные изменения*: накопление торфа на болотах, разрастание коралловых рифов, образование мощной почвы на вулканических островах. Если же мы увеличим масштаб времени до геологического, то снова обнаружим неожиданные результаты. Одни медленные процессы стабилизируются или превратятся в колебания вокруг среднего уровня. Другие будут продолжаться в том же направлении и приведут к колоссальным *геологическим изменениям* на планете.

То же можно сказать и о *пространственных связях* экосистем, которые незначимы для эколога, изучающего отдельные лесные, луговые или водные экосистемы. Листья с деревьев ветер заносит в пруд. Комар развивается в пруду, а погибает на берегу. С перелётными птицами значительная биомасса переносится из мест их рождения в места зимовки. Реки уносят в море миллиарды организмов, и так – миллиарды лет в масштабе всей планеты. Неудивительно, что в геологическом масштабе эти процессы превращаются в *миграцию химических элементов*, в первую очередь – биогенных элементов: углерода, кислорода, водорода и азота.

Биосфера – сфера влияния жизни

- С помощью текста определите, что такое биосфера, каковы её состав и границы.

Все экосистемы Земли в совокупности составляют биосферу. Как в экосистеме живое сообщество образует движущую силу круговорота веществ, так и в биосфере главная роль в организации глобального круговорота принадлежит живым организмам – «живому веществу», по определению российского академика В.И. Вернадского (1863–1945). Он подчёркивал геологический масштаб этого явления и поэтому включал в состав биосферы не только ныне существующие экосистемы, но и среду обитания организмов в прошлом. **Биосфера** – это оболочка Земли, населённая живыми организмами и образовавшаяся при их активной деятельности.

Таким образом, биосфера – биокосная система: она состоит из живого и неживого (косного) вещества. Она включает почти всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы (рис. 64.1). Совокупность всех живых организмов составляет менее одной миллионной части биосферы по массе, но это наиболее химически активная и насыщенная энергией часть биосферы. В сущности, жизнь образует тонкую плёнку на границе гидросферы, литосферы и атмосферы. Однако её влияние распространяется до озонового экрана на высоте 12–20 км в атмосфере и до дна океанских впадин на глубине 11 км, а также проникает до 3 км вглубь по трещинам в литосфере.



64.1. Границы биосферы

- С помощью текста объясните, как жизнь изменила облик Земли.

Живое вещество с помощью энергии солнечного света активно перерабатывает химическое вещество нашей планеты в процессах своей жизнедеятельности. Деятельность автотрофных организмов привела к образованию кислородной атмосферы, а затем к формированию озонового экрана, без которого высшие формы жизни не смогли бы освоить сушу. Концентрация углекислого газа в атмосфере, напротив, резко сократилась путём связывания углерода в твёрдых карбонатных породах — известняках. В наше время эти породы образуют целые горные хребты.



Растения предпочитают использовать лёгкий, более подвижный в природной среде изотоп углерода. Поэтому изотопный анализ известняков позволяет точно установить их происхождение. В биогенных известняках (образованных, например, в морях мелового периода) повышена концентрация лёгкого изотопа углерода, а в минеральных — тяжёлого.

Деятельностью бактерий образованы крупнейшие залежи железных руд и серы. Накопление неполностью разложившейся органики и связанных с ней химических элементов (углерод, азот, фосфор и др.) привело к образованию залежей углеводородов: нефти, газа, угля, торфа и горючих сланцев.

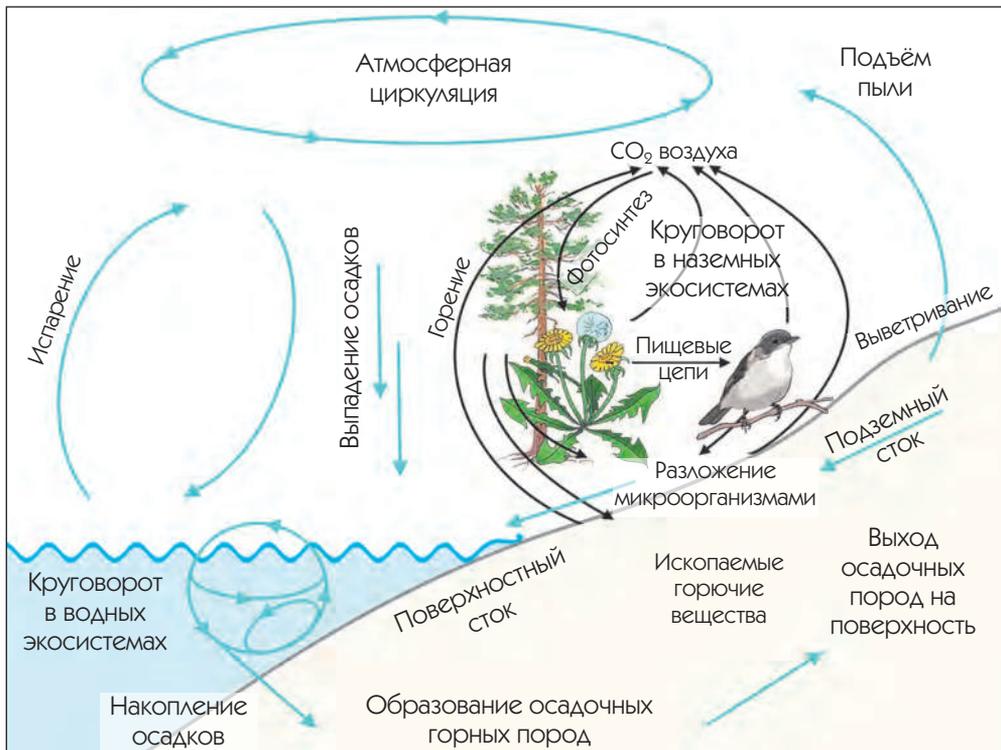
Приведённые примеры лишь самые яркие проявления функций живого вещества биосферы по перемещению, концентрации и рассеиванию.

ванию веществ. Подобную работу, сравнимую по масштабу, но бесконтрольную по направлению, совершает современное человечество в процессе своей хозяйственной деятельности.

Глобальный биогеохимический круговорот

- В чём состоит специфическая функция биосферы?

Главной функцией биосферы в целом В.И. Вернадский считал **глобальный биогеохимический круговорот**, понимая под ним циркуляцию химических элементов в процессе обмена веществ между атмосферой, гидросферой, литосферой, почвой и живыми организмами (рис. 64.2). Иными словами, биосфера – это гигантская экосистема, компоненты которой связаны глобальным – и потому замкнутым – биогеохимическим круговоротом.



64.2. Глобальный биогеохимический круговорот

За историю существования Земли большинство атомов земной коры многократно проходило биогеохимические циклы, становясь частью организмов и снова возвращаясь во внешнюю среду. Так, вся гидросфера про-

ходит через живое вещество каждые 2 млн лет, атмосферный кислород – каждые 2 тыс. лет, а углерод – 200 лет. Различные виды организмов способны аккумулировать определённые элементы: губки – иод, асцидии – ванадий и т.д. Содержание углерода в растениях в 200 раз, а азота – в 30 раз выше, чем в земной коре. Тем самым они избирательно способствуют концентрации и миграции разных элементов и их соединений.

Эволюция организмов, а вместе с ними и биосферы привела к стабилизации глобального круговорота – увеличила его постоянство и замкнутость на относительно небольших отрезках геологического времени. В ходе развития жизни на Земле одни группы организмов сменялись другими, но при этом поддерживалось более или менее постоянное соотношение форм, выполняющих те или иные геохимические функции. Например, от палеозоя до нашего времени кальций накапливался в осадках разными организмами, но скорость накопления оставалась относительно постоянной.

Таким образом, совокупная деятельность живого вещества сформировала и поддерживает *гомеостаз* неорганической среды обитания, необходимый для существования всё более сложных форм жизни.

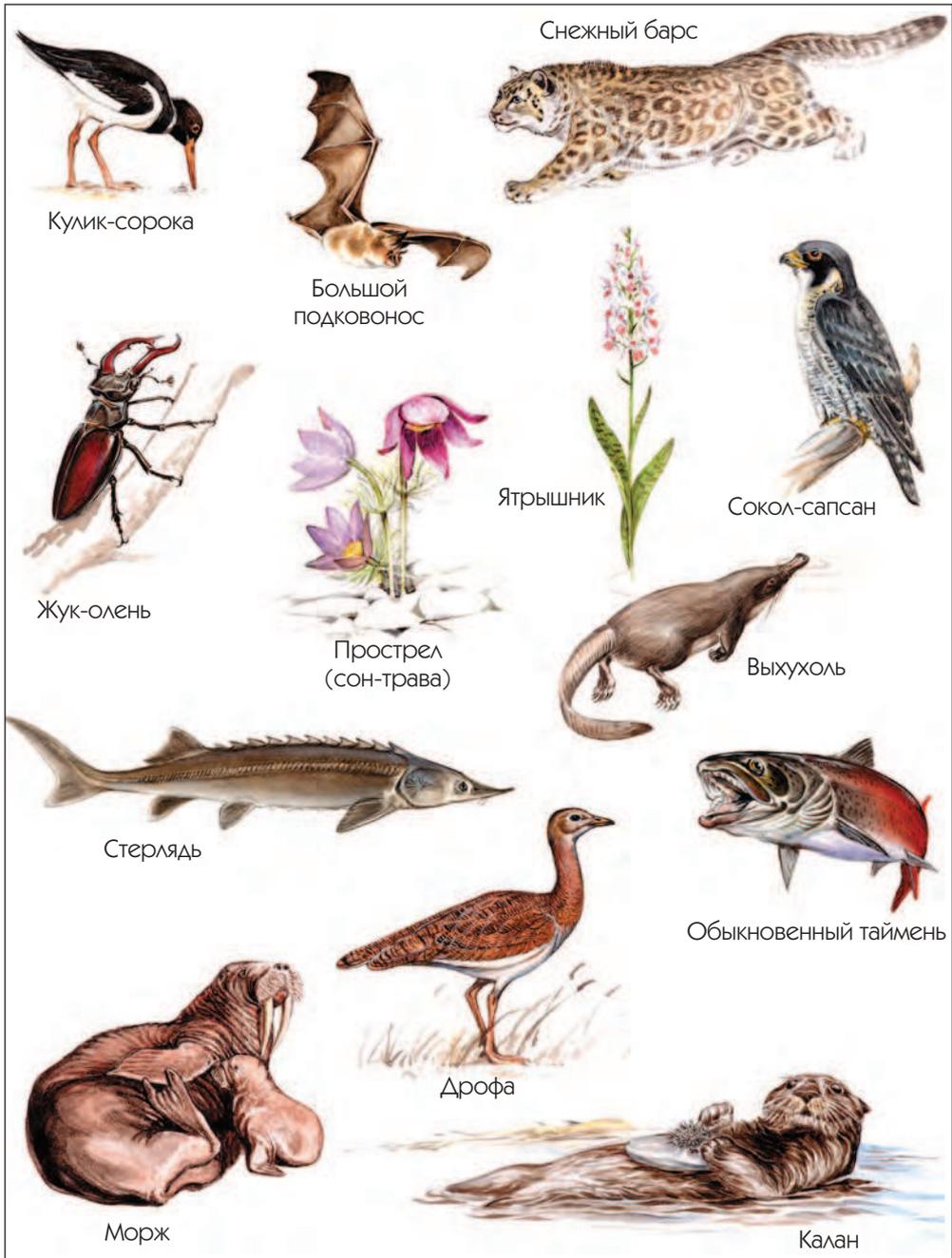
Биосферное разнообразие

- Кто больше всех заинтересован в разнообразии биосферы?

Только в пределах биосферы вещество присутствует в твёрдом, жидком и газообразном состоянии одновременно. Только в ней есть облака, горы, реки, озёра, равнины, моря, острова и материки. Только в ней происходит смена времён года. Но главное – в ней происходит эволюция жизни, которая ныне включает 1,5–2 млн видов и превосходит все иные компоненты природы по разнообразию форм.

По В.И. Вернадскому, видовое разнообразие жизни – это прежде всего разнообразие специализаций к выполнению тех или иных функций в биосферном круговороте. Чем разнообразнее население экосистемы (биосфера в целом тоже экосистема), тем устойчивее при прочих равных условиях биогеохимический круговорот в ней и тем более вероятно, что на каждую функцию в круговороте найдётся исполнитель.

Этим объясняется беспокойство международного сообщества о сохранении **биоразнообразия**. Каждый вымирающий вид уносит с собой свою «профессию», которую другие исполнители могут заменить лишь отчасти или менее эффективно. Красная книга Международного союза по охране природы, государственные и региональные Красные книги обращают внимание общественности на те виды организмов, которым угрожает вымирание. Забота об их сохранении – это не просто выполнение морального долга перед соседями по планете, но прежде всего забота о поддержании устойчивости среды, необходимой для нашего собственного существования.



64.3. Виды из Красной книги России, подлежащие повсеместной охране

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

В геологическом масштабе времени круговороты веществ в отдельных экосистемах не являются замкнутыми, их замыкание происходит на глобальном уровне. Биосфера – это биокосная оболочка Земли, населённая живыми организмами и образовавшаяся при их активной деятельности. Физико-химические условия на поверхности Земли подвергались значительным изменениям, но по мере развития биосферы и благодаря её участию пути и скорость оборота химических элементов постепенно стабилизировались. «Живое вещество» биосферы представляет собой мощную геологическую силу, которая сформировала современную среду обитания на планете и поддерживает её гомеостаз. Эта главная функция реализуется в форме замкнутых глобальных биогеохимических циклов. Их устойчивость обеспечивается биологическим разнообразием организмов.

Биосфера. Биогеохимический круговорот. Биоразнообразие

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Приведите примеры биологических процессов, имеющих различные масштабы во времени и пространстве. Что мешает оценивать результаты масштабных явлений?
2. ● Чем обусловлена исключительная роль живого вещества в биосфере?
3. ● Каковы пределы биосферы и чем они обусловлены?
4. ● Чем обусловлена плотность распределения жизни на вертикальном градиенте?
5. ● К каким последствиям ведёт незамкнутость биогеохимических круговоротов в биосфере и отдельных экосистемах? Какое значение имеет их замкнутость?
6. ● Чем обусловлено разнообразие природы в биосфере по сравнению с другими оболочками Земли?
7. ● Что важнее в биогеохимическом круговороте: валовое разнообразие видов в экосистеме или их взаимная приспособленность, возникшая в процессе эволюции?

§ 65–66. Мы не должны жить за счёт потомков

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ УРОКА

Жюль Верн: Все проблемы человечества – из-за недостаточно совершенной техники.

Современный эколог: Наше общество называют постиндустриальным, но экологических проблем у нас не меньше, а больше. К сожалению, многие из них как раз следствие технического развития.

- На какое противоречие вы обратили внимание? Всемогуща ли техника?
- Решение какого вопроса даст нам возможность применить экологические знания во имя будущего? Предложите свой вариант вопроса и сравните с вариантом авторов на с. 397.



НЕОБХОДИМЫЕ БАЗОВЫЕ ЗНАНИЯ

- Какие экологические проблемы стоят перед человечеством? (9 класс)
- Какие экологические проблемы существуют в вашем регионе? (жизненный опыт)
- Каковы причины устойчивости и смены экосистем? (§ 62–63)
- Что такое биосфера, круговорот веществ? (§ 64)
- Что такое присваивающее и производящее хозяйство? (история)

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

На пути «покорения природы»

- Вспомните основные вехи противостояния человека и природы.

Человек появился как один из видов всеядных приматов открытых пространств. Главной его особенностью оказались зачатки разума, позволяющие предвидеть ближайшие последствия своих действий. Впервые появилась потребность планировать свои шаги. Высокая способность к обучению приводила к быстрому накоплению опыта, созданию и совершенствованию орудий труда. Всё это вместе дало людям возможность, в отличие от животных, не столько приспосабливаться к окружающей среде, сколько приспособлять среду к своим потребностям, делать её удобной для жизни.

Успехи на этом пути ослабили зависимость людей от среды обитания и увеличили их численность. Освоив использование огня, люди устроили потребление природной энергии на поддержание своей популяции. Изобретение метательных и составных орудий – бумеранга, копья, лука и стрел с каменным наконечником, топора – обеспечило новый прирост численности. За него природа заплатила вымиранием ряда

крупных объектов охоты. Это был первый **экологический кризис**, вызванный деятельностью человека: люди начали подрывать собственную кормовую базу. Однако и здесь нашёлся выход: переход от присваивающего хозяйства к производящему – земледелию и скотоводству. Новая победа дала очередную прибавку населения.

Оказалось, что прогресс – не такая безобидная вещь: каждый крупный успех и связанный с ним рост населения увеличивал могущество и благосостояние людей, но в конечном счёте порождал очередной экологический кризис. Введение орошаемого земледелия на больших площадях вызвало эффект засоления почв и опустынивание земель. Развалины Вавилона и Ниневии (столицы Ассирии) стоят в пустыне, лишённой постоянного населения. В эпоху Ярослава Мудрого Киев был окружён лесами. Вырубка лесов была важной причиной разрушения города кочевниками. Численность населения Киева смогла восстановиться только через девять столетий. Из-за хозяйственной деятельности границы засушливых природных зон продолжают расширяться. Уже в наше время использование вод Сырдарьи и Амударьи для орошения вызвало гибель экосистемы Аральского моря. Если не принять срочных мер, скоро будут утрачены также крупнейшие на планете массивы тропических лесов.

Скорость потребления ресурсов

- В чём состоит непосредственный результат успешного освоения природных ресурсов человеком?

Ныне каждый житель Земли потребляет $3 \cdot 10^5$ кДж энергии каждые сутки! А вот что на практике означает эта большая, но безликая цифра. Но страшны не столько наши сегодняшние аппетиты, сколько их, увы, продолжающийся рост (табл. 1).

Потребляемые ресурсы и производимые отходы в среднем на одну человеческую жизнь

Ресурсы
Пища – 50 т
Вода – 98 280 т
Железо и сталь – 52 т
Бумага – 0,65 т
Удобрения – 5 т

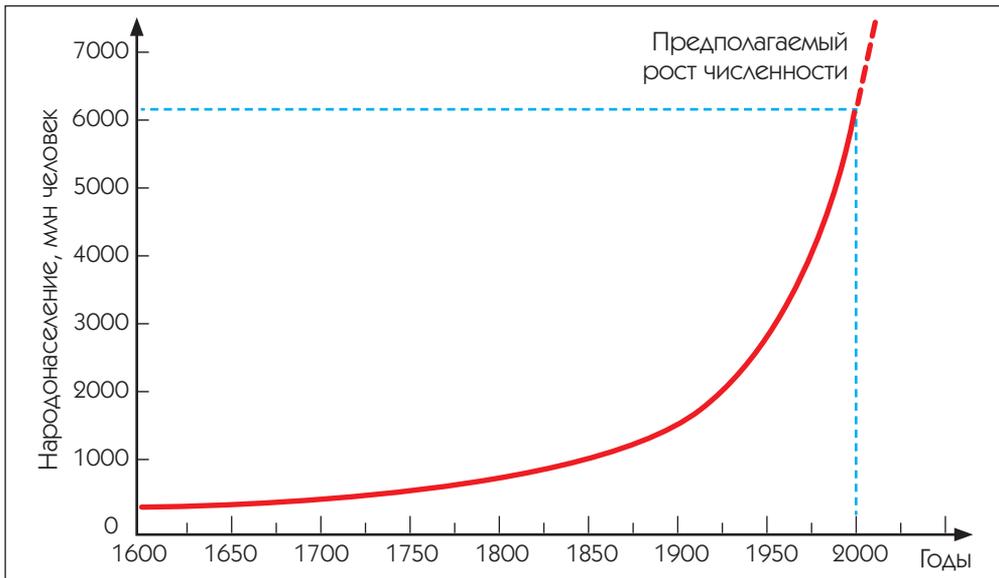
Отходы
Бутылки – 27 000 шт.
Износенная одежда и обувь – 0,2 т
Бытовой мусор – 126 т
Использованные автомобили – 2 шт.
Продукты выделения – 2,8 т

Таблица 1

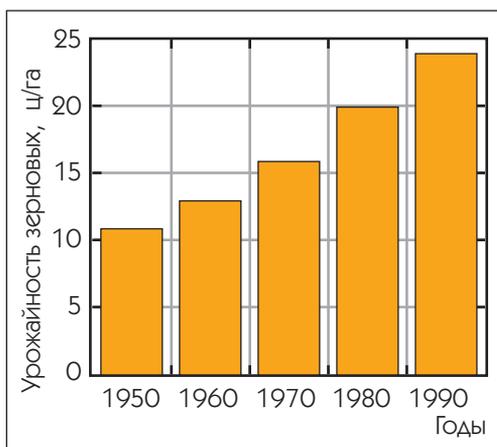
Антропогенные изменения в биосфере

Параметры	Изменение
Рост населения Земли	1,4 % в год
Рост энергопотребления человечества	2,0 % в год
Глобальное потепление климата	0,6 °С за столетие
Истощение озонового слоя	1,0 – 2,0 % в год
Уменьшение биоразнообразия	0,65 % в год
Увеличение площади пустынь	0,3 – 0,5 % в год
Деградация почв	0,4 % в год
Сведение лесов	0,9 % в год

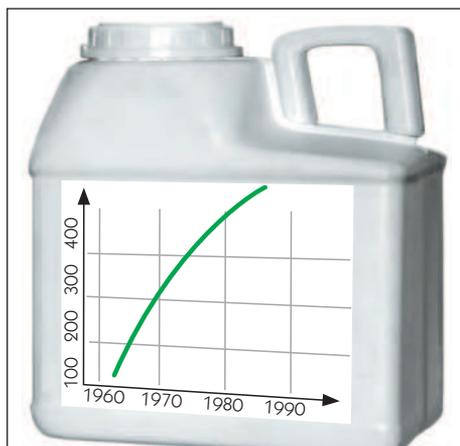
Население увеличивается с каждым днем (рис. 65.1), а невозобновимые ресурсы убывают с возрастающей скоростью. В первую очередь это относится к запасам ископаемого топлива и руд металлов. Но и возобновимые ресурсы не компенсируют растущих потребностей. Достаточно сказать, что рост урожайности сельскохозяйственных культур не поспевает за ростом населения (рис. 65.2), а видовое разнообразие вредителей и доля уничтожаемого ими урожая ежегодно увеличиваются (рис. 65.3).



65.1. Рост народонаселения земного шара за последние 400 лет



65.2. Повышение урожайности зерновых в мире



65.3. Рост числа видов вредителей, устойчивых к пестицидам

Обратная сторона медали

- Каковы побочные результаты технического прогресса?

Использование природных ресурсов не только приводит к их истощению, но и имеет ряд косвенных последствий.

Сжигание природного топлива (древесины, угля, нефти, газа, горючих сланцев) повышает содержание углекислого газа в атмосфере, усиливая парниковый эффект и вызывая потепление климата. От жесткого космического излучения нас защищают магнитное поле Земли и озоновый экран. Но люди страдают от радиоактивных выбросов Чернобыльской АЭС и других подобных техногенных катастроф. Промышленные, городские, транспортные и прочие загрязнения опасны не только для жизни людей, но и для природных экосистем. Выходит, мы даже при дефиците ресурсов сокращаем естественные источники их восстановления на нашей планете.

Новейший пример потенциального источника опасности – энергосберегающие лампочки, содержащие ртуть. Их массовое производство уже налажено, и они поступили в продажу, но системы массовой утилизации пока не создано. Так же рассуждали при захоронении в море боевых отравляющих веществ, не использованных во Второй мировой войне. Коррозия боеприпасов достигла критического уровня, а удовлетворительное решение по утилизации так и не найдено.

Все беды, вызванные хозяйственной деятельностью, в конечном счёте имеют одну главную причину: нарушение природного равновесия и биогеохимического круговорота. Даже страшная угроза ядерной войны наиболее опасна именно своими экологическими последствиями. Таким

образом, среди проблем, стоящих перед человечеством, экологические проблемы – самые острые. Их отличие от других в том, что, не решив их сегодня, мы получим десятикратные проблемы в будущем. Выражаясь образно, можно подытожить: наше судно тонет. Уже мало просто отчерпывать воду – надо срочно заделывать брешь.

Как выходить из положения

- Какими способами можно снова замкнуть глобальный круговорот веществ?

До сих пор мы «поручали» борьбу с отходами наших производств и жизнедеятельности биосфере с её биогеохимическим круговоротом. Но эта нагрузка давно превысила возможности биосферы. Если причина – в нарушении замкнутости круговорота, то надо направить все силы на создание возможно более безотходного производства, состоящего из замкнутых производственных циклов. Один из путей в этом направлении – переработка вторичного сырья. Изделия, изготовленные из него, получают специальную маркировку (из трёх стрелок по кругу). Пользуясь такими изделиями вместо обычных, вы принимаете посильное участие в решении главной проблемы человечества.



65.4. Знак вторичной переработки

Особенно велик антропогенный разрыв круговорота *углекислого газа и тепла*. Их излишки в огромных количествах поступают в атмосферу при сжигании топлива. Они стали одной из причин глобального потепления климата. Катастрофическое размножение саранчи на юге, разрушение построенных на мерзлоте зданий и линий электропередачи на севере лишь первые последствия потепления.

Печально, что до сих пор основной метод борьбы с мусором – это его сжигание. Единственное спасение в этом плане – создание *низкотемпературных производств*. Такая технология позволяет с небольшими затратами энергии превращать, например, органические отходы в нефтеподобные продукты. Пока использование этой технологии сдерживается её высокой себестоимостью. В будущем главную роль в низкотемпературных технологиях должны сыграть химия катализа и биохимия ферментов. Но это, увы, перспектива не завтрашнего дня.

Однако способы получения *искусственного топлива* развиваются и будут продолжать развиваться. Так, например, в Бразилии уже значительная часть автомобилей ездит на спирте, получаемом из растительного сырья. Пока это тоже дорого, но, учитывая обострение проблемы в

будущем, экономить на экологичном топливе – всё равно что экономить на собственных детях.

Многие другие перспективы экологичного производства часто разбиваются о пристрастия общества потребления: проще купить новое, чем отремонтировать старое. В результате биосфера и мы вместе с ней рискуем утонуть в наших собственных отходах.

Международная координация

- По каким направлениям развитие человечества будет устойчивым?

Таблица 2

Основные экологические проблемы человечества и их решение на пути к устойчивому развитию

Экологические проблемы	Пути их решения
Перенаселение	Ограничение рождаемости
Исчерпание природных ресурсов	Изменение структуры потребления природных ресурсов
Концентрация населения и ухудшение его здоровья в крупных городах	Решение проблемы роста городов за счёт повышения качества жизни в малых городах
Рост заболеваемости людей в связи с загрязнением	Защита и улучшение здоровья населения
Загрязнение атмосферы и нарушение её газового состава	Защита атмосферы (ограничение сжигания топлива и др.)
Деградация почвенного покрова и потеря почвенного плодородия	Рациональное использование земель
Опустынивание, засуха, засоление	Борьба с опустыниванием и засухой
Сокращение площади лесов (вырубка, пожары)	Высадка леса, борьба с уничтожением лесов
Загрязнение вод	Охрана и рациональное использование пресной воды, утилизация твёрдых отходов и очистка сточных вод
Загрязнение океана	Защита и рациональное использование океана
Химическое загрязнение окружающей среды	Повышение безопасности использования химических веществ
Радиоактивное загрязнение	Удаление радиоактивных отходов
Дефицит экологической грамотности и общей культуры населения	Усиление роли науки и образования в целях устойчивого развития

Для решения глобальных экологических проблем нужна *международная координация усилий*. Ни одна страна, даже такая большая, как наша, не способна решить все экологические проблемы без участия соседей. Достаточно вспомнить инциденты с загрязнением Амура через впадающие в него реки с китайской стороны. Глобальной координации требует проблема потепления климата. В 1992 году представители правительств 180 государств впервые признали, что развитие их стран зависит от глобального состояния окружающей среды. Была поставлена цель совместных усилий – устойчивое развитие человечества, при котором удовлетворение текущих потребностей достигалось бы не за счёт будущих поколений. В таблице 2 даны важнейшие индикаторы приближения к этой цели.

Каждый из нас многое может

- Что каждый из нас может сделать для решения экологических проблем у себя дома, во дворе, в своей жизни?

Всё сказанное выше касалось всего человечества. Но главная проблема проходит через каждого из нас. Ведь это мы потребляем за жизнь по 98 280 т воды и производим по 126 т бытового мусора каждый.



65.5. Каждый из нас многое может

Совершенно ясно, что в лесу естественные отправления вашей собаки не могут повредить ни биосфере, ни человечеству. Но во дворе многоэтажных домов ситуация меняется. Если в парке вы бросили бумажку, это его не украсит. Правда, биосфера совладеет с вашим отдельным проступком, так как разложением целлюлозы занимаются многие редуценты. Но полиэтиленовый пакет в природе утилизировать некому, и он, возможно, останется в почве на века. Ну а бросать мусор под ноги – это всё равно что выбрасывать деньги: ведь местные власти должны будут нанять больше дворников на наши же налоговые отчисления.

Мы должны научиться мыслить экологически. Никакой учебник, даже для 11-го класса, не может дать полной инструкции, как надлежит поступать, чтобы не отравлять жизнь (в буквальном смысле) себе и людям и не обездоливать собственных (будущих) детей. Давайте же держать глаза открытыми и действовать по обстановке, опираясь на понимание устройства биосферы и нашей исключительной роли в ней!

ОБОБЩЕНИЕ НОВЫХ ЗНАНИЙ

Человек не столько приспосабливается к условиям жизни, сколько приспособливает среду обитания к своим потребностям, выходя из-под контроля со стороны природы. Рост численности организмов ограничен дефицитом ресурсов (закон минимума). Рост населения людей до сих пор был связан с постоянным расширением ресурсной базы. Основная причина всех экологических проблем человечества – нарушение замкнутости биогеохимического круговорота. Природа не успевает восстанавливать ресурсы и не справляется с разложением отходов нашего производства и жизнедеятельности. Среди отходов значительную часть составляют факторы загрязнения, не имеющие природных аналогов и, следовательно, потребителей. Человечеству необходимо научиться регулировать численность населения, выстроить систему возможно более безотходного производства, ограничить потребности этически разумными рамками, научиться жить не за счёт будущих поколений.

Экологический кризис

ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ

1. ● Какие экологические проблемы вынуждено решать человечество?
2. ● Какими способами люди их могут решить?
3. ● Что надо делать, чтобы создать безотходное производство в обществе потребления?

4. ● Приведите известные вам примеры глобальных экологических проблем. В чём их причина?
 5. ● Какой путь преодоления экологического кризиса вы считаете более актуальным: а) сокращение производства, б) сокращение отходов или в) сокращение промышленного загрязнения?
 6. ● Почему в городских квартирах теперь настоятельно рекомендуют устанавливать счётчики воды?
 7. ● С какими экологическими проблемами вы встречались в вашем городе, области, селе, во дворе? Какие их решения можно предложить?
 8. ● Как вы считаете, какие из школьных предметов надо считать самыми важными для решения экологических проблем, стоящих перед людьми?
-  9. ● Поработайте в группе. Пусть одни из вас будут защищать идею, что современный человек с помощью науки и техники сможет решить все экологические проблемы, а другие будут оппонентами этой точки зрения. Важно при этом приводить нужные аргументы.



● ● МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние хозяйственной деятельности на местные экосистемы

Используя учебник, дополнительную литературу и собственные наблюдения, заполните таблицу.

Антропогенные изменения в экосистемах	Собственная деятельность по охране окружающей среды

Создайте презентацию в PowerPoint, на которой отразите свои результаты.

§ 67. Организмы в среде их обитания. Повторение

Экология – наука о взаимоотношениях организмов со средой обитания. Благополучие организма зависит от экологических факторов: абиотических, биотических и антропогенных. Возможность существования вида в среде определяется лимитирующим фактором – ресурсом, находящимся в наибольшем дефиците, или условием среды, близким к пределу толерантности. Экологическая ниша вида определяется диапазоном его толерантности по всем факторам.

Неоднородность среды разделяет виды на популяции – совокупности особей, занимающих определённое местообитание и способных к длительному самовоспроизведению. Факторы среды, не зависящие от плотности популяции, вызывают изменения её численности. Факторы среды, зависящие от плотности, регулируют численность и приводят её в соответствие с ёмкостью среды.

Совокупность популяций разных видов, объединённых общим местообитанием, образует сообщество. Между популяциями различных видов действуют взаимоотношения: пастбищные, хищничество, паразитизм, комменсализм, мутуализм, протокооперация, конкуренция, нейтрализм. В сходных условиях сообщества, сложенные из разных видов, приобретают сходную структуру. Сообщества содержат различные функциональные группы видов, обеспечивающие способность к сукцессии – самопроизвольному восстановлению биоценозов на нарушенных участках.

Экосистема – единство биотических и абиотических компонентов природы, в котором сообщество организмов способно поддерживать круговорот веществ, движимый потоком энергии. Продуценты, консументы и редуценты, представленные множеством видов, приспособленных к условиям своего обитания, образуют пищевые сети, замыкающие круговорот веществ в экосистеме. Соответствие количества ресурсов и их потребителей обеспечивается разнообразием экологических механизмов, выработанных в ходе адаптивной эволюции видов природного сообщества. Искусственное сообщество, в особенности монокультура, не обладает этими качествами. Неустойчивая замкнутость агроэкосистем обеспечивается постоянным уходом, внесением дополнительных химикатов и энергии.

Биосфера – это биокосная оболочка Земли, населённая живыми организмами и образовавшаяся при их активной деятельности. Её главная функция – поддержание гомеостаза среды обитания на планете – реализуется в форме замкнутых глобальных биогеохимических циклов, устойчивость которых обеспечивается биологическим разнообразием организмов.

Основная причина всех экологических проблем человечества – нарушение замкнутости биогеохимического круговорота. Природа не успевает восстанавливать ресурсы и не справляется с разложением отходов нашего производства и жизнедеятельности. Среди отходов значительную часть составляют факторы загрязнения, не имеющие природных аналогов и, следовательно, потребителей. Человечеству необходимо научиться регулировать численность населения, выстроить систему возможно более безотходного производства, ограничить потребности этически разумными рамками.

Вопросы для повторения

1. • Какие общебиологические понятия часто можно услышать в радио- и телепередачах? Какие из них относятся к экологии?
2. • Опишите экологическую нишу определённого вида живых организмов (волк, ворона, комар и т.п.). Проанализируйте влияние на них факторов среды. Предположите действие законов минимума и толерантности применительно к этим организмам.
3. • Проиллюстрируйте понятие «популяция» на примере любого известного вам вида живых организмов. Сравните показатели рождаемости и смертности с другими видами. Опишите возрастную и пространственную структуру популяции.
4. • Чем отличается действие факторов, зависящих и не зависящих от плотности? Приведите примеры.
5. • Какие приспособления возникают у растений и животных при разных типах биотических взаимоотношений между ними?
6. • В чём отличие понятий «экосистема», «сообщество» и «биоценоз»? Из каких компонентов они состоят?
7. • Любая ли экосистема включает продуцентов, консументов и редуцентов? Какова их роль в экосистеме и каковы взаимоотношения друг с другом?
8. • Приведите пример цепи питания, который не рассматривался в учебнике.
9. • Почему есть круговорот веществ, но лишь поток энергии? Как эта закономерность позволяет объяснить разную цену растительной и животной пищи?
10. • Куда направлены сукцессии? Что меняется по мере смены их стадий?
11. • В чём отличие агроэкосистемы от природной экосистемы?
12. • Что такое биосфера? Какую роль в ней играют живые организмы?
13. • Какие экологические проблемы предстоит решать человечеству? Какие существуют способы их решения?
14. • Какие экологические проблемы существуют в вашем населённом пункте? Как их решают сейчас? Как их можно решить в будущем?

Что означают эти понятия? Экология. Факторы среды: абиотические, биотические, антропогенные. Экологическая ниша. Законы: оптимума, минимума, толерантности. Популяция. Рождаемость, смертность. Возрастная и пространственная структура популяции. Факторы, зависящие и не зависящие от плотности. Типы биотических взаимоотношений: хищничество, паразитизм, комменсализм, мутуализм, протокооперация, конкуренция, нейтрализм. Экосистема. Продуценты, консументы, редуценты. Цепи питания. Трофический уровень. Видовая и пространственная структура экосистемы. Сукцессия. Агроэкосистема. Биосфера. Вещество: косное, биокосное, живое. Биогеохимический круговорот. Экологический кризис.



Жизненная задача 4

Название. Выступление перед избирателями.

Ситуация. Регион, в котором вы балотируетесь на пост губернатора, является экологически неблагоприятным, именно поэтому партия зелёных в нём традиционно имеет сильные позиции. Растёт загрязнение атмосферы и вод от промышленности, снижение здоровья населения достигло критического уровня. Вырубка лесов продолжается, мелеют реки.

Роль. Кандидат в губернаторы.

Результат. Вам надо предложить план решения экологических проблем в регионе.

Приложение 1

Исторические вехи в развитии биологии

- 460–370 гг. до н.э.** – даты жизни древнегреческого врача Гиппократá, первым поставившего медицину на научные основы.
- 384–322 гг. до н.э.** – даты жизни древнегреческого философа и учёного Аристотéля, заложившего основы зоологии как науки.
- 372–287 гг. до н.э.** – даты жизни древнегреческого философа и естествоиспытателя Теофра́ста, заложившего основы ботаники как науки.
- 980–1037 гг.** – даты жизни таджикского философа и врача Авиценны (Ибн Сина), написавшего книгу «Канон врачебной науки», вплоть до XVII в. остававшейся настольной книгой европейских медиков.
- 1609 г.** – итальянский физик, механик, астроном, философ и математик Галиле́о Галиле́й (1564–1642) изготовил первый микроскоп.
- 1628 г.** – английский медик Уильям Гарвэй (1578–1657) открыл явление кровообращения.
- 1651 г.** – Уильям Гарвей доказал, что всё живое развивается из яйца.
- 1661 г.** – итальянский биолог и врач Марчелмо Мальпи́ги (1628–1694) открыл капилляры.
- 1665 г.** – английский естествоиспытатель Роберт Гук (1635–1703) обнаружил клетки в пробковой ткани.
- 1668 г.** – итальянский врач и натуралист Франчéско Рэ́ди (1626–1697) экспериментально доказал невозможность самозарождения мух из гнилого мяса.
- 1674–1677 гг.** – голландский натуралист, основоположник научной микроскопии Антони ван Лёвенгук (1632–1723) впервые увидел и описал с помощью светового микроскопа простейших и бактерий, пластиды, сперматозоиды человека.
- 1688 г.** – английский натуралист Джон Рэй (1670–1705) ввёл понятие о виде как о систематической единице.
- 1735 г.** – шведский врач и натуралист, создатель единой системы растительного и животного мира Карл Линне́й (1707–1778) разработал принципы систематики и ввел двойное название видов.
- 1749–1788 гг.** – французский натуралист и писатель Жорж Бюффóн (1707–1788) написал 36-томную «Естественную историю», которой зачитывалась вся образованная Европа.
- 1774–1778 г.** – английский священник, естествоиспытатель, философ и общественный деятель Джозеф При́стли (1733–1804) открыл кислород и углекислый газ, установил выделение кислорода растениями.
- 1809 г.** – французский учёный-естествоиспытатель Жан Батист Ламарк (1744–1829) в книге «Философия зоологии» сформулировал первую теорию эволюции живого мира.

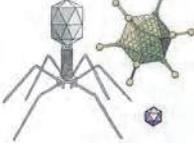
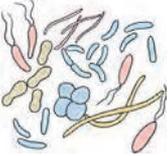
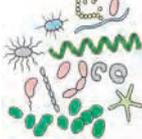
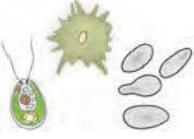
- 1828 г.** – один из основоположников эмбриологии и сравнительной анатомии, академик Петербургской академии наук Карл Бэр (1792–1876) сформулировал закон зародышевого сходства.
- 1828 г.** – немецкий химик Фридрих Вёлер (1800–1882) впервые экспериментально получил органическое вещество из неорганических соединений (мочевину).
- 1831 г.** – британский (шотландский) ботаник Роберт Броун (1773–1858) открыл клеточное ядро.
- 1838–1839 г.** – немецкий цитолог, гистолог и физиолог Теодор Шванн (1810–1882) и немецкий ботаник Маттиас Шлейден (1804–1881) сформулировали клеточную теорию.
- 1840 г.** – немецкий химик Юстус Либих (1803–1873) открыл один из фундаментальных законов экологии – закон минимума.
- 1858 г.** – немецкий учёный и врач Рудольф Вирхов сформулировал положение, дополняющее клеточную теорию: «Каждая клетка из клетки».
- 1858 г.** – английские натуралисты Чарлз Дарвин (1809–1882) и Альфред Уоллес (1823–1913) опубликовали теорию естественного отбора.
- 1859 г.** – Чарлз Дарвин опубликовал книгу «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствующих пород в борьбе за жизнь», в которой излагается его эволюционная теория.
- 1862 г.** – французский микробиолог и химик Луи Пастёр (1822–1895) с помощью своих экспериментов опровергнул теорию самопроизвольного зарождения живого.
- 1865–1866 г.** – австрийский биолог и ботаник Грегор Мендель (1822–1884) обнаружил и опубликовал результаты своих опытов над растительными гибридами, сформулировав законы наследственности.
- 1866 г.** – немецкий естествоиспытатель и философ Эрнст Геккель (1834–1919) сформулировал биогенетический закон (иногда его автором считают также И. Мюллера).
- 1869 г.** – швейцарский физиолог, гистолог и биолог Фридрих Мишер (1844–1895) открыл нуклеиновые кислоты.
- 1874 г.** – российский ботаник Иван Дорощевич Чистяков (1843–1877) открыл митоз у растительных клеток.
- 1850–1878 г.** – французский медик Клод Бернар (1813–1878) развил концепцию внутренней среды.
- 1880 г.** – русский врач Николай Иванович Лунин (1853–1937) открыл витамины.
- 1883 г.** – русский и французский биолог Илья Ильич Мечников (1845–1916) сформулировал биологическую (фагоцитарную) теорию иммунитета.
- 1892 г.** – русский физиолог растений и микробиолог Дмитрий Иосифович Ивановский (1864–1920) открыл вирусы.
- 1898 г.** – русский цитолог и эмбриолог растений Сергей Гаврилович Навашин (1857–1930) открыл двойное оплодотворение у растений.

- 1899 г.** – голландский ботаник, генетик Гуго Де Фриз (1848–1935), немецкий ботаник Карл Корренс (1864–1933) и австрийский ботаник Эрих Чермак (1871–1962) вторично открыли законы наследственности Г. Менделя.
- 1900–1901 гг.** – русский физиолог Иван Петрович Павлов (1849–1936) сформулировал представление об условном рефлексе.
- 1903 г.** – русский естествоиспытатель Климент Аркадьевич Тимирязев (1843–1920) установил космическую роль зелёных растений в круговороте веществ.
- 1910 г.** – русский биолог Алексей Николаевич Северцов (1866–1936) сформулировал теорию эволюции онтогенеза.
- 1913 г.** – американский зоолог и эколог Виктор Шелфорд (1877–1968) сформулировал закон толерантности.
- 1914 г.** – американский биолог Томас Морган (1866–1945) сформулировал хромосомную теорию наследственности.
- 1917–1927 гг.** – разработка концепции экологической ниши: американский эколог Джозеф Гриннелл (1877–1939) – термин «ниша» (1917); английский эколог Чарльз Элтон (1900–1991) – понятие «экологическая ниша».
- 1920 г.** – русский и советский генетик, ботаник и селекционер Николай Иванович Вавилов (1887–1943) сформулировал закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.
- 1921 г.** – немецкий эмбриолог Ханс Шпеман (1869–1941) сформулировал теорию взаимного влияния в развитии частей зародыша друг на друга.
- 1924–1929 г.** – советский биолог и биохимик Александр Иванович Опарин (1894–1980) и английский биохимик и генетик Джон Холдейн (1892–1964) заложили основы естественно-научной теории возникновения жизни на Земле.
- 1926 г.** – русский биолог, генетик-эволюционист Сергей Сергеевич Четвериков (1880–1959) заложил основы экспериментальной генетики популяции.
- 1926 г.** – русский и советский учёный, естествоиспытатель и мыслитель Владимир Иванович Вернадский (1863–1945) опубликовал концепцию биосферы.
- 1929 г.** – британский бактериолог Александр Флеминг (1881–1955) выделил природный пенициллин.
- 1929–1932 гг.** – американский физиолог и психофизиолог Уолтер Кеннон (1871–1945) разработал теорию гомеостаза.
- 1924–1932 гг.** – английский биолог-эволюционист и генетик Рональд Фишер (1890–1962), английский биохимик и генетик Джон Холдейн (1892–1964) и американский генетик, эволюционист Сьюэл Райт (1889–1988) создали теоретическую популяционную генетику.
- 1930-е гг.** – австрийский биолог Конрад Лоренц (1903–1989) и голландский биолог Николаас Тинберген (1907–1988) заложили основы науки о поведении – этологии.
- 1931 г.** – немецкие учёные-изобретатели Э. Руска и М. Кноль сконструировали первый электронный микроскоп.

- 1934 г. – советский микробиолог и эколог Георгий Францевич Гаузе (1910–1986) сформулировал принцип конкурентного исключения.
- 1935 г. – английский ботаник Артур Тенсли (1871–1955) разработал учение об экосистемах.
- 1937–1946 гг. – американский генетик Феодосий Добржанский (1900–1975), русский и советский биолог и генетик Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский (1900–1981), английский биолог Джулиан Хаксли (1887–1975), русский и советский биолог Иван Иванович Шмальгаузен (1884–1963) и другие создали синтетическую теорию эволюции.
- 1940 г. – российский, советский геоботаник и лесовод Владимир Николаевич Сукачев (1880–1967) разработал учение о биогеоценозе.
- 1941 г. – американские генетики Джордж Бидл (1903–1989) и Эдуард Тейтем (1909–1975) сформулировали свою гипотезу «один ген – один фермент».
- 1944 г. – американский микробиолог Освальд Эвери (1877–1955), Колин Маклауд и Маклин Маккарти экспериментально доказали роль ДНК в наследственности.
- 1946 г. – американские генетики Джошуа Ледерберг (1925–2008) и Эдуард Тейтем (1909–1975) открыли систему рекомбинаций у бактерий.
- 1948 г. – американский учёный Норберт Винер (1894–1964) опубликовал книгу «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине», в которой заложил основы новой науки – кибернетики.
- 1952 г. – американские генетики Джошуа Ледерберг (1925–2008) и Нортон Циндер (род. 1928 г.) открыли явление трансдукции.
- 1953 г. – американские химик Стэнли Миллер (1930–2007) и физик Гарольд Юри (1893–1981) экспериментально доказали возможность образования органических веществ из неорганических соединений в условиях, аналогичных древней Земле.
- 1953 г. – американский биолог Джеймс Уотсон (род. 1928 г.) и британский биолог Френсис Крик (1916–2004) установили молекулярную структуру нуклеиновых кислот и их значение для передачи информации в живых системах.
- 1961–1965 гг. – американские биохимики Роберт Холли (1922–1993), Хар Корана (род. 1922 г.) и Маршал Ниренберг (1927–2010) вместе с коллегами расшифровали генетический код.
- 1962 г. – французские микробиологи Франсуа Жакоб (род. 1920 г.) и Жак Моно (1910–1976) открыли первый механизм регуляции работы генов.
- 1962 г. – английский биолог Джон Гордон начал клонирование животных (шпорцевая лягушка).
- 1996 г. – английские учёные Ян Вилмут и Кейт Кэмпбелл клонировали первое теплокровное животное (овца Долли).

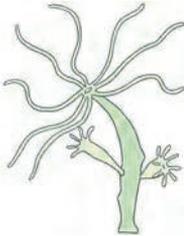
Приложение 2

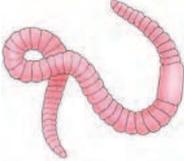
Каталог живой природы

Внешний вид представителей	Краткая характеристика систематической группы
	<p>Вирусы – доклеточные формы жизни. Свойства живого проявляют лишь в клетке организма-хозяина. Вне её ведут себя как элементы неживой природы.</p>
<p>Прокариоты – надцарство одноклеточных безъядерных живых организмов. Включает архебактерии и эубактерии.</p>	
	<p>Архебактерии – царство примитивных прокариот с разнообразным, часто смешанным питанием на основе хемосинтеза. Их отличают некоторые биохимические особенности, лежащие в основе обмена веществ и наследственного аппарата – основ жизни, сходных у всех прочих организмов. Известно около 100 видов.</p>
	<p>Эубактерии – царство одноклеточных и колониальных микроскопических безъядерных организмов, способных к гетеротрофному (бактерии) и автотрофному (цианобактерии) обмену веществ, включая хемосинтез и фотосинтез. Содержит около 11 400 видов.</p>
<p>Эукариоты – надцарство одноклеточных и многоклеточных ядерных живых организмов, способных к гетеротрофному и автотрофному (фотосинтез, хемосинтез) обмену веществ. Включает царства растений, грибов и животных (иногда отдельно выделяют царство протист).</p>	
	<p>Протисты – выделяемое некоторыми учёными царство одноклеточных организмов. Другие учёные предпочитают рассматривать эти организмы в качестве составных частей царств растений, грибов и животных.</p>
<p>Растения – царство автотрофных одноклеточных и многоклеточных ядерных организмов, способных к фотосинтезу, сопровождающемуся выделением кислорода. В экосистеме играют роль продуцентов. Насчитывает около 320 тысяч видов.</p>	
<p>Низшие растения – одноклеточные и многоклеточные растения, состоящие из слоевища (таллома), не разделённого на части (корень, стебель, лист). Отсутствуют ткани и многоклеточные органы размножения.</p>	

Внешний вид представителей	Краткая характеристика систематической группы
	<p>Красные водоросли – отдел в основном многоклеточных низших растений, обитающих преимущественно на дне морей и океанов. Кроме зелёного пигмента – хлорофилла, в них содержатся синие и красные пигменты. Насчитывает около 10 тысяч видов.</p>
	<p>Бурые водоросли – отдел в основном многоклеточных низших растений, обитающих преимущественно на дне морей и океанов. Зелёный цвет хлорофилла маскируется добавочным бурым пигментом (фукоксантином). Включает около 1500 видов.</p>
	<p>Зелёные водоросли – отдел одноклеточных и многоклеточных низших растений, обитающих в пресных и солёных водоёмах, на почве и коре деревьев. Входят в состав лишайников. Насчитывает около 20 тысяч видов.</p>
<p>Высшие растения – многоклеточные, сухопутные по происхождению растения, тело которых разделено на части (корень, стебель, лист). Имеются ткани и многоклеточные органы размножения.</p>	
	<p>Моховидные – отдел высших споровых растений с преобладанием в жизненном цикле полового поколения (гаметофита). Бесполое поколение (спорофит) формируется на материнском растении и питается за его счёт. Мхи – листостебельные растения, у них нет корней и проводящей системы. Как правило, невелики по размеру. Средством доставки мужских гамет к яйцеклеткам служат капли воды. Насчитывает около 27 тысяч видов.</p>
	<p>Папоротниковидные – отдел высших споровых сосудистых растений с преобладанием в жизненном цикле бесполого поколения (спорофита). Половое поколение (гаметофит) в жизненном цикле представлено маленьким свободноживущим заростком. Тело разделено на органы, имеется проводящая система. Папоротники сильно различаются по размерам, жизненным формам, особенностям строения. Средством доставки мужских гамет к яйцеклеткам служат капли воды. Содержит около 10 тысяч видов.</p>

Внешний вид представителей	Краткая характеристика систематической группы
	<p>Голосеменные – отдел высших сосудистых семенных растений. Тело разделено на органы, имеется проводящая система. Мужские гаметы доставляются к яйцеклеткам путём прорастания пыльцевой трубки (нет зависимости размножения от капельно-жидкой воды). Размножаются с помощью семян – органа воспроизведения, расселения и переживания неблагоприятных условий. Голосеменные – наземные растения, большинство из них вечнозелёные, но бывают и листопадные, преимущественно деревья (до 100 м высоты). Содержит 640 видов.</p>
	<p>Покрытосеменные – отдел высших сосудистых семенных растений, отличительной особенностью которых является наличие цветка (видоизменённого побега) в качестве органа полового размножения. Мужские гаметы доставляются к яйцеклеткам путём прорастания пыльцевой трубки (нет зависимости размножения от капельно-жидкой воды). Характерно двойное оплодотворение. Размножаются с помощью семян, заключённых в плод (откуда и появилось их название). Тело разделено на органы, имеется проводящая система. Покрытосеменные – преимущественно наземные растения, представленные травянистыми растениями, деревьями и кустарниками разнообразных жизненных форм и размеров. Содержит около 280 тысяч видов.</p>
	<p>Грибы – царство гетеротрофных одноклеточных и многоклеточных ядерных организмов, сочетающих признаки растений (неподвижность, способность к неограниченному росту, наличие клеточной стенки, питание путём всасывания через большую поверхность тела) и животных (гетеротрофный тип питания, клеточная стенка из хитина, гликоген в качестве запасющего вещества). Тело гриба обычно представлено мицелием – сетью тонких нитей, называемых гифами. Питание осуществляется путём переваривания пищи вне организма и последующего всасывания образующихся питательных веществ. Размножаются грибы спорами. В экосистемах играют роль редуцентов. Содержит около 100–250 тысяч видов. Царство грибов включает такие отделы, как зигомицеты (хлебная плесень), аскомицеты (пенициллум, дрожжи) и базидиомицеты (съедобные шляпочные грибы), различающиеся строением мицелия и различными типами размножения.</p>

Внешний вид представителей	Краткая характеристика систематической группы
	<p>Животные – царство гетеротрофных одноклеточных и многоклеточных ядерных организмов, имеющих в большинстве случаев сложное строение и подвижный образ жизни. Питание осуществляется путём заглатывания пищи (т.е. приём пищи внутрь организма). В экосистемах играют роль потребителей. Содержит более 2 миллионов видов.</p>
	<p>Простейшие – группа типов одноклеточных животных или колоний одноклеточных (амёба, эвглена, инфузории). Содержит около 30 тысяч видов.</p>
	<p>Губки – тип прикрепленных (во взрослом состоянии) водных животных, промежуточных между колонией одноклеточных и двуслойным многоклеточным. Отсутствует нервная система. Содержит 8 тысяч видов.</p>
	<p>Кишечнополостные – тип водных двуслойных (эктодерма и энтодерма) прикрепленных или свободно плавающих многоклеточных животных с рассеянной нервной системой (гидра, медуза, коралловый полип). Обладают радиальной симметрией. Тело напоминает по форме мешок с единственным отверстием – «ртом», который служит и для заглатывания пищи, и для выведения непереваренных остатков. Клетки тела имеют мускульные отростки. Насчитывает 11 тысяч видов.</p>
	<p>Плоские черви – тип свободноживущих и паразитических червей, имеющих трёхслойное строение, уплощённую форму тела и двустороннюю симметрию (ресничные черви, сосальщики, ленточные черви). Имеют настоящие многоклеточные мышцы. Кишечник несквозной. Нервная система состоит из соединённых друг с другом продольных стволов, у паразитов резко упрощена. Содержит 25 тысяч видов.</p>
	<p>Круглые черви – тип свободноживущих и паразитических червей, имеющих трёхслойное строение и двустороннюю симметрию (аскарида). Кишечник сквозной (есть ротовое и анальное отверстие). За счёт находящейся под давлением полостной жидкости имеют в сечении форму круга. Нервная система состоит из околочлоточного нервного кольца и нескольких продольных нервов. Содержит около 80 тысяч видов.</p>

Внешний вид представителей	Краткая характеристика систематической группы
	<p>Кольчатые черви – тип свободноживущих подвижных и прикрепленных трехслойных двустороннесимметричных червей с вторичной полостью тела – целомом (дождевые черви, пиявки). Имеют сегментированное строение. Замкнутая кровеносная система. Нервная система складывается из крупного ганглия, от которого отходит брюшная нервная цепочка. Содержит 12 тысяч видов.</p>
	<p>Моллюски – тип свободноживущих (изредка паразитических) подвижных и прикрепленных животных (брюхоногие, двустворчатые, головоногие). Двусторонняя симметрия нередко нарушается. Тело мягкое и мясистое, подразделяется на голову, мускульную ногу и туловище. Тело покрыто кожистой складкой мантией, которая у большинства секретирует известковую раковину. Ведут водный и наземный образ жизни. Незамкнутая кровеносная система. Нервная система состоит из нервных узлов и стволов. Содержит 150 тысяч видов.</p>
	<p>Членистоногие – тип свободноживущих подвижных (изредка паразитических и прикрепленных) животных (ракообразные, паукообразные, насекомые). Двусторонняя симметрия. Тело сегментированное, как правило, поделено на отделы. Каждый сегмент, как правило, несёт по паре членистых конечностей, выполняющих функцию движения, добывания пищи или органов чувств. Имеют наружный скелет из хитина. Ведут водный и наземный образ жизни. Незамкнутая кровеносная система. Нервная система состоит из головного мозга и брюшной нервной цепочки. Содержит более 1,5 млн видов.</p>
	<p>Иглокожие – тип свободноживущих подвижных и прикрепленных донных морских животных с радиальной симметрией (личинки двустороннесимметричны), головы нет (морские звёзды, ежи и лилии). Известковый наружный скелет. Содержит 7 тысяч видов.</p>
	<p>Хордовые – тип свободноживущих подвижных (в случае оболочников – прикрепленных) животных с осевым скелетом в виде хорды, которая у высших форм заменяется позвоночником (оболочники, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие). Нервная система представлена нервной трубкой, расположенной на спине. По строению и функции нервной системы тип хордовых занимает высшее место среди животных. Содержит 51 тысячу видов.</p>

Предметный указатель

А биогенез	284	Вид	263
Австралопитек	315–316	Видообразование географическое	270
Автотрофы	71	Видообразование экологическое	270
Агроэкосистемы	361	Вирусы	100
Адаптация	260	Волны жизни	255
Актуализма принцип	227	Г аметогенез	126
Амелизм множественный	176	Ген	87, 182–185
Аминокислоты	47	Генетика	146
Аналогия	240	Генетические карты	169
Антропология	304	Генетический код	86
Аппарат Гольджи	63	Генетически модифицированные организмы	216
Ареал	331	Генная инженерия	216
Ароморфоз	276	Геном	185
Архантроп	315–316	Генотип	156
АТФ	54	Генофонд	249
Аутосомы	171	Гены аллельные	156
Б елки	47	Гетерогаметный пол	171
Бесполое размножение	119	Гетерозиготность	156
Биогенетический закон	243	Гетерозис	212
Биогенные элементы	36	Гетеротрофы	71
Биологический прогресс	274	Гипотеза	16
Биология	8	Гликолиз	78
Биоразнообразие	368	Глобальный биогеохимический круговорот	367
Биосфера	365	Гомогаметный пол	171
Биотехнология	215	Гомозиготность	156
Биоценоз	348	Гомология	240
Брахиация	307	Группы сцепления	166
Брожение	78	Д вуполье организмы	121
В акуоль	65	Диапазон толерантности	328
Вегетативное размножение	120		

Дивергенция	237, 277	К леточное строение	20
Дигибридное скрещивание	160	Клеточная стенка	65
ДНК	52	Клеточная теория	32
Доминантный признак	154	Клеточный центр	66
Доминирование неполное	175	Клонирование	218
Доминирование полное	175	Коацерват	285
Дробление	133	Комменсализм	342
Дыхание	79	Комплементарность	177
Е стественная система организмов	226, 242	Конвергенция	278
Естественный отбор	235, 257	Конкуренция	343
Ж изненная форма	348	Консументы	356
З акон гомологических рядов	194	Критерии вида	266
Закон доминирования (единообразия гибридов первого поколения)	154	Кроссинговер	168
Закон зародышевого сходства	243	Круговорот биогеохимический	367
Закон Моргана	166	Л изосома	64
Закон расщепления	155	Лимитирующий фактор	327
Закон чистоты гамет	157	Липиды	43
Зародышевые листки	134	М икроэволюция	272
И диоадаптация	276	Макроэлементы	36
Изготовление орудий труда	310	Медико-генетическая консультация	204
Изменчивость	146, 189	Мейоз	95, 96, 98
Изменчивость генотипическая	189	Метаморфоз	135
Изменчивость комбинативная	190	Микроэволюция	250, 272
Изменчивость модификационная	189, 195	Микроэлементы	37
Изменчивость мутационная	191	Митоз	94, 98
Изолирующие механизмы	266	Митохондрия	64
Изоляция	256	Множественное действие генов	179
Инбридинг	212	Моделирование	16
Индивидуальное развитие	132	Модификации адаптивные	196
Исторический метод	15	Моногибридное скрещивание	156
		Морфофизиологический прогресс	276
		Мутуализм	341

Наблюдение	14	Принцип конкурентного исключения	344
Наследственность	146	Прогресс биологический	274
Наследственные болезни	201	Прогресс морфофизиологический	276
Неоантроп	316, 318	Приспособленность	22, 236
Непрямое развитие	135	Пробионт	285
Норма реакции	197	Продуценты	355
Нуклеотиды	51	Прокариоты	56
Обмен веществ	18	Протокооперация	341
Общая дегенерация	276	Прямое развитие	135
Онтогенез	132	Развитие	21
Оогенез	127	Раздельнополые организмы	121
Оплодотворение	127	Раздражимость	22
Оплодотворение искусственное	130	Размножение	118
Отбор естественный	235, 257	Размножение бесполое	119
Отбор искусственный	209	Размножение половое	121, 297
Палеоантроп	315–316	Разум	309
Паразитизм	339	Раса человеческая	318
Параллелизм	279	Растительность	339
Пастеризация	282	Редупликация	88
Пластиды	64	Редуценты	356
Пластический обмен	70	Рецессивный признак	154
Полигенное наследование	180	Речь	310
Полимерия	178	Рибосома	65
Половое размножение	121, 297	Рождаемость	332
Половые хромосомы	171	Рост	21
Популяция (единица существования и эволюции)	249, 331	РНК	53
Порода	206	Самовоспроизведение	21
Постэмбриональное развитие	133	Саморегуляция	22
Правило	16	Световая фаза	73
Превращение энергии (свойство живого)	18	Свойства живого	23
		Селекция	206

Симбиоз	341	Формы отбора: стабилизирующая	258
Скрещивание		Формы отбора: дизруптивная	259
дигибридное	160	Фотосинтез	71, 293
моногибридное	156	Х емосинтез	76
Смертность	332	Химический состав живого	19
Сообщество	338	Хищничество	339
Сорт	206	Хромосома	85
Сперматогенез	126	Хромосома гомологичная	86
Сравнение	14	Хромосомная теория наследственности	170
Структура популяции (возрастная и пространственная)	332–333	Ц епи питания	357
Сукцессия	350	Цитология	30
Сцепленное наследование	166	Цитоплазма	61
Т емновая фаза	74	Цитоплазматическая мембрана	62
Теория	16	Цитоплазматическая наследственность	188
Теория симбиогенеза	67	Цитоскелет	66
Транскрипция	87	Ш тамм	206
Трансляция	87	Э волюция	235
Трофические уровни	357	Экология	325
У глеводы	44	Экологическая ниша	329
Уровень организации	26	Экологический кризис	372
Ф акторы, зависящие от плотности	335	Экосистема	355
Факторы, не зависящие от плотности	334	Эксперимент	16
Факторы среды: абиотические	326	Эмбриональное развитие	133
Факторы среды: биотические	326	Эндоплазматическая сеть	63
Факторы среды: антропогенные	326	Энергетический обмен	71
Факторы эволюции	235	Эпистаз	177
Фенотип	156	Эукариоты	59, 60, 295
Ферменты	50	Я дро	63
Формы отбора: движущая	258		

Проблемные вопросы уроков (авторский вариант)

- § 1. Каковы предмет, задачи, методы и структура современной биологии?
- § 2. Какие методы научного познания существуют и как их используют биологи?
- § 3. Почему для того, чтобы отличить живое от неживого, необходимо несколько критериев?
- § 4. Почему каждый организм оказывается вовлечённым одновременно во множество биологических процессов?
- § 5. Каким образом клеточное строение организмов доказывает единство происхождения всего живого на Земле?
- § 6. Как из одного и того же набора элементов построены различные вещества живой и неживой природы?
- § 7. Как создать универсальный «конструктор»?
- § 8–9. Почему нуклеиновые кислоты называют «информационными молекулами»?
- § 10. Чем обусловлены различия в строении клеток?
- § 11–12. В чём преимущество сложного строения клетки?
- § 13. Какие природные механизмы позволяют органическому миру использовать энергию Солнца?
- § 14. Какие пути получения энергии используются различными живыми организмами?
- § 15. Каким образом закодирована, защищена и используется информация в молекуле ДНК?
- § 16. Каким образом обеспечивается равномерное распределение наследственной информации при делении клеток?
- § 17. Какие свойства живого проявляют вирусы и какие из них практически важны?
- § 19. Чем хороши и чем плохи тесные взаимосвязи между частями организма?
- § 20. Какие закономерности лежат в основе многообразия живого?
- § 21. Какую роль в существовании жизни играет размножение?
- § 22. Как образуются гаметы и происходит оплодотворение?
- § 23. Как из оплодотворённой яйцеклетки развивается сложно дифференцированный организм?
- § 24. Почему человек живёт так долго?
- § 25. Какие скрытые механизмы могут обеспечить как преемственность одних признаков, так и неожиданное появление или исчезновение других?
- § 26. Каковы закономерности и механизм наследования альтернативных вариантов одного признака?
- § 27. Как будут наследоваться две пары альтернативных признаков?
- § 28. Как наследуются два признака, если их гены расположены в одной паре гомологичных хромосом?

- § 29. Как в природе обеспечивается равное соотношение полов?
- § 30. Как случайно комбинирующиеся и независимые друг от друга гены обеспечивают взаимную согласованность частей организма?
- § 31. Какова молекулярная структура и управление элементами наследственного аппарата?
- § 32–33. Как влияют наследственность и окружающая среда на изменчивость?
- § 34. Как генетика борется с наследственными заболеваниями?
- § 35–36. Как создаются искусственные разновидности организмов?
- § 37. Как человек использует биологические процессы в промышленном производстве?
- § 39. Какие причины привели к появлению эволюционных теорий?
- § 40. В чём смысл и значение эволюционной теории Ч. Дарвина?
- § 41. В каких формах наследие предков проявляется в строении и функциях их потомков?
- § 42. Как новые идеи в биологии помогли преодолеть возражения против ведущей роли естественного отбора?
- § 43–44. Как происходят элементарные явления эволюции?
- § 45. Что такое вид? Изменяются ли виды?
- § 46. Какую роль играет изоляция и отбор в видообразовании?
- § 47. Почему пути эволюции столь различны, что на Земле одновременно обитают простые и сложные организмы?
- § 48. Как современная наука согласовывает различные точки зрения на происхождение жизни?
- § 49. Какие важнейшие эволюционные события произошли в архейскую и протерозойскую эру?
- § 50. Какие причины привели к одновременному появлению скелетных форм в большинстве типов многоклеточных животных?
- § 51–52. Как эволюционная теория объясняет сходство человека и животных?
- § 53–54. Какие промежуточные формы связывают эволюцию человека и животных?
- § 56. Чем определяются изменения численности организмов?
- § 57. Роль внутрипопуляционных отношений в существовании вида.
- § 58–59. Что объединяет разные виды в сообщество?
- § 60–61. Какие особенности сообществ возникли в результате совместной эволюции их членов?
- § 62–63. Как природные экосистемы обеспечивают замкнутый круговорот веществ?
- § 64. Что отличает биосферу от ближайших участков Вселенной?
- § 65–66. Какие экологические проблемы стоят перед человечеством и как их решать?

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
§ 1. Предмет и отрасли биологии	8
§ 2. Научное познание в биологии	13
§ 3. Свойства живого	18
§ 4. Уровни организации живой природы	24
Глава 1. КЛЕТКА КАК СТРУКТУРНАЯ ЕДИНИЦА ОРГАНИЗМА	29
§ 5. Клеточная теория	30
§ 6. Неорганические вещества в клетке	35
§ 7. Углеводы и липиды – строительный материал и источник энергии клетки	42
§ 8–9. Белки и нуклеиновые кислоты – главные макромолекулы	47
§ 10. Сходство и различия в строении клеток прокариот и эукариот	56
§ 11–12. Строение клетки	61
§ 13. Вещество и энергия для жизни на Земле	70
§ 14. Иные пути получения энергии	76
§ 15. Хранение и использование наследственной информации	84
§ 16. Деление клеток	92
§ 17. Вирусы – генные паразиты	99
§ 18. Основы цитологии. Повторение	106
Глава 2. ОРГАНИЗМ КАК ЦЕЛОЕ	107
§ 19. Организм – скоординированное целое	108
§ 20. Порядок в многообразии	112
§ 21. Воспроизведение организмов	118
§ 22. «Два в одном»: от мамы и от папы	125
§ 23. Онтогенез – индивидуальное развитие организма	132
§ 24. Индивидуальное развитие человека	138
Глава 3. НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ	145
§ 25. Зарождение науки генетики	146
§ 26. Наследование отдельного признака	152
§ 27. Сочетание родительских признаков	159
§ 28. Сцепленное наследование	165
§ 29. Генетика пола	171
§ 30. Взаимодействие генов	175
§ 31. Современные представления о наследственности	182

§ 32–33. Изменчивость – общее свойство живого	189
§ 34. Генетика человека	199
§ 35–36. Селекция – искусственная эволюция	206
§ 37. Биотехнология	215
§ 38. Индивидуальное развитие. Генетика. Повторение	222
Глава 4. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА.	
ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ	224
§ 39. На пути к объяснению эволюции	225
§ 40. Теория, изменившая взгляд на мир	232
§ 41. Следствия эволюционной теории.	239
§ 42. Синтетическая теория эволюции.	247
§ 43–44. Факторы эволюции.	253
§ 45. Вид и его критерии	263
§ 46. Видообразование – итог микроэволюции	269
§ 47. Пути эволюции.	274
§ 48. Где и как появилась жизнь	281
ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА ИСТОРИИ ЗЕМЛИ И ЖИЗНИ НА НЕЙ	287
§ 49. Эра скрытой жизни	293
§ 50. Эра явной жизни	299
§ 51–52. Почему мы похожи на обезьян	304
§ 53–54. Путь к человеку	312
§ 55. Эволюция органического мира. Повторение	321
Глава 5. ОРГАНИЗМЫ В СРЕДЕ ИХ ОБИТАНИЯ	323
§ 56. Чем занимается экология	325
§ 57. Популяция – одновидовое сообщество	331
§ 58–59. Кому выгодны межвидовые взаимоотношения.	338
§ 60–61. Сообщество – экологический продукт эволюции	347
§ 62–63. Экосистема замыкает круговорот веществ	355
§ 64. Сфера жизни.	364
§ 65–66. Мы не должны жить за счёт потомков	371
§ 67. Организмы в среде их обитания. Повторение.	380
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Исторические вехи в развитии биологии	383
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Каталог живой природы	387
Предметный указатель	392
Проблемные вопросы уроков (авторский вариант).	396

**Вахрушев Александр Александрович, Бурский Олег Владиславович,
Раутиан Александр Сергеевич, Родионова Елена Ивановна,
Розанов Михаил Николаевич**

БИОЛОГИЯ
10–11 классы
Базовый уровень

Концепция оформления и художественное редактирование – *Е.Д. Ковалевская*
Художник – *Александра Панаиотиди*

Подписано в печать 20.05.15. Формат 70х90/16. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Гарнитура Журнальная. Объём 25 п.л. Тираж 2000 экз. Заказ №

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2; 953005 – литература учебная

Издательство «Баласс»
109147 Москва, Марксистская ул., д. 5, стр. 1
Почтовый адрес: 111123 Москва, а/я 2, «Баласс»
Телефоны для справок: (495) 672-23-12, 672-23-34, 368-70-54
<http://www.school2100.ru> E-mail: izd@balass.su

Отпечатано в филиале «Смоленский полиграфический комбинат»
ОАО «Издательство “Высшая школа”»
214020 Смоленск, ул. Смольянинова, 1