

Н. Д. Лисов, А. В. Камлюк

БИОЛОГИЯ

Полный школьный курс

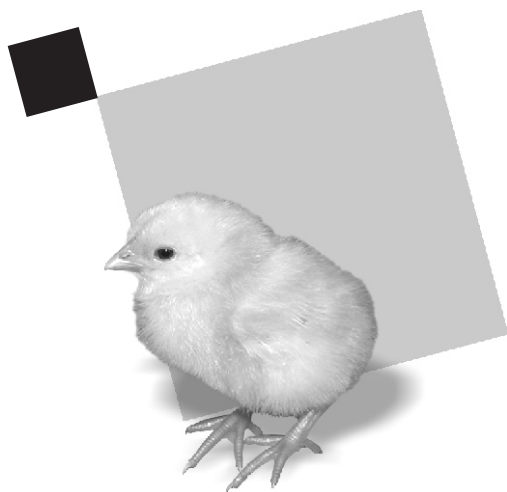


Аверсэв

Н. Д. Лисов, Л. В. Камлюк

БИОЛОГИЯ

Полный школьный курс



7-е издание

Минск
«Аверсэв»
2019

УДК 57(075.3)
ББК 28я721
Л63

Рецензенты:

канд. биол. наук, проф. каф. психологии Международного гуманитарно-экономического института **Л. М. Кукушкина**; учитель биологии высшей категории, методист гос. учреждения образования «Гимназия № 5 г. Минска» **Т. Н. Жганова**

Лисов, Н. Д.

Л63 Биология : полный школьный курс / Н. Д. Лисов, Л. В. Камлюк. — 7-е изд. — Минск : Аверсэв, 2019. — 512 с. : ил.

ISBN 978-985-19-3628-7.

Издание содержит материал, соответствующий школьному курсу биологии. В пособии последовательно раскрываются наиболее общие свойства живых организмов, их многообразие, распространение, среда обитания, классификация, особенности строения и процессов жизнедеятельности, значение в природе и жизни человека. Серьезное внимание уделяется учению о видах и популяциях организмов, экосистемах и биосфере, эволюции живых организмов, селекции и биотехнологии, рассматривается роль человека в биосфере.

Адресуется учащимся учреждений общего среднего и среднего специального образования, абитуриентам, учителям биологии и преподавателям факультетов довузовской подготовки.

УДК 57(075.3)
ББК 28я721

Справочное издание

Лисов Николай Дмитриевич
Камлюк Лилия Васильевна

БИОЛОГИЯ
Полный школьный курс

7-е издание

Ответственный за выпуск **Д. А. Дембовский**

Подписано в печать 11.12.2018. Формат 70×100^{1/16}. Бумага газетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 41,60. Уч.-изд. л. 46,27. Тираж 4100 экз. Заказ

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/15 от 02.08.2013. Ул. Н. Олешева, 1, офис 309, 220090, г. Минск.

E-mail: info@aversev.by; www.aversev.by

Контактные телефоны: (017) 268-09-79, 268-08-78.

Для писем: а/я 3, 220090, г. Минск.

Государственное предприятие «Издательство “Белорусский Дом печати”».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/102 от 01.04.2014. Пр. Независимости, 79, 220013, г. Минск.

12+

ISBN 978-985-19-3628-7

© Лисов Н. Д., Камлюк Л. В., 2012
© Оформление. ОДО «Аверсэв», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие адресовано выпускникам и абитуриентам, которые готовятся сдавать вступительный экзамен по биологии в вузы и ссузы.

Тестовые задания, предлагаемые на централизованном тестировании, в значительной степени основаны на материале школьных учебных пособий. Однако далеко не всем абитуриентам они доступны. В силу этого подготовка к тестированию вызывает значительные трудности, так как поиск соответствующей учебной литературы отнимает немало времени и не всегда завершается успешно.

Предлагаемое пособие решает эту проблему. Издание составлено в соответствии с учебной программой по биологии для 7—11 классов учреждений общего среднего образования с русским и белорусским языками обучения. Его содержание включает все основные термины и понятия, составляющие основу понятийного аппарата школьного курса биологии. Пособие соответствует также программе вступительных экзаменов. Материал расположен в такой же последовательности, как и в школьных учебниках. В пособии последовательно рассматриваются многообразие органического мира и его классификация, основные группы организмов от бактерий и протистов до высших животных, среда их обитания, распространение, строение, особенности процессов жизнедеятельности, значение каждой группы в природе и жизни человека.

В книге достаточно подробно изложены гипотезы происхождения жизни на Земле, закономерности эволюции видов живой природы и надвидовых таксонов, происхождения и эволюции человека, вопросы поведения как результата эволюции.

Один из разделов посвящен организму человека, где кратко рассмотрены его строение и функционирование как целостной системы, отдельные системы органов, регуляция и координация их работы, особенности воспроизведения человека, его гигиена и психология, наиболее распространенные болезни и их профилактика.

Значительное внимание в пособии уделено общим закономерностям в живой природе. Здесь последовательно рассматриваются химические компоненты живых организмов, строение и функционирование клетки как наименьшей структурной и функциональной единицы, ее отдельных органоидов и структур. Достаточно подробно и доступно изложены вопросы метаболизма, структурной организации и регуляции функций живых организмов, их размножения и индивидуального развития, наследственности и изменчивости, взаимосвязи организмов и условий окружающей среды.

Кроме того, описаны основные закономерности, характерные для живых систем более высокого ранга — популяций, видов, экосистем, биосферы.

Текст учебного пособия сопровождается иллюстрациями, схемами, таблицами. Основные термины выделены полужирным шрифтом, а дополняющие и комментирующие их понятия — светлым курсивом.

ВВЕДЕНИЕ

Биология — наука о живой природе. Термин «биология» (гр. *биос* — жизнь, *логос* — слово, учение) впервые был предложен в 1802 г. французским натуралистом Ж. Б. Ламарком и независимо от него немецким ботаником Г. Р. Тревиранусом.

Предметом исследования биологии являются все проявления жизни: строение и функции живых существ и их природных сообществ, происхождение и развитие разных групп организмов, связи живых организмов друг с другом и с неживой природой.

В зависимости от объектов исследования в биологии выделяется ряд наук: животных изучает *зоология*, растения — *ботаника*, микроорганизмы — *микробиология*, грибы — *микология*, лишайники — *лихенология*, водоросли — *альгология*, вирусы — *вирусология*.

В пределах зоологии сформировались более узкие дисциплины, например *энтомология* (о насекомых), *орнитология* (о птицах), *ихтиология* (о рыбах), *териология* (о млекопитающих) и др., в ботанике — *бриология* (о мхах), *дендрология* (о древесных растениях) и др.

Многообразие организмов и распределение их по группам — область *систематики*. Изучением истории органического мира занимается *палеонтология*, внутреннего и внешнего строения организмов — *анатомия* и *морфология*, функций живых организмов, их взаимной связи и зависимости от внешних и внутренних условий — *физиология* (например, физиология человека и животных, физиология растений).

Клетку как структурную и функциональную единицу организмов изучает *цитология*, ткани — *гистология*, общие закономерности индивидуального развития организмов — *эмбриология* и *биология развития*.

Химический состав организмов, структуру и функции химических веществ, распределение и превращение в организме исследуют *биохимия* и *молекулярная биология*, а физические и физико-химические явления в клетках и организмах — *биофизика*.

Закономерности наследственности и изменчивости изучает *генетика*, историческое развитие живой природы и многообразия органического мира — *эволюционное учение*.

Вопросами коллективной жизни сообществ живых организмов занимается *этология* — наука о поведении животных и *экология* — наука о взаимоотношениях различных организмов в образуемых ими сообществах между собой и с окружающей средой.

Биогеография изучает общие закономерности географического распространения живых организмов на Земле.

В зависимости от того, в какой области практической деятельности человека используются биологические знания, выделяют такие дисциплины, как: *биотехнология* — совокупность промышленных методов, позволяющих с высокой эффективностью использовать живые организмы для производства ценных продуктов (антибиотиков, аминокислот, белков, витаминов, гор-

монов и др.), для защиты растений от вредителей и болезней, для борьбы с загрязнением окружающей среды, в очистных сооружениях и т. п.;

агробиология — комплекс знаний о возделывании сельскохозяйственных культур;

селекция — наука о методах создания сортов растений, пород животных, штаммов микроорганизмов с нужными для человека свойствами. В этот же ряд следует поставить *животноводство*, *ветеринарию*, *медицинскую биологию*, *фитопатологию* и др.

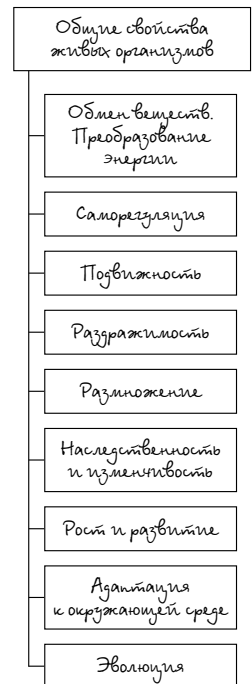
Общие признаки и свойства живых организмов. На Земле проживает неисчислимое множество живых организмов. Организм (лат. *организмус* — орудие, инструмент) — это особь, живое существо, обладающее совокупностью определенных признаков.

Живые существа впервые появились на Земле примерно три с половиной миллиарда лет назад. Современные их потомки достигли большого разнообразия. Число видов живых организмов, населяющих Землю, достигает нескольких миллионов. Среди них есть мельчайшие, микроскопические бактерии, размеры которых составляют 0,5—5 мкм, и огромные, достигающие в высоту нескольких десятков метров эвкалипты и секвойи. Живые организмы различаются по массе тела, сложности строения, распространению в природе, местам обитания. Есть организмы, которые всю жизнь проводят на одном месте; другие же активно передвигаются. Несмотря на такое разнообразие, все организмы имеют определенные общие черты, отличающие их от объектов неживой природы.

Единство химического состава. В состав живых организмов входят те же химические элементы, из которых построены объекты неживой природы. Однако соотношение элементов в живых организмах и телах неживой природы неодинаково. 98 % химического состава живых организмов приходится на кислород, углерод, водород и азот, кроме того, живые организмы построены в основном из четырех групп сложных органических молекул: белков, полисахаридов, липидов и нуклеиновых кислот. Состав химических элементов в разных средах неживой природы, в отличие от живых организмов, разный. В водной оболочке Земли (гидросфере) преобладают водород и кислород, в газовой оболочке (атмосфере) — азот и кислород, в твердой оболочке (литосфере) — кремний и кислород.

Обмен веществ. Все организмы представляют собой открытые системы, являющиеся устойчивыми лишь при условии непрерывного поступления в них извне веществ и энергии. Живые организмы потребляют, преобразуют и используют вещества и энергию из окружающей среды и возвращают в нее продукты распада и преобразованную энергию, например в виде тепла. Организмы потребляют вещества из окружающей среды в процессе **питания**. Поступившие питательные вещества служат источником атомов различных элементов для построения веществ, свойственных данному виду организмов. Растения, большинство протистов и некоторая часть бактерий способны к фотосинтезу — они сами создают органические вещества из неорганических с помощью энергии света. Фотосинтез — одна из форм *автотрофного* питания. Животные, грибы, часть протистов и большинство бактерий питаются иначе: они используют органические вещества других организмов, расщепляя их ферментами и усваивают продукты расщепления. Такое питание называют *гетеротрофным*.

Поскольку для осуществления всех процессов жизнедеятельности нужна энергия, значительная часть органических веществ, поступающих в результате автотрофного или гетеротрофного питания, используется для ее высвобождения. Высвобожденная в клетках энергия в процессе *дыхания* при расщеплении некоторых высокоэнергетических соединений (углеводов,



высших карбоновых кислот, аминокислот) запасается в молекулах *аденозин-трифосфосфорной кислоты* (АТФ).

Живые организмы выводят из организма конечные, ненужные, продукты обмена веществ, которые в большом количестве могут приносить вред. Этот процесс называется *выделением* или *экскрецией*. Конечные продукты обмена — «шлаки» — образуются, например, в процессе дыхания и требуют обязательного удаления. Таким образом, для организмов характерны *обмен веществ* с окружающей средой и *энергозависимость*.

Саморегуляция. Живые организмы способны поддерживать, с одной стороны, постоянство своего химического состава, а с другой — интенсивность обменных процессов. Недостаток поступления каких-либо веществ мобилизует внутренние ресурсы организмов, а их избыток вызывает прекращение синтеза этих веществ. Это свойство называется *саморегуляцией*.

Подвижность. Многие живые организмы (животные, некоторые простисты и бактерии) обладают способностью перемещаться из одного места в другое, т. е. способностью к движению. Животным, например, необходимо передвигаться в поисках пищи, спасаясь от врагов, находить партнеров для размножения.

Двигательные реакции можно наблюдать и у растений: движение органоидов внутри клеток, ростовые движения органов (листьев, корней, стеблей), хотя они происходят медленнее, чем у животных.

Раздражимость. Все живые существа тем или иным образом реагируют на изменения внешней и внутренней среды, что помогает им выжить. Способность отвечать на внешние или внутренние воздействия называется *раздражимостью*. Например, у млекопитающих при повышении температуры тела кровеносные сосуды кожи расширяются, рассеивая избыточное тепло и тем самым восстанавливая оптимальную температуру тела. Любое изменение в окружающей среде является раздражителем, а реакция организма на его действия — проявлением раздражимости. Сочетания «раздражитель — реакция» могут накапливаться в виде опыта и использоваться организмом в дальнейшем.

Размножение. Продолжительность жизни каждого отдельного организма ограничена, в то время как виды могут существовать неопределенно долго благодаря смене поколений. При размножении организмы воспроизводят себе подобных, тем самым увеличивая численность особей. При этом реализуется свойство организмов хранить и передавать признаки из поколения в поколение, называемое наследственностью. Благодаря размножению численность любого вида поддерживается в течение длительного времени на определенном уровне. Смена поколений обеспечивается бесполом и половым размножением.

Размножение может осуществляться двумя способами — бесполом и половым. *Бесполое* размножение происходит путем деления клетки пополам (одноклеточные бактерии и простисты), образованием специальных клеток — спор (растения и грибы) и частями тела (характерно для растений, грибов и некоторых животных). При бесполом размножении молодые организмы образуются только от одного материнского, поэтому все они похожи друг на друга и, как правило, на материнский организм.

При *половом* размножении организм развивается из зиготы, которая образуется в результате слияния специальных половых клеток — гамет, образованных двумя родителями. Мужские гаметы называются *сперматозоогами*, женские — *яйцеклетками*. Новый организм отличается как от отцовского, так и от материнского, потому что он получил наследственные свойства обоих родителей. Комбинирование наследственных признаков обуславливает разнообразие потомства, возникающего при половом размножении.

Наследственность и изменчивость. Воспроизведение себе подобных тесно связано с *наследственностью*, т. е. способностью организмов передавать потомкам свои признаки и свойства в неизменном виде. В основе наследственности лежит стабильность носителей генетической информации — нуклеиновых кислот. Генетическая информация, заключенная в ДНК, определяет возможные пределы развития организма, его структур, функций и реакций на окружающую среду. В то же время потомки обычно бывают похожи на своих родителей, но не идентичны им. Способность организмов приобретать в ходе онтогенеза новые свойства и признаки и утрачивать старые называется *изменчивостью*.

Рост и развитие. Возникновение нового организма (из клетки, споры, части тела или зиготы) сопровождается изменением его внешнего и внутреннего строения. Этот процесс называется *развитием*. Развитие связано также с *ростом* — постепенным увеличением размеров развивающегося организма.

Адаптации к окружающей среде. Живые организмы хорошо приспособлены к среде обитания. Они прекрасно соответствуют своему образу жизни. Достаточно ознакомиться со строением крота, рыбы или паразитического червя, чтобы представить в общих чертах, как они живут. Особенности строения, жизнедеятельности и поведения, обеспечивающие выживание и размножение организмов в их среде обитания, называются адаптациями (приспособлениями).

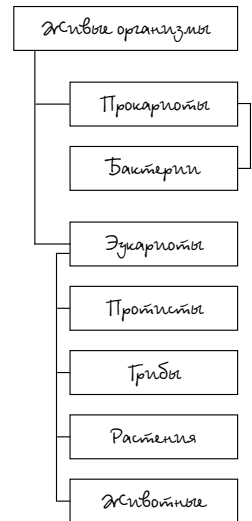
Клеточное строение. Тело всех живых организмов образовано клетками. Клетка — элементарная единица строения и жизнедеятельности живых организмов, обладающая собственным обменом веществ, способная к самостоятельному существованию, самовоспроизведению и развитию.

Организмы разных групп различаются своей структурной организацией: они могут быть маленькими и большими, представлять собой одну клетку, колонию клеток или быть многоклеточными. Вместе с тем все организмы обладают общим свойством — они имеют клеточное строение.

Все клеточные формы жизни на Земле подразделяют на два надцарства: *прокариоты* (лат. *про* — вместо, впереди, гр. *карион* — ядро) — доядерные организмы и *эукариоты* (гр. *эу* — хорошо, полностью) — ядерные организмы. К прокариотам относятся все бактерии, к эукариотам — протисты, грибы, растения и животные. Несмотря на многообразие форм, организация клеток всех живых организмов подчинена единому структурному принципу — клетка состоит из трех основных частей: поверхностного аппарата, цитоплазмы с органоидами и включениями и ядерного аппарата.

Эволюция. Только живые организмы способны изменяться и совершенствоваться, приспособляясь к изменяющимся условиям среды и порождая новые разнообразные формы. Этот процесс называют *эволюцией*. В результате эволюции возникло все многообразие живых организмов.

Классификация живых организмов. Разнообразие жизни на Земле с трудом поддается описанию. Полагают, что сейчас на нашей планете обитает свыше 10 млн видов живых организмов и не менее 500 млн видов вымерло в предыдущие геологические эпохи. Нет и никогда не будет человека, который знал бы все эти виды организмов. В таком многообразии без определенной системы невозможно ориентироваться. Со времен Аристотеля перед натуралистами и естествоиспытателями стояла задача разделения организмов на группы, что сделало бы их изучение более удобным. Созданием системы живой природы занимается *систематика*. Ее предметом является описание, обозначение, классификация и построение системы живых организмов, которая не только отражает сходство в строении организмов и их родство, но и учитывает историю возникновения и эволюцию разных групп организмов. При разделении живых организмов на группы и построении биологической





системы используется совокупность признаков организмов, таких как особенности строения организмов и их клеток, история развития группы на основе ископаемых остатков, особенности размножения и эмбрионального развития, нуклеотидный состав ДНК и РНК, состав белков, тип питания, тип запасных питательных веществ, распространение организмов и т. д.

Принципы систематики. Основные систематические категории. Первую научную систему живой природы создал шведский натуралист К. Линней в 1758 г. В основу своей системы К. Линней положил два принципа: бинарной номенклатуры и иерархичности. В соответствии с *бинарной номенклатурой* каждый вид называется по латыни двумя словами: существительным, обозначающим род, и прилагательным — вид. Например, *Homo sapiens* (Человек разумный), *Homo neandertalensis* (Человек неандертальский), *Ranunculus sceleratus* (Лютик ядовитый), *Trifolium repens* (Клевер ползучий) и т. д.

Принцип иерархичности, или соподчиненности, означает, что, подобно тому как в армии отделения объединяются во взводы, взводы — в роты, роты — в батальоны, батальоны — в полки и т. д., виды животных, например, объединяют в роды, роды — в семейства, семейства — в отряды, отряды — в классы, классы — в типы, типы — в царство. При классификации бактерий, грибов и растений вместо ранга *отряд* используется *порядок*, а вместо *тип* — *отдел*. Часто, чтобы подчеркнуть разнообразие в какой-либо группе, используют подчиненные категории, например *подвид*, *подкласс*, *надкласс*, или *подтип*.

Основной систематической единицей является *вид*. Родственные виды объединяются в *роды*. Например, род *Homo*, помимо единственного существующего ныне на Земле вида *Homo sapiens*, включает и вымершие виды *Homo habilis* (Человек умелый) и *Homo erectus* (Человек прямоходящий). Группа похожих родов, связанных общим происхождением, составляет *семейство*. Например, человек относится к семейству гоминид, или человекообразных. Далее следует уровень *отряда*. Соответственно отряд — это группа схожих семейств. *Homo sapiens* относится к отряду *Primates* — Приматы наряду с обезьянами, мартишками и лемурами. Похожие отряды, имеющие общее происхождение, объединяются в *классы*, а сходные классы — в еще более крупные категории — *типы*. Человека, как и всех приматов, а также другие отряды относят к классу Млекопитающие (*Mammalia*), который входит в тип Хордовые (*Chordata*). Общим признаком хордовых, как известно, является наличие в организме ближе к спинной стороне тонкого упругого тяжа — *хорды* хотя бы на каком-нибудь этапе развития. Представители класса Млекопитающие на ранних этапах индивидуального развития также имеют хорду, которая в ходе онтогенеза замещается позвоночником.

И наконец, последняя, наивысшая категория — *царство*. В царство объединяют похожие типы, связанные общим происхождением. Все позвоночные типа Хордовые, и, конечно, человек в их числе, относятся к царству *Animalia* — Животные.

Во времена Линнея наивысшим рангом считалось царство живых организмов. Теперь часто употребляют такую систематическую категорию, как *надцарство*. Примером являются надцарства Прокариоты и Эукариоты.

Царства живых организмов. В настоящее время существует несколько систем разделения организмов на царства. Самой простой и наиболее распространенной является система, где все организмы разделены на пять царств. В соответствии с этой системой каждый вид организмов относится к одному из царств: Бактериям, Протистам, Грибам, Растениям или Животным.

Бактерии — одноклеточные, колониальные или многоклеточные авто- или гетеротрофные организмы, клетки которых не имеют оформленного ядра. Клетки бактерий, помимо этого, не имеют в своем составе ограниченных

мембраной органоидов. Бактерии являются прокариотами. Прокариоты, или доядерные, — организмы, не обладающие (в отличие от эукариот) оформленным ядром и внутренними мембранными органоидами.

Протисты — одноклеточные, колониальные или многоклеточные ядерные организмы. В отличие от бактерий, в их клетках содержатся ядро и многочисленные органоиды. По типу питания протисты могут быть как автотрофами, так и гетеротрофами. Гетеротрофные протисты называются *простейшими*. Все они одноклеточные. Автотрофные протисты называются *водорослями*. В их клетках содержатся хлоропласты. Они могут быть одноклеточными, колониальными или многоклеточными. Многоклеточные протисты имеют разнообразную форму: нитей, ветвящихся жгутов, лент, надрезанных пластин. Однако их тело не имеет органов и тканей.

Грибы — исключительно гетеротрофные организмы. Питательные вещества они поглощают всей поверхностью тела. Тело большинства грибов образовано тонкими, нитевидными бесцветными *гифами*, заполненными цитоплазмой. Гифы одних грибов разделены перегородками на клетки, а других — не разделены. Цитоплазма соседних клеток гриба составляет единое целое — в перегородках между клетками есть отверстия. В цитоплазме расположены одно или несколько ядер и органоиды; пластиды отсутствуют. Грибы — неподвижные организмы.

Растения — многоклеточные организмы. Их тело дифференцировано на органы: корень, стебель и листья. Органы образованы разнообразными тканями. Растения — автотрофные организмы. В их клетках имеются хлоропласты, в которых осуществляется фотосинтез. Растения ведут неподвижный образ жизни.

Животные — многоклеточные организмы. Для животных характерны разнообразные органы, объединенные в системы. Все животные — гетеротрофы. Пищу животные заглатывают. Для этого у них имеется мускулистый орган — глотка. У многих животных развились различные приспособления для захвата и удержания пищи.

Активное передвижение — также характерный признак животных. Для этого им служат ноги, крылья, лапы, плавники. У многих животных, в отличие от организмов других царств, имеются органы чувств (зрения, слуха, обоняния, осязания, вкуса), позволяющие им воспринимать информацию из среды обитания и соответственно реагировать на нее.

Протисты, грибы, растения и животные являются *эукариотами*. Их клетки имеют оформленное ядро. В ядре заключены хромосомы, которые содержат наследственную информацию (в виде определенной последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК) и отвечают за передачу наследственной информации от родителей их потомкам. Кроме ядра, в цитоплазме клеток этих организмов содержатся многочисленные органоиды (митохондрии, эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, рибосомы, а в клетках растений и многих протистов еще и пластиды), с помощью которых выполняются разнообразные *проявления процессов жизнедеятельности*.

ГЛАВА 1

Химические компоненты живых организмов

ХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Содержание химических элементов в организме. Макро- и микроэлементы. Каждый организм содержит множество химических элементов, участвующих в различных химических реакциях или являющихся составной частью определенных химических веществ. Одних химических элементов в организме больше, других — меньше. На атомарном уровне различий между органическим и неорганическим миром природы нет: живые организмы состоят из тех же атомов, что и тела неживой природы. Однако соотношение разных химических элементов в живых организмах и земной коре сильно различается. Кроме того, живые организмы могут отличаться от окружающей их среды по изотопному составу химических элементов.

Понятие о макро- и микроэлементах. Химические элементы, содержание которых в живых организмах составляет от десятков процентов до сотых долей процента, называются *макроэлементами*. К этой группе в первую очередь относятся: кислород (O), углерод (C), водород (H) и азот (N). Это так называемые *основные элементы*. Водород и кислород — составные элементы воды. Они наряду с углеродом и азотом являются основными составляющими органических соединений живых организмов.

В состав молекул многих органических веществ входят также сера (S) и фосфор (P).

К данной важной в биологическом отношении группе принадлежат натрий (Na) и калий (K), магний (Mg) и кальций (Ca), а также галоген хлор (Cl), которые присутствуют в организмах в виде ионов.

Элементы, которые содержатся в живых организмах в исключительно малых количествах (менее 0,01 %), составляют группу *микроэлементов*. Функции микроэлементов весьма разнообразны. Многие микроэлементы входят в состав ряда ферментов, витаминов, дыхательных пигментов, некоторые влияют на рост, скорость развития и т. д. К этой группе относятся металлы:

железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu), кобальт (Co) и марганец (Mn). К жизненно важным микроэлементам принадлежат и некоторые неметаллы: йод (I), селен (Se), фтор (F) и др. Содержание железа не превышает 0,01 %. Другие же микроэлементы содержатся в еще меньшем количестве (тысячные или десятитысячные доли процента), поэтому их часто называют следовыми элементами (или ультрамикроэлементами).

Процентное содержание того или иного элемента не характеризует степень важности его в организме. Например, йод, содержание которого в норме в организме человека не превышает 0,0001 %, входит в состав гормонов щитовидной железы тироксина и трийодтиронина. Эти гормоны регулируют обмен веществ, влияют на рост, развитие и дифференцировку тканей, деятельность нервной системы.

Железо и медь необходимы для кроветворения. Железо, медь и цинк участвуют в клеточном дыхании. Магний, железо, медь, марганец, молибден, цинк входят в состав белков. Цинк, медь и марганец оказывают влияние на рост и развитие организмов. Фтор входит в состав костной ткани и эмали зубов.

Более подробно о биологической роли каждого из элементов можно узнать из табл. 1.1.

Таблица 1.1

Биологически важные химические элементы

Элемент	Содержание, %	Значение
Кислород (O)	65—75	Входит в состав молекул воды и органических веществ, обеспечивает реакции окисления, в ходе которых выделяется необходимая организму энергия
Углерод (C)	15—18	Входит в состав молекул всех органических веществ
Водород (H)	8—10	Входит в состав молекул воды и всех органических веществ
Азот (N)	1,5—3	Входит в состав молекул органических веществ, в том числе белков и нуклеиновых кислот, АТФ
Кальций (Ca)	0,04—2	Входит в состав костной ткани, зубной эмали и раковин, участвует в процессах свертывания крови и обеспечивает сократимость мышечных волокон; у растений входит в состав клеточной стенки
Фосфор (P)	0,2—1	Входит в состав костной ткани и зубной эмали, органических веществ (ДНК, РНК, АТФ и др.)
Сера (S)	0,15—0,2	Входит в состав органических веществ (аминокислот и белков)
Калий (K)	0,15—0,4	Один из основных катионов в организме животных: обеспечивает транспорт веществ через клеточные мембраны, регуляцию ритма сердечной деятельности; участвует в процессах фотосинтеза, генерации биоэлектрических потенциалов
Хлор (Cl)	0,05—0,1	Основной анион в организме животных и человека: входит в состав соляной кислоты желудочного сока
Натрий (Na)	0,02—0,03	Один из основных катионов: обеспечивает транспорт веществ через клеточные мембраны, поддерживает нормальный ритм сердечной деятельности, влияет на синтез гормонов
Магний (Mg)	0,02—0,03	Входит в состав хлорофилла, а также ферментов, катализирующих некоторые реакции энергетического и пластического обмена, а также в состав костной ткани и зубной эмали
Железо (Fe)	0,01	Входит в состав многих ферментов, гемоглобина и миоглобина, участвует в биосинтезе хлорофилла, в транспорте электронов, в процессах дыхания и фотосинтеза

Элемент	Содержание, %	Значение
Фтор (F)	0,001	Входит в состав зубной эмали и костной ткани
Йод (J)	0,001	Входит в состав гормонов щитовидной железы
Марганец (Mn)	Менее 0,001	Входит в состав или повышает активность некоторых ферментов; участвует в развитии костей, ассимиляции азота и процессе фотосинтеза
Молибден (Mo)	— —	Входит в состав некоторых ферментов (нитратредуктаза), участвует в процессах связывания атмосферного азота клубеньковыми бактериями
Кобальт (Co)	— —	Входит в состав витамина B ₁₂ , участвует в фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями
Цинк (Zn)	— —	Входит в состав инсулина, некоторых ферментов, расщепляющих полипептиды, участвует в синтезе растительных гормонов (ауксинов) и гликолизе
Селен (Se)	— —	Важнейший антиоксидант
Кремний (Si)*	— —	Участвует в формировании костей и коллагена, входит в состав клеточной оболочки растений
Медь (Cu)	0,0002	Входит в состав гемоцианинов у беспозвоночных, в состав некоторых ферментов; участвует в процессах кроветворения, фотосинтеза, синтеза гемоглобина

Недостаток того или иного макро- или микроэлемента отрицательно сказывается на состоянии организма. Например, из-за недостатка кальция в организме человека на зубной эмали появляются трещинки, зубы становятся хрупкими, слоятся и размягчаются ногти, снижается плотность костей. При недостатке фосфора наступает хроническая усталость, снижение внимания, памяти, мышечные спазмы. Недостаток магния сопровождается раздражительностью, головными болями, перепадами артериального давления, сердцебиением. Дефицит калия вызывает аритмию сердца, сонливость, мышечную слабость, потерю аппетита, тошноту, нарушение мочеиспускания, снижение кровяного давления. Недостаток железа способствует развитию анемии («малокровия»), в результате чего в крови мало кровяных телец и низкое содержание гемоглобина. При недостаточном содержании в организме человека цинка наблюдаются задержка психомоторного развития у детей, облысение, дерматиты, снижение иммунитета, раздражительность, депрессии. Недостаток меди влечет за собой анемию, нарушение пигментации волос и кожи, пониженную температуру тела, психические расстройства. С недостатком хрома связывают повышение сахара в крови, снижение усвоения глюкозы; с недостатком селена — снижение иммунитета, частые простудные инфекции, ухудшение работы сердца; с недостатком молибдена — ухудшение липидного и углеводного обмена веществ.

Источником макро- и микроэлементов являются продукты питания и вода. Следовательно, для полного удовлетворения потребности организма в макро- и микроэлементах необходимо полноценное и разнообразное питание, включающее продукты животного и растительного происхождения, морепродукты. Недостаток в природной воде нашего региона йода и фтора восполняется употреблением фторированной и йодированной поваренной соли.

* Для растений макроэлемент.

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Познакомившись с элементами, присутствующими в живых организмах, обратимся теперь к соединениям, в состав которых эти элементы входят. Больше всего в них содержится воды.

Вода. Среди неорганических соединений живых организмов воде отводится особая роль. Она является основной средой, в которой происходят процессы обмена веществ и энергии. Содержание воды в живых организмах составляет 60—75 % их массы, а у некоторых (например, у медуз) — до 98 %. Вода образует основу внутренней среды организмов (крови, лимфы, тканевой жидкости). Наибольшее содержание воды в организме наблюдается в эмбриональный период (95 %) и с возрастом постепенно уменьшается. Количество воды в разных тканях неодинаково. Так, в сером веществе мозга ее содержание составляет 85 %, в костях — 20 %, в эмали зубов — 10 %. Чем больше в клетках организма воды, тем интенсивнее идет обмен веществ. При потере организмом 20 % воды может наступить смерть. Без воды человек может жить не более пяти — семи дней.

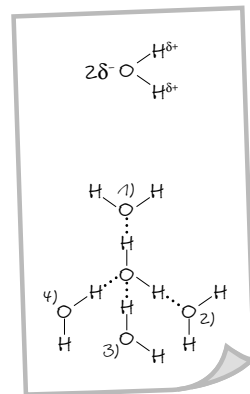
Свойства воды. Как известно, жизнь зародилась в воде и по-прежнему остается тесно с нею связанной. По этой причине физические и химические свойства воды имеют фундаментальное значение для процессов жизнедеятельности. По сравнению с другими жидкостями у воды относительно высокая температура кипения и испарения.

Молекула H_2O состоит из двух атомов водорода, соединенных ковалентными связями с атомом кислорода.

Связи $H - O - H$ расположены под углом друг к другу. Атом кислорода как более электроотрицательный элемент притягивает к себе общие электронные пары от атомов водорода. Атомы водорода приобретают частично положительный заряд, а атом кислорода — частично отрицательный, т. е. молекула является полярной и представляет собой *электрический диполь*. В результате между молекулами воды возникает электростатическое взаимодействие, а, поскольку противоположные заряды притягиваются, молекулы воды склонны «склеиваться». Эти взаимодействия, более слабые, чем обычные ионные связи, называются *водородными связями*. Энергия водородной связи в 10—40 раз меньше энергии ковалентной связи. Каждая молекула воды, подобно маленькому магниту, притягивает к себе за счет образования водородных связей еще четыре молекулы. Благодаря образованию водородных связей молекулы связаны одна с другой, что обуславливает исходное жидкое состояние воды при температурах от 0 до 100 °С и образование твердых кристаллов льда при температуре ниже 0 °С.

Функции воды. Вода определяет объем и внутриклеточное давление (*тургор*) клеток. Она способна формировать водную оболочку вокруг некоторых соединений (например, белков), чем препятствует их слипанию. Такую воду называют *связанной (структурированной)*. Она составляет 4—5 % от общего количества воды в организме. Воду, не связанную с органическими соединениями, называют *свободной*. На долю свободной воды приходится около 96 %. Именно она является универсальным растворителем, лучшим, чем большинство известных жидкостей.

В зависимости от растворимости в воде соединения условно делят на *гидрофильные* (гр. *гидор* — вода, *филиа* — любить), или *полярные*, и *гидрофобные* (гр. *фобос* — страх), или *неполярные*. Гидрофильными веществами являются многие соли, сахара, спирты, кислоты и др. Они характеризуются наличием полярных ковалентных или ионных связей и вследствие этого хорошей растворимостью. Для гидрофобных веществ характерны неполярные



ковалентные связи, поэтому они нерастворимы в воде. Гидрофобны парафин, бензин, керосин и др. Твердые гидрофобные вещества не смачиваются водой.

Вода как *универсальному растворителю* принадлежит чрезвычайно важная роль. Большинство химических реакций в организме происходит только в водных растворах. Вещества проникают в клетку, а продукты жизнедеятельности выводятся из нее в основном в растворенном виде. Вода непосредственно участвует в *реакциях гидролиза*, т. е. расщеплении органических соединений с присоединением к месту разрыва ионов H^+ и OH^- .

Вода является *источником электронов и протонов* в реакциях фотосинтеза. Отщепление от молекул воды электронов приводит к появлению свободного кислорода, являющегося веществом, имеющим планетарное значение.

С водой связана регуляция теплового режима организмов. Ей свойственна высокая *теплоемкость*, т. е. способность поглощать теплоту при незначительных изменениях собственной температуры. Благодаря этому вода предотвращает резкие изменения температуры в клетках и в организме в целом, даже тогда, когда значительно колебание температуры окружающей среды.

При испарении воды организмами (транспирация и потоотделение) тратится много тепла, что защищает их от перегрева.

Благодаря высокой *теплопроводности* вода обеспечивает равномерное распределение тепла между тканями организма (например, через систему кровообращения, циркуляцию жидкости в полостях тела).

Растворенные в воде вещества могут изменять ее свойства, в частности температуру замерзания и кипения, что имеет большое биологическое значение. Так, в клетках морозоустойчивых растений и холоднокровных животных перед наступлением холодного периода года повышается концентрация растворимых белков, углеводов и других соединений, понижающих температуру замерзания воды и перехода ее в кристаллическое состояние, что и предотвращает гибель организмов.

Минеральные соли и кислоты. Для поддержания жизнедеятельности организма в целом и его клеток, кроме воды, велика роль минеральных солей. В живых организмах они находятся либо в растворенном виде (диссоциированы на ионы), либо в твердом состоянии. Наиболее важны среди ионов катионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и анионы HCO_3^- , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , Cl^- , HSO_4^- , SO_4^{2-} .

Общее содержание неорганических веществ в различных клетках варьирует в пределах от одного до нескольких процентов. Их роль в клетке разнообразна. Так, разная концентрация K^+ и Na^+ (больше K^+ и меньше Na^+) и снаружи (больше Na^+ и меньше K^+) приводит к возникновению разности электрических потенциалов на цитоплазматической мембране, что очень важно для передачи нервных импульсов, а также для транспорта веществ через мембрану. При уменьшении этой разности снижается возбудимость клеток.

Регуляторную функцию и активизацию многих ферментов осуществляют ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} . Ионы Ca^{2+} необходимы для осуществления мышечного сокращения, свертываемости крови, они входят в состав костей. Ионы Mg^{2+} входят в состав костей и зубов, активизируют энергетический обмен и синтез АТФ.

Остатки фосфорной кислоты входят в состав нуклеотидов, АТФ; ион Fe^{2+} — в состав гемоглобина, ион Mg^{2+} — в состав хлорофилла и т. д. Ионы NO_3^- , NH_4^+ являясь источником атомов азота для синтеза азотсодержащих органических веществ, ион SO_4^{2-} — атомов серы, которые необходимы для синтеза некоторых аминокислот.

Соединения кальция ($CaCO_3$) входят в состав раковин моллюсков, панцирей ракообразных и других животных. У некоторых протистов (радиолярии) внутриклеточный скелет состоит из диоксида кремния (SiO_2) или сернокислого стронция ($SrSO_4$).

Важные функции в организме выполняют также неорганические кислоты. Так, соляная кислота создает кислую среду в желудке позвоночных животных и человека, обеспечивая тем самым активность ферментов желудочного сока.

Кислотность среды. На протекание биохимических реакций в живых организмах существенное влияние оказывает концентрация ионов водорода (H^+) — *кислотность среды*. В нейтральных растворах эта концентрация составляет 10^{-7} моль/л, в кислых она больше этого значения, в щелочных — меньше. Для характеристики кислотности среды пользуются так называемым *водородным показателем (pH) и шкалой pH*.

Водородный показатель — это отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода: $pH = -\lg [H^+]$. Протяженность шкалы pH от 0 до 14. При pH 7 среда раствора нейтральная: $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$. Чем pH меньше 7, тем больше кислотность раствора, а чем больше 7, тем больше щелочность раствора.

Внутри клеток среда нейтральная или слабощелочная (pH 7,0—7,3); в плазме крови величина pH обычно меняется в пределах 7,35—7,45, что несколько больше, чем в клетках.

В пищеварительном тракте и выделениях организма pH варьирует. Экстремальные величины pH наблюдаются в желудке (около 2) и в тонком кишечнике (более 8). Значительные вариации pH (4,8—7,5) наблюдаются в моче из-за того, что почки могут выделять как катионы, так и анионы.

Понятие о буферных растворах. Организм в целом и его отдельные клетки поддерживают кислотность среды на постоянном уровне благодаря буферным свойствам их содержимого. *Буферным* называется раствор, содержащий смесь какой-либо слабой кислоты и ее растворимой соли. Если концентрация ионов водорода увеличивается, свободные анионы, источником которых является соль, легко соединяются со свободными ионами H^+ и удаляют их из раствора. При снижении кислотности высвобождаются дополнительные ионы водорода. Таким образом в буферном растворе поддерживается относительно постоянная концентрация ионов H^+ . Способность поддерживать слабощелочную реакцию внеклеточной среды обеспечивают ионы HCO_3^- ; нейтральную или слабощелочную реакцию внутриклеточной среды — ионы $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} .

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА. АМИНОКИСЛОТЫ. БЕЛКИ

В состав живых организмов, кроме неорганических, входят разнообразные органические вещества. Органические вещества образованы, прежде всего, четырьмя химическими элементами, называемыми биогенными: углеродом, водородом, кислородом и азотом. В составе белков к этим элементам прибавляется сера, а в нуклеиновых кислотах — фосфор.

Многообразие органических веществ в значительной степени определяется углеродом. Этот элемент благодаря уникальным свойствам составляет химическую основу жизни. Атомы углерода могут образовывать ковалентные связи друг с другом и атомами других химических элементов, образуя цепочки, кольца, составляющие скелет различных по составу, строению, длине и форме органических молекул. Из них в свою очередь образуются сложные химические соединения, различающиеся по строению и функциям. Основная причина разнообразия органических молекул — это не столько

различие составляющих их атомов, сколько разный порядок их размещения в молекулах.

Понятие о биополимерах. В живом организме органические вещества представлены небольшими, с относительно низкой молекулярной массой молекулами либо крупными макромолекулами. К низкомолекулярным соединениям относятся аминокислоты, моносахариды, органические кислоты, спирты, нуклеотиды, витамины и др. Многие из них играют роль «строительных блоков», из которых образуются более крупные молекулы.

Молекулы белков, полисахаридов и нуклеиновых кислот крупные, часто имеют большую молекулярную массу, поэтому их называют **макромолекулами** (гр. *макрос* — большой). Так, относительная молекулярная масса большинства белков составляет от 5000 до 1 000 000. Высокомолекулярные органические соединения — белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, молекулы которых состоят из большого количества одинаковых или разных по химическому строению повторяющихся звеньев, называются **биополимерами** (гр. *биос* — жизнь и *полис* — многочисленный). Простые молекулы, из остатков которых состоят биополимеры, называются **мономерами**. Мономерами белков являются аминокислоты, полисахаридов — моносахариды, нуклеиновых кислот — нуклеотиды. Макромолекулы составляют около 90 % сухой массы клетки.

Особую группу органических веществ составляют **биологически активные вещества**: ферменты, гормоны, витамины и др. Они разнообразны по строению, влияют на обмен веществ и превращение энергии.

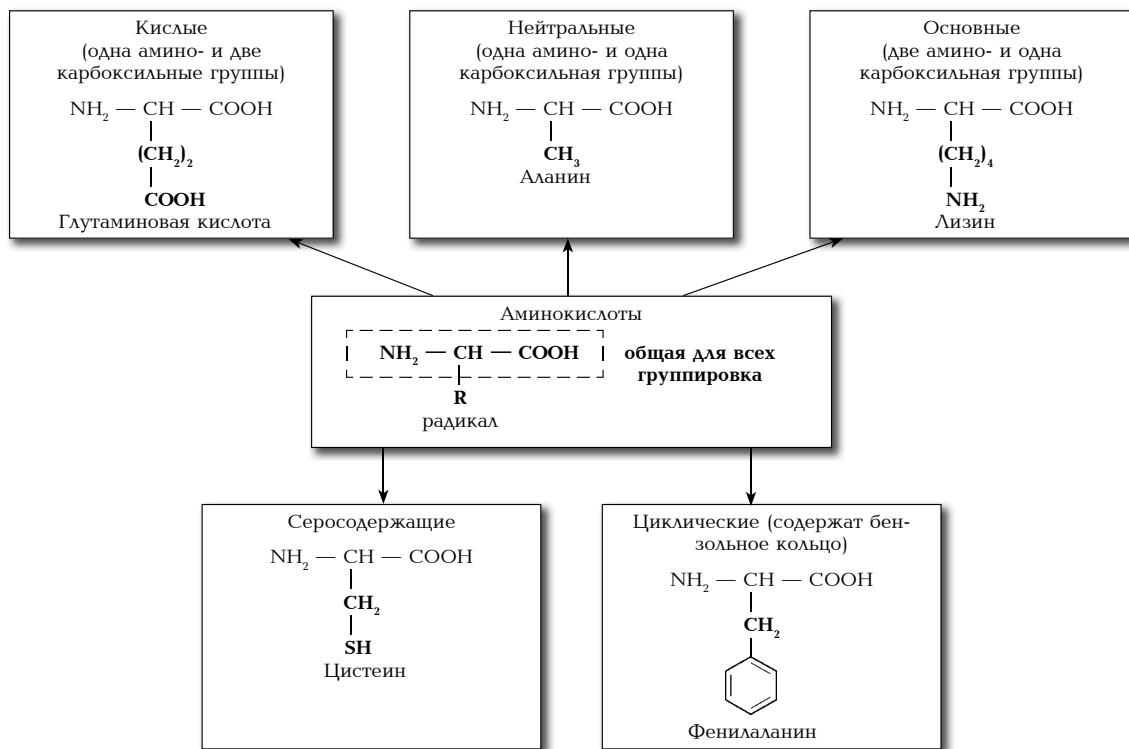
В клетках различных групп организмов содержание определенных органических соединений разное. Например, в клетках животных преобладают белки и жиры, а в клетках растений — углеводы. Однако в различных клетках определенные органические соединения выполняют схожие функции.

Белки

В живых организмах среди макромолекул по своему функциональному значению ведущая роль принадлежит белкам. Белки во многих организмах преобладают и количественно. Так, в организме животных они составляют 40—50 %, в организме растений — 20—35 % от их сухой массы. Белки — это гетерополимеры, мономерами которых являются аминокислоты.

Аминокислоты — «кирпичики» белковых молекул. Аминокислоты — органические соединения, одновременно содержащие аминогруппу ($-\text{NH}_2$), для которой характерны основные свойства, и карбоксильную группу ($-\text{COOH}$) с кислотными свойствами. Амино- и карбоксильная группы белкообразующих аминокислот связаны с одним и тем же атомом углерода (рис. 1.1). По этому признаку все аминокислоты сходны между собой. У большей части аминокислот есть одна карбоксильная группа и одна аминогруппа; эти аминокислоты называются **нейтральными**.

Часть молекулы, называемой **радикалом (R)**, у разных аминокислот имеет различное строение (рис. 1.1). Радикал у разных аминокислот может быть неполярным или полярным (заряженным или незаряженным), гидрофобным или гидрофильным, что и придает белкам определенные свойства. Помимо нейтральных, существуют **основные аминокислоты** — с более чем одной аминогруппой, а также **кислые аминокислоты** — с более чем одной карбоксильной группой. Наличие дополнительной амино- или гидроксильной группы влияет на свойства радикала. Все свойства радикалов аминокислот играют определяющую роль в формировании пространственной структуры белка.



Известно около 200 аминокислот, но в образовании природных белков участвует только 20 видов. Такие аминокислоты называются *белкообразующими* (табл. 1.2; в таблице приведены полное и сокращенное названия аминокислот, не для запоминания).

Растения и фототрофные бактерии могут синтезировать все необходимые им аминокислоты из первичных продуктов фотосинтеза. Человек и животные не способны синтезировать все аминокислоты, поэтому так называемые *незаменимые аминокислоты* они должны получать в готовом виде вместе с пищей.

Рис. 1.1. Разнообразие аминокислот

Таблица 1.2

Основные аминокислоты и их сокращенное обозначение

Название аминокислоты	Символ
Аланин	Ала
Аргинин	Арг
Аспарагин	Асп
Аспарагиновая кислота	Асп
Валин	Вал
Гистидин	Гис
Глицин	Гли
Глутамин	Глн
Глутаминовая кислота	Глу
Изолейцин	Иле

Название аминокислоты	Символ
Лейцин	Лей
Лизин	Лиз
Метионин	Мет
Пролин	Про
Серин	Сер
Тирозин	Тир
Треонин	Тре
Триптофан	Три
Фенилаланин	Фен
Цистеин	Цис

Незаменимыми аминокислотами для человека являются: **лизин, валин, лейцин, изолейцин, треонин, фенилаланин, триптофан и метионин**; для детей незаменимыми являются также **аргинин и гистидин**. Белки, содержащие все незаменимые аминокислоты, называются *полноценными*, в отличие от *неполноценных*, в которых отсутствуют те или иные незаменимые аминокислоты.

Наличие в одной аминокислоте аминогруппы, проявляющей основные свойства, и карбоксильной группы обуславливает их амфотерность и высокую реактивность. Аминогруппа ($-\text{NH}_2$) одной аминокислоты способна взаимодействовать с карбоксильной группой ($-\text{COOH}$) другой аминокислоты. Образующаяся при этом молекула представляет собой *dipeptid* (рис. 1.2); связь между атомами углерода и азота называется *пептидной*. На одном конце молекулы дипептида находится свободная аминогруппа, а на другом — карбоксильная группа. Благодаря этому дипептид может присоединять к себе другие аминокислоты, образуя *oligopeptidy*. Если таким образом соединяется много аминокислот (более десяти), то образуется длинная цепь — *polipeptid*.

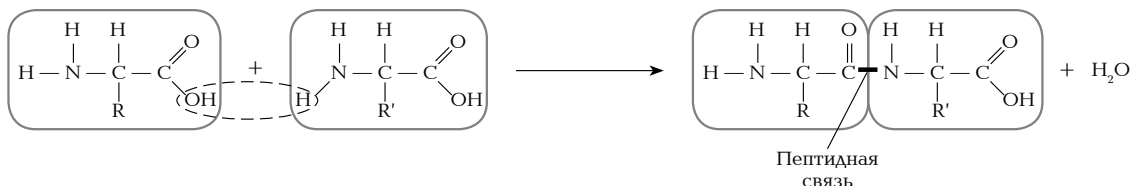


Рис. 1.2. Схема образования *dipeptida*

Пептиды играют важную роль в организме. Многие олиго- и полипептиды являются гормонами, антибиотиками, токсинами.

К олигопептидам относятся, например, гормоны окситоцин и вазопрессин, а также брадикинин (пептид боли) и некоторые опиаты («естественные наркотики» человека), выполняющие функцию обезболивания. Регулярное употребление наркотиков разрушает опиатную систему организма, поэтому наркоман без дозы наркотиков испытывает сильную боль — «ломку».

К олигопептидам относятся некоторые антибиотики, например грамицидин S.

Полипептидами являются некоторые гормоны (инсулин, адренокортикотропный гормон и др.), антибиотики (грамицидин A), токсины (дифтерийный токсин).

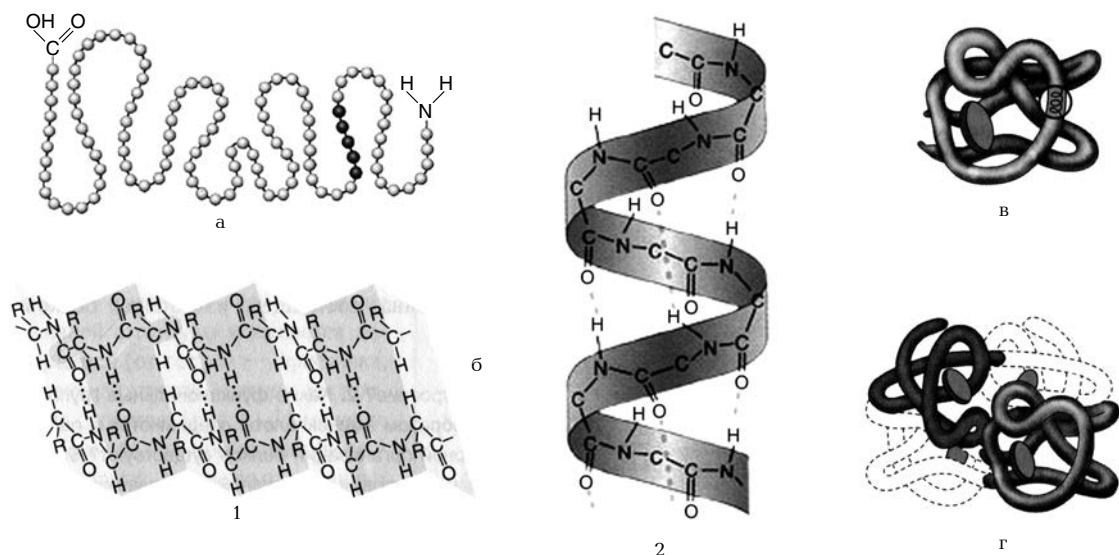
Полипептидные цепи бывают очень длинными и включают самые различные комбинации аминокислот. Полипептиды, в молекулу которых входит от 50 до нескольких тысяч аминокислотных остатков с молекулярной массой свыше 6000, называются *белками*.

Каждый конкретный белок характеризуется строго постоянным составом и последовательностью аминокислотных остатков.

Уровни организации белковой молекулы. Молекулы белков могут принимать различные пространственные формы — *конформации*, которые представляют собой четыре уровня их организации (рис. 1.3).

Цепочка из множества аминокислотных остатков, соединенных пептидными связями, представляет собой *первичную структуру* белковой молекулы. Это наиболее важная структура, так как она определяет форму белковой молекулы, ее свойства и функции. На основе первичной структуры создаются другие виды структур. Именно первичная структура закодирована в молекуле ДНК. Каждый индивидуальный белок организма имеет уникальную

первичную структуру. Все молекулы конкретного индивидуального белка, например альбумина, имеют одинаковое чередование аминокислотных остатков, отличающее альбумин от любого другого индивидуального белка. Многообразие первичной структуры определяется составом, количеством и порядком следования аминокислотных остатков в полипептидной цепи.



Вторичная структура белков возникает в результате образования водородных связей между атомом водорода NH-групп и атомом кислорода CO-групп аминокислотных остатков соседних витков полипептидной цепи. Полипептидная цепь при этом закручивается в *спираль*. Хотя водородные связи слабые, но, благодаря их значительному количеству, они обеспечивают стабильность данной структуры. Полностью спиральную конфигурацию имеют молекулы белка кератина. Это структурный белок волос, шерсти, когтей, перьев и рогов; он входит в состав межклеточного вещества наружного слоя кожи позвоночных. Помимо кератина спиральная вторичная структура характерна для фибриллярных (нитевидных) белков, таких как миозин, коллаген и др.

Вторичная структура белка, помимо спирали, может быть представлена *складчатым слоем*. В складчатом слое несколько полипептидных цепей (или участков одной полипептидной цепи) лежат параллельно и образуют плоскую конфигурацию, сложенную наподобие гармошки. Вторичную структуру в форме складчатого слоя имеет, например, белок фиброин, составляющий основную массу шелкового волокна, выделяемого шелкоотделительными железами гусеницы шелкопряда при плетении коконов.

Третичная структура создается S—S-связями («дисульфидными мостиками») между остатками цистеина (аминокислота, содержащая серу), а также водородными, ионными, гидрофильно-гидрофобными и другими взаимодействиями. Она определяет специфичность белковых молекул, их биологическую активность. Третичную структуру имеют такие белки, как миоглобин (белок, находящийся в мышцах; участвует в создании запасов кислорода), белки-ферменты (как, например, трипсин — фермент, расщепляющий белки в кишечнике).

Рис. 1.3. Уровни организации белковой молекулы: а — первичная структура; б — вторичная структура; в — третичная структура; г — четвертичная структура; 1 — складчатый слой; 2 — α -спираль



В некоторых случаях несколько белковых молекул, находящихся в третичной структуре, объединяются в единый комплекс, образуя *четвертичную структуру*. В ней белковые субъединицы не связаны ковалентно, а прочность обеспечивается взаимодействием слабых межмолекулярных сил. Например, четвертичная структура характерна для гемоглобина, состоящего из четырех белковых субъединиц и небелковой части — гема.

Классификация белков. По форме молекул белки можно разделить на две большие группы — глобулярные (имеют сферическую форму) и фибриллярные (удлиненной формы). Глобулярными белками являются, например, глобулины и альбумины крови, фибриноген, гемоглобин. Фибриллярные белки — кератин, коллаген, миозин и др.

Белки, образованные только аминокислотами, называются *простыми*. Сложными являются белки, имеющие в своем составе компонент неаминокислотной природы. Это могут быть ионы металлов (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}), липиды, нуклеотиды, сахара и др. К простым белкам относятся сывороточный альбумин крови, фибрин, некоторые ферменты (трипсин) и др., к сложным — липопroteины и гликопротеины (например, иммуноглобулины), а также большинство ферментов.

Свойства белков. Одно из основных свойств белков — способность изменять свою пространственную структуру под влиянием различных факторов (действие концентрированных кислот и щелочей, высокая температура и др.). Процесс нарушения природной конформации белков под влиянием каких-либо факторов без нарушения первичной структуры называется *денатурацией* (лат. *ge* — приставка, означающая потерю, и *натура* — природные свойства) (рис. 1.4). Изменение структуры белка происходит вследствие разрыва водородных и ионных связей, стабилизирующих пространственную структуру. При денатурации могут утрачиваться четвертичная, третичная и даже вторичная структуры. Денатурация сопровождается потерей биологической активности белка. При этом наблюдаются уменьшение растворимости белка, изменение формы и размеров молекул, потеря ферментативной активности и т. п. Денатурирующими агентами являются высокая температура, кислоты и щелочи, мочевины, спирты, фенол, хлорамин, соли тяжелых металлов и др. Так, соли тяжелых металлов (кадмия, ртути и др.), взаимодействуя с белками, образуют нерастворимые соединения, в результате чего белки выпадают в осадок.

Как правило, денатурация имеет необратимый характер, хотя на первых ее стадиях, если действие повреждающих факторов прекращается, белок может восстановить свое первоначальное состояние. Это явление называется *ренатурацией* (лат. *re* — приставка, обозначающая возобновление). В организмах обычно наблюдается частичная обратимая денатурация белков.

Способность белков к обратимому изменению своей структуры в ответ на действие физических и химических факторов лежит в основе важнейшего свойства всех живых систем — *раздражимости*.

Явление денатурации часто используется в биологических исследованиях и в медицине. При определении в биологическом материале низкомолекулярных соединений из раствора сначала удаляют белки. Для этого вызывают их денатурацию, осаждают или отфильтровывают.

В медицине денатурирующие агенты часто применяются для стерилизации медицинских инструментов и материалов в автоклавах (здесь денатурирующий агент — высокая температура). Их используют также в качестве антисептиков (спирт, фенол, хлорамин и др.) для очистки загрязненных материалов и поверхностей. То же происходит при обеззараживании ран, ссадин, царапин раствором йода или спиртом.

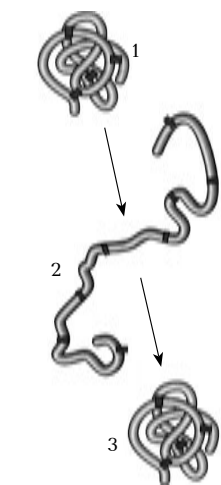


Рис. 1.4. Денатурация и ренатурация белков (■ — дисульфидные связи): 1 — молекула белка до денатурации; 2 — денатурированный белок; 3 — восстановление исходной молекулы белка

Под влиянием некоторых факторов (воздействие формалина, спирта, щелочей и др.) может происходить разрушение первичной структуры. Процесс разрушения первичной структуры белков, называемый *деструкцией* (лат. *de* — приставка, означающая потерю, и *структура* — строение), всегда необратим.

Функции белков. Большое разнообразие белков в живом организме позволяет им выполнять множество различных функций, как структурных, так и метаболических.

1. *Структурная.* Белки входят в состав всех биологических мембран и органоидов клетки. Из белков построены элементы цитоскелета, сократительные элементы мышечных волокон. Преимущественно из белков состоят хрящи, сухожилия. *Кератин* — компонент перьев, волос, ногтей, когтей, рогов, копыт у животных. *Эластин* является компонентом связок, стенок кровеносных сосудов.

2. *Каталитическая (ферментативная).* Многие белки являются ферментами — биологическими катализаторами. Ферменты способны ускорять течение биохимических реакций в клетках живых организмов в сотни миллионов раз. Они участвуют в процессах как синтеза, так и распада веществ, обеспечивают расщепление питательных веществ в пищеварительном тракте, фиксацию углерода при фотосинтезе и т. п.

Механизм действия ферментов объясняет *теория активного центра*, согласно которой в молекуле каждого фермента существует один или более участков, в которых происходит тесный контакт между молекулами фермента и специфического вещества — субстрата (рис. 1.5). Активным центром выступает функциональная группа (например, ОН-группа серина), отдельная аминокислота либо сочетание нескольких (в среднем от 3 до 12) аминокислотных остатков, расположенных в определенном порядке. Форма и химическое строение активного центра таковы, что с ним могут связываться только определенные субстраты в силу точного соответствия друг другу пространственных структур (как ключ и замок).

Молекула фермента вызывает ослабление определенных химических связей субстрата, и катализируемая реакция происходит с меньшими начальными затратами энергии, а следовательно, с намного большей скоростью. Ферменты ускоряют ход реакции без изменения ее общего результата за счет снижения *энергии активации*, т. е. в их присутствии затрачивается значительно меньше энергии для придания молекулам реакционной способности.

На заключительном этапе химической реакции фермент-субстратный комплекс распадается с образованием конечных продуктов и свободного фермента, который сохраняет исходную структуру и свойства. Освободившийся при этом активный центр может принимать следующие новые молекулы субстрата. Именно поэтому ферменты требуются в крайне низкой концентрации.

Некоторые ферменты, помимо активного центра, имеют один или несколько регуляторных центров. С этими участками могут связываться молекулы, регулирующие активность фермента, называемые *активаторами* (лат. *активус* — деятельностный).

Молекулы некоторых веществ, взаимодействуя с ферментом, снижают или блокируют его активность (рис. 1.6). Такие вещества называются *ингибиторами* (лат. *ингибео* — сдерживаю, останавливаю). Например, многие лекарственные препараты природного или синтетического происхождения являются ингибиторами определенных ферментов. Кроме того, в основе действия некоторых токсических веществ лежит ингибирование активного центра ферментов. Так, например, ингибиторами белков-рецепторов постсинаптической мембраны, которые связываются с медиатором ацетилхолином

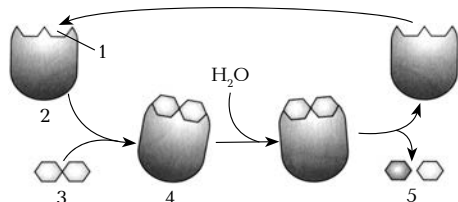


Рис. 1.5. Схема работы фермента: 1 — активный центр; 2 — фермент (сахараза); 3 — субстрат (молекула сахарозы); 4 — фермент-субстратный комплекс; 5 — продукты реакции: глюкоза, фруктоза

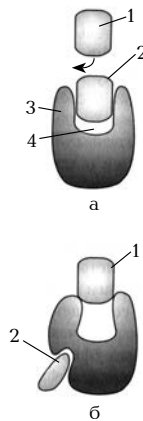


Рис. 1.6. Схема ингибирования фермента (а — конкурентное ингибирование; б — неконкурентное ингибирование): 1 — субстрат; 2 — ингибитор; 3 — фермент; 4 — активный центр

при передаче нервного импульса в синапсах, являются *мускарин* (токсин мукора) и *никотин*. При этом нарушается проведение нервного импульса. Подобное действие оказывает также *атропин* — вещество, содержащееся в растениях красавки и белены.

3. *Транспортная*. Многие белки способны присоединять и переносить различные вещества. *Гемоглобин* связывает и переносит кислород и углекислый газ. *Альбумины* крови транспортируют жирные кислоты, *глобулины* — ионы металлов и гормоны. Молекулы белков, входящие в состав цитоплазматической мембраны, принимают участие в транспорте веществ в клетку и из нее.

4. *Сократительная* (или *двигательная*). Сократительные белки обеспечивают способность клеток, тканей, органов и целых организмов изменять форму, двигаться. Так, *актин* и *миозин* — обеспечивают работу мышц и мышечные внутриклеточные сокращения. Белок *тубулин* входит в состав микротрубочек веретена деления, ресничек и жгутиков эукариотических клеток.

5. *Регуляторная*. Некоторые пептиды и белки являются гормонами. Они влияют на различные физиологические процессы. Например, *инсулин* регулирует содержание глюкозы в крови, *глюкагон* — расщепление гликогена до глюкозы, повышая ее содержание в крови.

6. *Сигнальная*. Некоторые белки клеточных мембран способны изменять свою структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача информации в клетку. Примером может служить *фитохром* — светочувствительный белок, регулирующий фотопериодическую реакцию растений, и *опсин* — составная часть пигментов светочувствительных клеток сетчатки глаза родопсина и иодопсина.

7. *Защитная*. Специфические белки предохраняют организм от вторжения чужеродных организмов и от повреждений. Так, в ответ на проникновение чужеродных тел — антигенов — в клетке вырабатываются *антитела* — особые белки, называемые иммуноглобулинами, которые обеспечивают иммунитет. *Интерфероны* защищают организм от вирусной инфекции. *Фибриноген*, *тромбопластин* и *тромбин* участвуют в свертывании крови и предотвращении кровопотери.

8. *Токсическая*. Многие живые существа в качестве собственной защиты выделяют белки, называемые *токсинами*, которые в большинстве случаев являются ядами. Токсины синтезируются в организме некоторых видов змей, лягушек, насекомых, грибов, растений, бактерий. В свою очередь организмы других видов способны вырабатывать *антитоксины*, подавляющие действие этих ядов.

9. *Энергетическая*. Белки могут служить источником энергии в клетках. При полном окислении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии. Белки расходуются на энергетические нужды в крайних случаях, когда исчерпаны запасы углеводов и жиров.

Углеводы

Углеводы, или сахараиды, — это органические соединения, образованные атомами углерода, водорода и кислорода. У большинства углеводов водород и кислород содержатся в таком же соотношении, как и в воде, отсюда и название — углеводы. Состав углеводов можно выразить формулой $C_n(H_2O)_m$ (n и m равняются трем и более). Вместе с тем есть углеводы, у которых соотношение указанных в формуле атомов химических элементов иное. Кроме того, некоторые из углеводов содержат атомы азота, фосфора и серы.

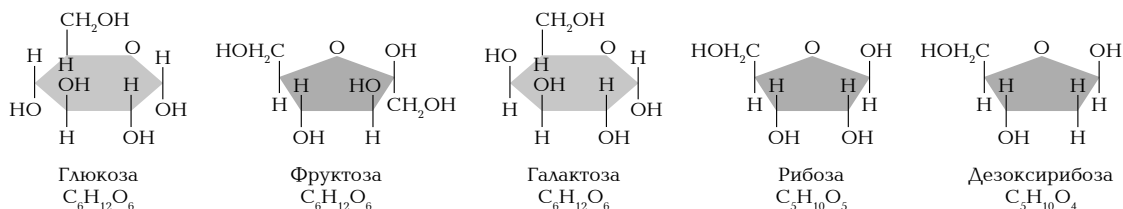


Рис. 1.7. Моносахариды

Углеводы входят в состав всех живых организмов. В животной клетке содержание углеводов не превышает 10 % (иногда 5 %), в растительной их значительно больше — до 90 % от сухой массы (клубни картофеля, семена).

Выделяют три класса углеводов: 1) моносахариды, или простые сахара; 2) олигосахариды; 3) полисахариды.

Моносахариды (гр. *монос* — единственный и *сахар*) — простые углеводы, содержащие гидроксильные и альдегидную (альдозы) или кетонную (кетозы) группы. По числу входящих в их молекулы атомов углерода различают триозы (C_3), тетразы (C_4), пентозы (C_5), гексозы (C_6), гептозы (C_7).

Моносахариды, выделенные из живых организмов, представляют собой бесцветные, кристаллические вещества, легко растворимые в воде и имеющие сладкий вкус.

Наибольшее значение в живых организмах имеют пентозы — *рибоза* и *дезоксирибоза*, и гексозы — *глюкоза*, *фруктоза*, *галактоза* (рис. 1.7).

Рибоза входит в состав важнейших соединений клетки — РНК, АТФ, витаминов группы В, ряда ферментов. Дезоксирибоза входит в состав ДНК.

Глюкоза (виноградный сахар) содержится в клетках всех организмов. Она является мономером таких полисахаридов, как крахмал, гликоген, целлюлоза. Молекулы глюкозы являются главным энергетическим источником в клетках. Фруктоза в свободном виде содержится в вакуолях клеток растений. Ее особенно много в ягодах, фруктах, меде. Молекулы фруктозы входят в состав олигосахаридов, например сахарозы. Галактоза содержится в некоторых олигосахаридах, например лактозы.

В химическом отношении молекулы моносахаридов представляют собой либо альдегидспирты, либо кетоспирты (рис. 1.8). Это означает, что в их молекуле содержатся гидроксильные группы и альдегидная либо кетонная группа. При растворении в воде моносахариды, начиная с пентоз, приобретают циклическую структуру (см. рис. 1.8). Циклические структуры пентоз и гексоз — их обычные формы. В любой момент лишь небольшая часть молекул существует в виде «открытой цепи».

Моносахариды, находящиеся в циклической структуре, могут существовать в виде двух изоформ: α и β . Биологическое значение циклических структур определяется тем, что при ее образовании возникает еще один асимметрический атом углерода (на рисунке отмечен звездочкой). К нему присоединена гидроксильная ($—OH$)-группа. Эта группа может располагаться либо под плоскостью цикла, либо над ней, как это показано на рисунке. Первая форма представляет собой α -изомер, вторая — β -изомер. Существование α - и β -изомеров обеспечивает большое химическое разнообразие и играет важную роль в образовании полисахаридов, например крахмала и целлюлозы.

Олигосахариды (греч. *олигос* — немного) — соединения, состоящие из 2—10 молекул простых сахаров, последовательно соединенных ковалентной связью.

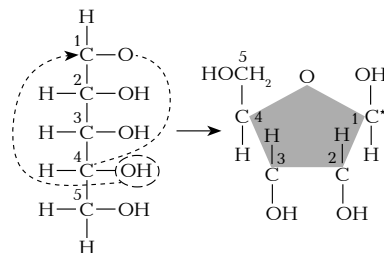
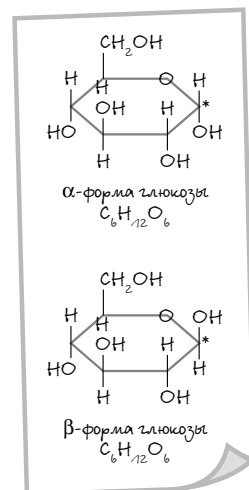


Рис. 1.8. Образование циклической формы рибозы



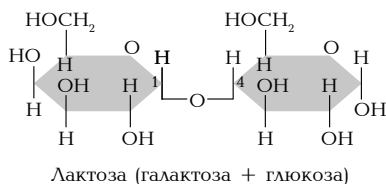
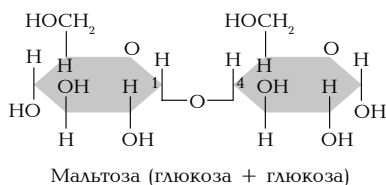
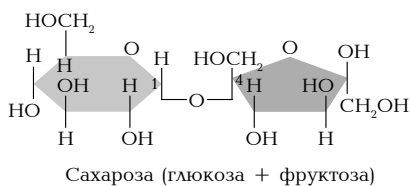


Рис. 1.9. Дисахариды

Связь между двумя моносахаридами называется гликозидной. Обычно она образуется между 1-м и 4-м углеродными атомами соседних моносахаридных единиц (1,4-гликозидная связь). Этот процесс может повторяться бесчисленное число раз, в результате чего и возникают гигантские молекулы полисахаридов. Моносахаридные единицы, соединенные друг с другом, называются остатками.

Если в одной молекуле объединяются два моносахарида, такое соединение называют *дисахаридом*. Наиболее важными дисахаридами являются *сахароза* (тростниковый или свекловичный сахар), *мальтоза* (солодовый сахар), *лактоза* (молочный сахар) (рис. 1.9). В растениях сахароза служит растворимым резервным углеводом, лактоза — важнейшим углеводным компонентом молока млекопитающих.

Полисахариды (гр. *полис* — много) — биополимеры, состоящие из неопределенно большого (до нескольких сотен или тысяч) числа остатков молекул моносахаридов. Полисахариды могут состоять из моносахаридов одного или разных типов. В первом случае они называются *гомополисахаридами* (крахмал, целлюлоза, хитин), во втором — *гетерополисахаридами* (гепарин, гемицеллюлозы).

Полисахариды могут иметь линейную, неразветвленную структуру (целлюлоза, хитин) либо разветвленную (крахмал, гликоген). В отличие от моно- и олигосахаридов, полисахариды практически нерастворимы в воде и не имеют сладкого вкуса.

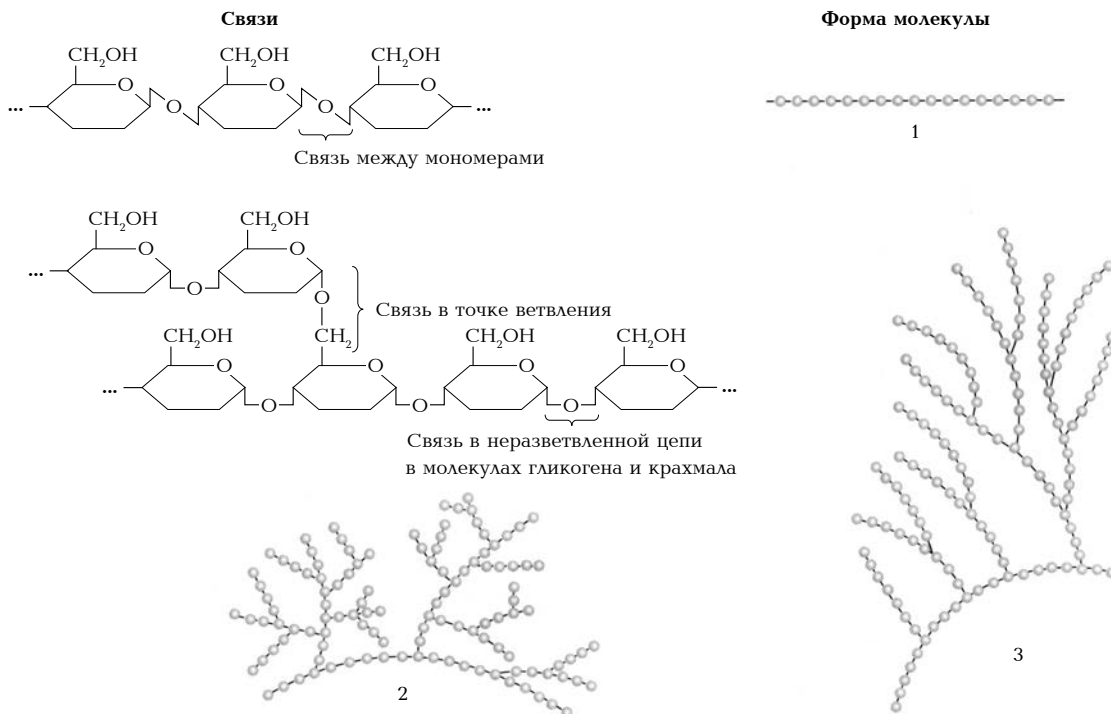
Полисахариды различаются между собой составом мономеров, длиной и степенью разветвления цепей (рис. 1.10).

Крахмал синтезируется в клетках растений и состоит из остатков глюкозы. Молекулы крахмала интенсивно ветвятся за счет образования 1,6-гликозидных связей (рис. 1.10). В значительных количествах крахмал запасается в семенах, клубнях и других органах. Особенно высоко содержание крахмала в зерновках хлебных злаков (до 75 % от сухой массы), клубнях картофеля (около 65 %). Крахмал откладывается в клетках в виде так называемых крахмальных зерен.

У грибов, животных и человека резервным полисахаридом является *гликоген*. Как и крахмал, гликоген построен из остатков глюкозы, но его цепи ветвятся еще сильнее. Он откладывается в основном в мышцах и клетках печени в виде крошечных гранул.

В оболочках клеток растений содержится *целлюлоза* — прочный, волокнистый, нерастворимый в воде полисахарид. Древесина, кора, хлопок состоят в основном из целлюлозы. Целлюлоза представляет собой неразветвленный полимер β-глюкозы (рис. 1.10).

Помимо того, что целлюлоза является одним из структурных компонентов клеточных оболочек, она служит пищей для грибов, растительноядных животных, большинства бактерий. Фермент целлюлаза, расщепляющий целлюлозу до глюкозы, вырабатывается только некоторыми группами организмов (бактерии, грибы, некоторые протисты). В силу этого многие животные, в том числе и человек, не могут использовать целлюлозу в качестве питательного вещества, хотя она представляет практически неисчерпаемый и потенциально ценный источник глюкозы. Однако у травоядных животных в пищеварительном тракте обитают симбиотические бактерии и протисты, которые выделяют фермент целлюлазу, расщепляющий целлюлозу. Огромно промышленное значение целлюлозы. Из нее изготавливают хлопчатобумажные ткани, бумагу.



Хитин входит в состав клеточных оболочек грибов и грибоподобных протистов, а также кутикулы членистоногих и некоторых образований беспозвоночных животных.

По своей структуре и функции хитин близок к целлюлозе. Это тоже структурный полисахарид. Строение хитина идентично строению целлюлозы за одним исключением: при втором атоме углерода в молекулах глюкозы гидроксильная ($-\text{OH}$)-группа замещена группой $-\text{NHCOCH}_3$. Такое производное целлюлозы называется N-ацетилглюкозамин. Хитин является полимером N-ацетилглюкозамина.

Сложную структуру имеет линейный гетерополимер *пептидогликан* (*муреин*), который входит в состав клеточной оболочки бактерий. В нем чередуются остатки двух различных шестиуглеродных моносахаридов — N-ацетилглюкозамина и N-ацетилмуравовой кислоты. В оболочке бактерий отдельные цепи пептидогликана связаны между собой короткими пептидными цепочками, в результате чего образуется сплошная сеть (см. с. 54).

Углеводы в комплексе с белками образуют гликопротеины, а с липидами — гликолипиды.

Функции углеводов. В живых организмах углеводы выполняют две основные функции — энергетическую и строительную.

Энергетическая функция углеводов состоит в том, что они легко окисляются с выделением энергии. При полном окислении 1 г углеводов освобождается 17,6 кДж энергии. Конечные продукты окисления углеводов — CO_2 и H_2O .

Значительная роль углеводов в энергетическом балансе живых организмов связана с их способностью окисляться как при наличии кислорода, так и без него. Это имеет чрезвычайно важное значение для организмов, живущих

Рис. 1.10. Полисахариды:
1 — целлюлоза; 2 — гликоген; 3 — крахмал

в условиях дефицита кислорода (например, червей, паразитирующих в кишечнике животных и человека). Резервом глюкозы в клетках организмов являются полисахариды (крахмал и гликоген).

Строительная, или структурная, функция углеводов заключается в том, что они входят в состав опорных элементов клеток. Как уже отмечалось, хитин является компонентом внешнего скелета членистоногих и клеточных оболочек некоторых грибов и водорослей. Целлюлоза является основным компонентом оболочки клеток растений.

Некоторые олигосахариды входят в состав цитоплазматической мембраны клетки и образуют надмембранный комплекс — гликокаликс. Углеводные компоненты цитоплазматической мембраны выполняют *рецепторную функцию*; они воспринимают сигналы из окружающей среды и передают их в клетку.

Метаболическая функция состоит в том, что моносахариды составляют основу для синтеза многих органических веществ в клетках организмов — полисахаридов, нуклеотидов, спиртов, аминокислот и др.

Полисахариды выполняют *запасующую функцию*, являясь запасными питательными веществами всех организмов. Они играют роль важнейших поставщиков энергии. Запасным питательным веществом у растений, как вы уже знаете, является крахмал, у животных и грибов — гликоген. В корнях и клубнях некоторых растений, например у георгин, запасается инулин (полимер фруктозы).

Углеводы выполняют также *защитную функцию*. Так, камеди (смолы, выделяющиеся при повреждении стволов и веток растений, например вишен, слив) являются производными моносахаридов. Они препятствуют проникновению в раны болезнетворных микроорганизмов. Твердые клеточные оболочки протистов и хитиновые покровы членистоногих, в состав которых входит хитин, также выполняют защитную функцию.

Липиды

Липиды (гр. *липос* — жир) — обширная группа жиров и жироподобных веществ, которые содержатся во всех клетках организмов. Большинство из них неполярны и, следовательно, гидрофобны. Они практически нерастворимы в воде, но хорошо растворимы в органических растворителях (бензин, хлороформ, эфир и др.).

В некоторых клетках липидов очень мало, всего несколько процентов (от 5 до 15 % от сухой массы). В клетках жировой ткани их содержание достигает 90 %. Повышенное содержание жиров характерно для нервной ткани, подкожной клетчатки, молока млекопитающих животных и человека. Много жиров содержится в семенах и плодах некоторых растений (подсолнечник, грецкие орехи, маслины и др.).

По химическому строению липиды весьма разнообразны. Рассмотрим важнейшие из них.

Нейтральные жиры — наиболее простые и широко распространенные липиды. Их молекулы образуются в результате присоединения трех остатков высших карбоновых кислот к одной молекуле трехатомного спирта глицерина (рис. 1.11).

Атомы углерода в молекулах высших карбоновых кислот могут быть соединены друг с другом как простыми, так и двойными связями. В первом случае такие кислоты называются *предельными*, или *насыщенными*; во втором — *непредельными*, или *ненасыщенными*. Наиболее часто в состав жиров входят пальмитиновая, стеариновая, арахидоновая кислоты (предельные) и олеиновая, линолевая, линоленовая (непредельные).

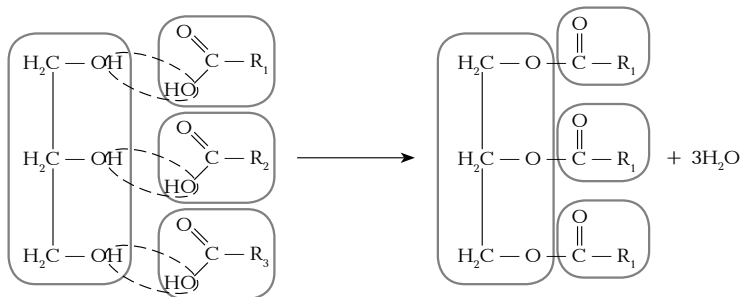


Рис. 1.11. Образование молекулы жира из глицерина и трех высших карбоновых кислот (R_1 , R_2 , R_3 могут быть одинаковыми, но чаще — разными)

Степень ненасыщенности и длина цепей высших карбоновых кислот (т. е. число атомов углерода) определяют физические свойства того или иного жира.

Жиры с короткими ненасыщенными кислотными цепями имеют низкую температуру плавления. При комнатной температуре они имеют жидкую (масла) либо мазеподобную (жиры) консистенцию. Жиры с длинными насыщенными кислотными цепями, наоборот, при комнатной температуре представляют собой твердые вещества. В организме животных, обитающих в холодном климате (например, у рыб арктических морей), в отличие от обитателей южных широт обычно выше содержание ненасыщенных кислот. По этой причине их тело остается гибким и при низких температурах (рыбий жир жидкий).

Фосфолипиды по своей структуре сходны с жирами, но в их молекуле вместо одного или двух остатков высших карбоновых кислот содержатся остатки фосфорной кислоты. Фосфолипиды являются основным компонентом клеточных мембран.

Фосфолипиды — соединения, имеющие полярную (так называемую полярную головку) и неполярную (хвосты) части. Группы, образующие полярную головку, гидрофильны (растворимы в воде), а неполярные хвостовые группы гидрофобны (нерастворимы в воде) (рис. 1.12). Такая природа фосфолипидов обуславливает их ключевую роль в организации биологических мембран.

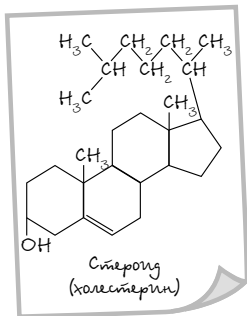
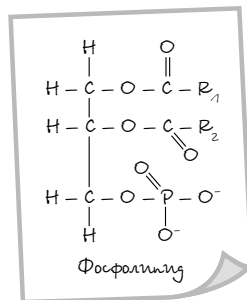
К липидам относятся также *воски*, выполняющие в основном защитную функцию.

У млекопитающих животных воски выделяются сальными железами кожи; смазывают кожу и волосы, делая их эластичными и уменьшая снашиваемость волосяного покрова. У птиц воски, секретируемые копчиковой железой, придают перьям водоотталкивающие свойства. Восковой слой покрывает листья наземных растений (восковая кутикула) и поверхностный слой хитинизированной кутикулы наземных членистоногих, предохраняя их от излишнего испарения воды.

Воски — сложные эфиры одноатомных (с одной спиртовой группой) высокомолекулярных (имеющих длинный углеводный скелет) спиртов и высших карбоновых кислот. У животных воски входят в состав липидных фракций мозга, лимфатических узлов, селезенки, желчных путей. Образующий пчелами воск используется в строительстве сотов.

Еще одну группу липидов составляют **стероиды**. Они плохо растворимы в воде и не содержат высших карбоновых кислот. Наиболее важными стероидами являются **стерины** (например, холестерин), **желчные кислоты** (важные компоненты желчи) и **стероидные гормоны** (половые гормоны, гормоны коры надпочечников).

Нарушение обмена холестерина способствует развитию атеросклероза. Это заболевание связано с отложением холестерина на стенках кровеносных



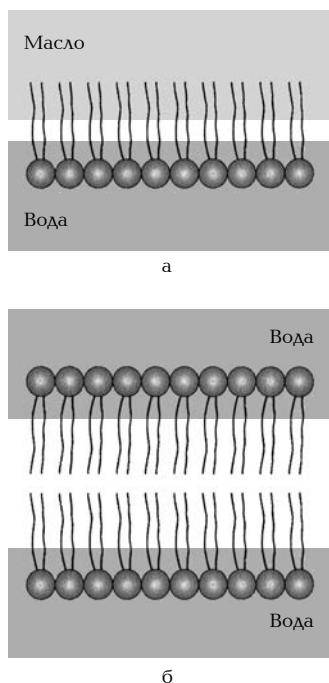


Рис. 1.12. Ориентация молекул фосфолипидов на границе вода — масло (а) и в воде (б)

сосудов из-за его повышенного уровня в крови. Для предупреждения атеросклероза важно, чтобы в пищевом рационе преобладали продукты растительного происхождения, для которых характерно низкое содержание холестерина. Избыток холестерина приводит также к образованию желчных камней.

К стеринам близки **терпены** (ростовые вещества растений — гиббереллины; фитол, входящий в состав хлорофилла; каротиноиды — фотосинтетические пигменты; эфирные масла растений — ментол, камфора и др.).

Липиды способны образовывать сложные соединения с веществами других классов, например с белками — липопротеины и с углеводами — гликолипиды.

Функции липидов. Одна из основных функций липидов — энергетическая. При полном окислении 1 г жиров до углекислого газа и воды выделяется 38,9 кДж энергии, т. е. вдвое больше по сравнению с полным расщеплением такого же количества углеводов. Это дает возможность животным, впадающим в спячку, расходовать накопленные летом и осенью жиры на поддержание процессов жизнедеятельности в зимний период.

Высокое содержание липидов в семенах обеспечивает энергией развитие зародыша и проростка, пока он не перейдет к самостоятельному питанию. Семена многих растений (кокосовая пальма, клещевина, подсолнечник, соя, рапс и др.) служат сырьем для получения растительного масла промышленным способом.

Кроме того, при окислении 1 г жиров образуется 1,1 г воды, поэтому благодаря запасам жира некоторые животные могут длительное время обходиться без нее. Например, верблюды в пустыне выдерживают без воды 10—12 суток, медведи и другие животные во время зимней спячки — более двух месяцев. Необходимую для жизнедеятельности воду эти животные получают именно в результате окисления запасенных жиров.

Важной функцией липидов является *строительная*, так как нерастворимость в воде делает жиры важнейшими компонентами клеточных мембран (фосфолипиды, холестерин, липопротеины, гликолипиды).

Защитная функция липидов заключается в том, что они предохраняют внутренние органы от механических повреждений (например, почки человека покрыты жировым слоем, защищающим их от сотрясения при ходьбе и прыжках). Накапливаясь в подкожной жировой клетчатке некоторых животных (китов, тюленей и др.), жиры выполняют *теплоизоляционную функцию*. Так, у синего кита слой жира в подкожной клетчатке может превышать 50 см.

Суть *регуляторной функции* состоит в том, что многие производные липидов (например, гормоны коры надпочечников, половых желез, витаминов А, D, E, К) участвуют в регуляции жизненных функций организмов, например обмен веществ у позвоночных животных и человека, процесс линьки у насекомых и др.

Нуклеиновые кислоты

Все живые существа обладают свойством сохранять наследственную информацию и передавать ее потомкам при размножении. Эту способность организмы реализуют благодаря наличию в их клетках нуклеиновых кислот.

Нуклеиновые кислоты — сложные высокомолекулярные фосфорсодержащие биополимеры, мономерами которых являются *нуклеотиды*. Впервые

нуклеиновые кислоты были обнаружены и выделены из ядер лейкоцитов человека и сперматозоидов лосося, откуда и произошло их название (лат. нуклеус — ядро). Впоследствии нуклеиновые кислоты были обнаружены во всех растительных и животных клетках, грибах, протистах, бактериях и вирусах.

В клетках живых организмов присутствует два вида нуклеиновых кислот: ДНК (дезоксирибонуклеиновая) и РНК (рибонуклеиновая), различающихся по составу, строению и функциям.

Нуклеиновые кислоты — самые крупные из молекул, образуемых в клетках живых организмов. Их молекулярная масса может достигать нескольких миллионов углеродных единиц.

Строение нуклеотидов. Каждый нуклеотид состоит из пятиуглеродного сахара (рибозы или дезоксирибозы), остатка фосфорной кислоты и азотистого основания (рис. 1.13). Азотистые основания, входящие в состав нуклеотидов, делятся на две группы: производные пурина (пуриновые) и производные пиримидина (пиримидиновые). В молекуле нуклеотида азотистое основание присоединено к первому атому углерода молекулы пентозы, фосфат — к пятому.

Название нуклеотидов происходит от названия соответствующих азотистых оснований, так как нуклеотиды различаются только ими. Они обозначаются заглавными буквами: А — **аденин** — адениловый нуклеотид; Г — **гуанин** — гуаниловый нуклеотид; У — **урацил** — уридиловый нуклеотид; Т — **тимин** — тимидиловый нуклеотид; Ц — **цитозин** — цитидиловый нуклеотид.

Образование полинуклеотидов. Остаток фосфорной кислоты, связанный с пятым атомом углерода в пентозе, может соединиться ковалентной связью (фосфодиэфирной) с гидроксильной группой, расположенной при третьем атоме углерода пентозы соседнего нуклеотида. К динуклеотиду может присоединиться следующий нуклеотид и т. п. В результате образуется длинная цепочка связанных ковалентными связями нуклеотидов — *полинуклеотид*.

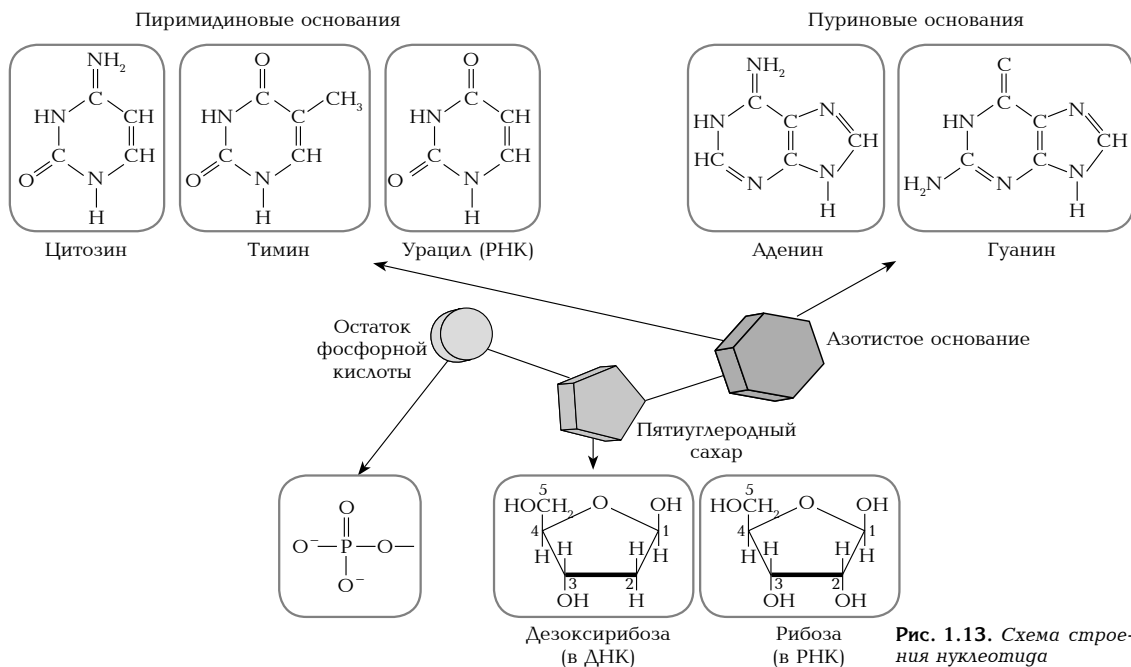
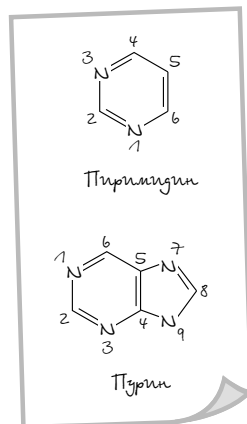
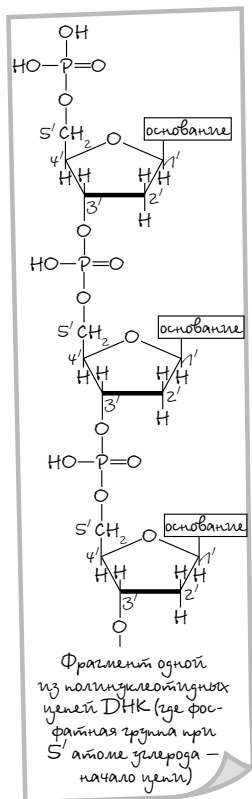


Рис. 1.13. Схема строения нуклеотида



Обратите внимание, что концы цепочки нуклеотидов, связанных в полинуклеотидную цепочку, разные. На одном конце расположен связанный с пятым атомом пентозы остаток фосфорной кислоты, и этот конец называется 5'-концом (читается: пять-штрих). На другом конце остается свободная ОН-группа около третьего атома углерода пентозы (3'-конец).

Полинуклеотиды, построенные из соответствующих нуклеотидных звеньев, называются нуклеиновыми кислотами. Количество нуклеотидов в молекулах нуклеиновых кислот бывает разным — от 80 в молекулах транспортных РНК до нескольких сотен миллионов в ДНК.

Нуклеиновым кислотам, как и белкам, присуща *первичная структура* — определенная последовательность размещения нуклеотидов, а также вторичная и третичная структуры, формирующиеся за счет водородных связей, электростатических и других взаимодействий.

Строение и структура ДНК. Молекулы ДНК построены из четырех типов нуклеотидов: аденилового (А), гуанилового (Г), тимидилового (Т) и цитидилового (Ц). В состав нуклеотидов, образующих ДНК, входит пятиуглеродный сахар — дезоксирибоза.

Расшифровка структуры ДНК имеет свою предысторию. В 1950 г. американский ученый Эрвин Чаргафф и его коллеги, исследуя состав молекулы ДНК, установили следующие закономерности: 1) количество адениновых остатков в молекуле ДНК равно количеству тиминовых ($A = T$), а количество гуаниновых — количеству цитозиновых ($G = C$); 2) количество пуриновых азотистых оснований равно количеству пиримидиновых ($A + G = T + C$); 3) суммарное количество адениновых и цитозиновых оснований равно суммарному количеству тиминовых и гуаниновых ($A + C = T + G$).

Это открытие способствовало установлению пространственной структуры ДНК и определению ее роли в передаче наследственной информации от одного поколения другому.

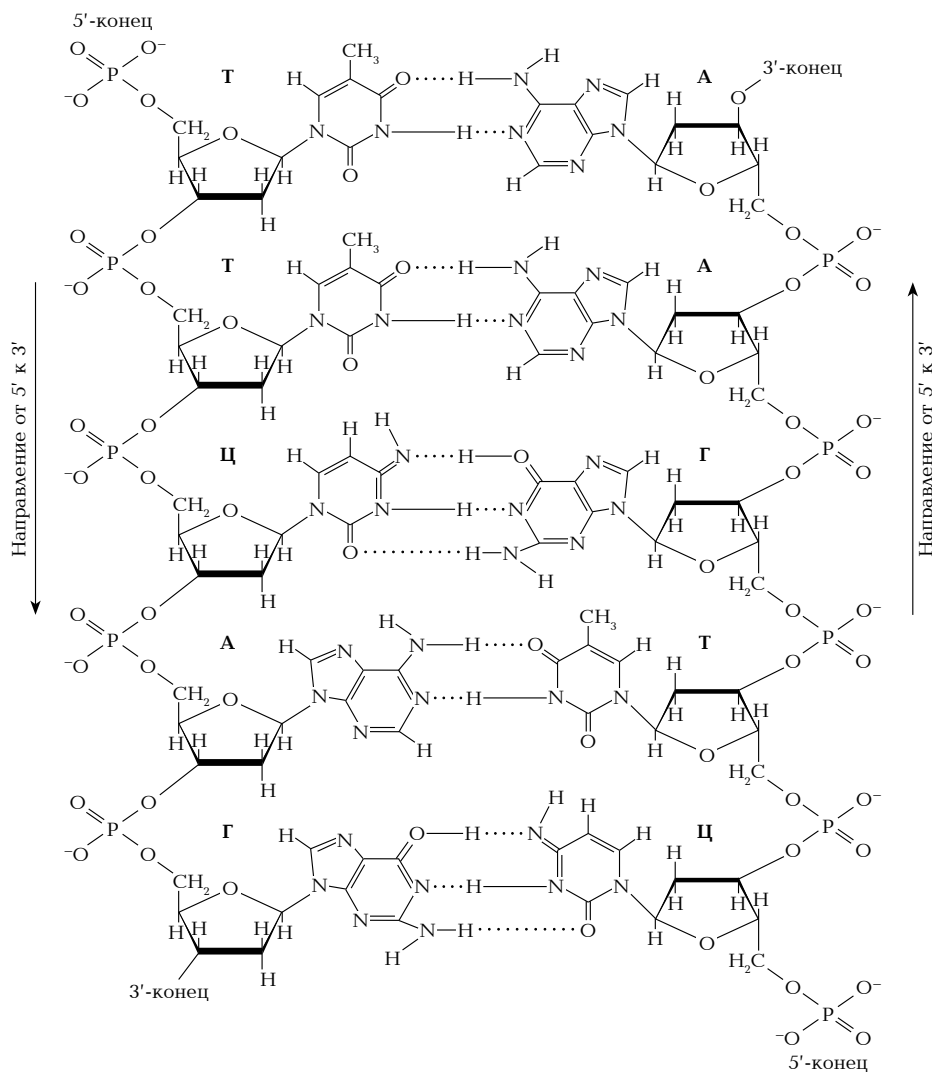
В 1953 г. американский биохимик Джеймс Уотсон и английский биофизик Френсис Крик предложили модель пространственной структуры ДНК.

Молекула ДНК состоит из двух полинуклеотидных цепей, соединенных между собой водородными связями (рис. 1.14). Эти связи возникают между парами нуклеотидов (А—Т) и (Г—Ц), которые как бы дополняют друг друга. Это явление называется *комплементарностью* (лат. *комплементум* — дополнение). Установлено, что между аденином и тиминном возникают две водородные связи, а между гуанином и цитозином — три.

Две комплементарные цепи в молекуле ДНК *антипараллельны*. Это означает, что если для одной цепи мы выбираем направление от 3' к 5' ($3' \rightarrow 5'$), то вторая, комплементарная ей цепь, будет ориентирована противоположно первой ($5' \rightarrow 3'$), иначе говоря, «голова» одной цепи соединяется с «хвостом» другой и наоборот.

Согласно предложенной модели, две нуклеотидные цепи ДНК обвивают одна другую, создавая закрученную вправо спираль, напоминающую винтовую лестницу (*вторичная структура ДНК*). Один виток спирали включает 10 пар нуклеотидов. Диаметр такой спирали составляет около 2 нм, а длина одного витка — 3,4 нм. В спиральной молекуле двухцепочечной ДНК азотистые основания находятся внутри спирали.

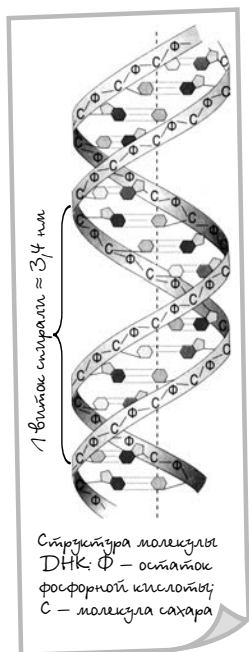
В определенных условиях (действие кислот, щелочей, нагревание и т. п.) происходит процесс *денатурации* ДНК, т. е. разрыв водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями полинуклеотидных цепей. При этом ДНК полностью или частично распадается на отдельные цепи, из-за чего она теряет свою биологическую активность. После прекращения действия указанных факторов денатурированная ДНК может восстанавливать свою структуру благодаря образованию водородных связей между комплементарными нуклеотидами (процесс *ренатурации* ДНК).



Молекула ДНК способна формировать структуры высших порядков (третичную и др.), приобретая при этом вид компактного образования. Например, длина ДНК наибольшей хромосомы человека равна приблизительно 8 см, но она уложена так, что помещается в хромосоме длиной около 5 мкм. Это возможно благодаря пространственной компактизации ДНК, которая в конечном итоге формирует трехмерную структуру — *суперспираль*. Такая сверхкомпактизация характерна для ДНК хромосом эукариот и обусловлена в основном взаимодействием ДНК с ядерными белками. У большинства прокариот, некоторых вирусов, а также в митохондриях и хлоропластах эукариот ДНК имеет кольцевую структуру.

Функции ДНК. К функциям ДНК относятся хранение и реализация генетической информации, а также передача наследственной информации

Рис. 1.14. Схема образования водородных связей



потомкам. В ДНК любой клетки закодирована информация обо всех белках данного организма.

РНК. Строение молекул РНК во многом сходно со строением молекул ДНК, однако есть и ряд существенных различий. Молекулы РНК, как и ДНК, построены из четырех типов нуклеотидов, но в состав нуклеотидов РНК вместо дезоксирибозы входит рибоза. Кроме того, в числе нуклеотидов молекулы РНК есть урацил (У), вместо тимина (Т). Молекула РНК представляет собой одну цепь.

Нуклеотиды РНК способны образовывать между собой водородные связи (например, в молекулах тРНК, рРНК); в этом случае речь идет о внутрицепочечном взаимодействии комплементарных нуклеотидов.

Полинуклеотидные цепочки РНК значительно короче полинуклеотидных цепочек, образующих ДНК.

Виды РНК. В клетке существует несколько видов РНК, которые различаются по величине молекул, структуре и функциям.

Информационная, или матричная, РНК (иРНК) наиболее разнородна по размерам и структуре. Молекулы иРНК синтезируются на определенных участках одной из цепей молекулы ДНК и передают информацию о структуре белка из ядра клеток к рибосомам, где эта информация реализуется. Молекулы иРНК служат в качестве матриц для синтеза белков. Содержание иРНК составляет 3—5 % всей клеточной РНК.

Рибосомная РНК (рРНК) в комплексе с белками образует рибосомы — органоиды, на которых происходит синтез белка. Информация о структуре рРНК закодирована в определенных участках ДНК, называемых ядрышковыми организаторами (в этой области в ядре возникает ядрышко). Рибосомные РНК составляют 80 % всей РНК клетки, поскольку в клетке имеется огромное количество рибосом.

Транспортная РНК (тРНК) составляет около 15 % всех клеточных РНК. Молекула тРНК состоит в среднем из 80 нуклеотидов. Число различных типов тРНК в клетке невелико (20—60). Все они имеют сходную пространственную организацию. Благодаря внутрицепочечным водородным связям молекула тРНК приобретает характерную вторичную структуру, называемую *клеверным листом*. Функция тРНК — транспорт аминокислот к месту синтеза белка и участие в самом синтезе белка.

Таким образом, функции РНК в клетке связаны с процессами биосинтеза белка.

АТФ. Нуклеотиды являются структурной основой для синтеза целого ряда важных для жизнедеятельности органических веществ. Наиболее широко распространены макроэргические соединения (вещества, богатые энергией, заключенной в так называемых макроэргических связях). К таким веществам в первую очередь относится *адеозинтрифосфорная кислота* (АТФ). АТФ — универсальный хранитель и переносчик энергии в клетках всех организмов. Большинство биохимических процессов в клетках живых организмов протекают с использованием энергии АТФ. Благодаря энергии АТФ в клетках синтезируются новые молекулы аминокислот, нуклеотидов, белков, углеводов, жиров и других веществ, осуществляется активный транспорт веществ, биение жгутиков и ресничек, поддерживается постоянная температура тела теплокровных животных и т. п.

Молекула АТФ состоит из азотистого основания *аденина*, пятиуглеродного сахара *рибозы* и трех остатков *фосфорной кислоты*. Фосфатные группы в молекуле АТФ соединены между собой высокоэнергетическими (макроэргическими) связями (в формуле обозначены символом ~) (рис. 1.15).

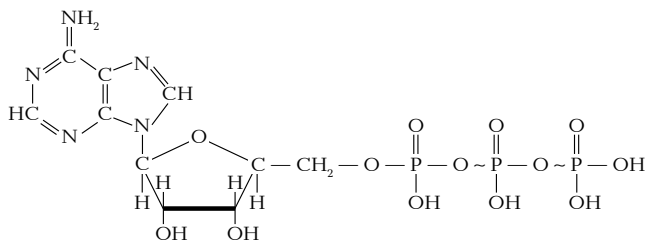
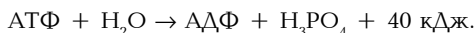
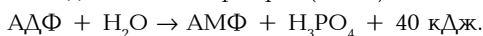


Рис. 1.15. Структура АТФ

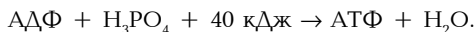
Связи между фосфатными группами не очень прочные, и при их разрыве выделяется большое количество энергии. В результате гидролитического отщепления от АТФ фосфатной группы образуется **аденозиндифосфорная кислота** (АДФ) и высвобождается порция энергии:



АДФ может подвергаться дальнейшему гидролизу с отщеплением еще одной фосфатной группы и выделением второй порции энергии. При этом АДФ преобразуется в аденозинмонофосфат (АМФ):



Обратный процесс — синтез АТФ — происходит в результате присоединения к молекуле АДФ остатка фосфорной кислоты (реакция *фосфорилирования*). Этот процесс осуществляется за счет энергии, освобождающейся при окислении органических веществ (*окислительное фосфорилирование*). Для образования 1 моль АТФ должно быть затрачено не менее 40 кДж энергии, которая аккумулируется в ее макроэргических связях:



АТФ чрезвычайно быстро обновляется. У человека, например, средняя продолжительность жизни молекулы АТФ составляет менее 1 мин; каждая молекула расщепляется и вновь восстанавливается 2400 раз в сутки. Синтез АТФ осуществляется главным образом в митохондриях и хлоропластах, частично в цитоплазме.

Макроэргические соединения могут образовываться и на основе других нуклеотидов. Например, гуанозинтрифосфат (ГТФ) играет важную роль в ряде биохимических процессов. Однако АТФ является наиболее распространенным и универсальным источником энергии в клетках живых организмов.

Биологически активные вещества

Особой группой органических соединений живых организмов являются **биологически активные вещества**. Одни из них регулируют процессы обмена веществ, роста и развития организмов, другие служат для защиты, третьи способны оказывать определенное влияние на поведение и физиологическое состояние организмов и т. д.

Одной из групп биологически активных веществ являются **витамины**. *Витамины* — это низкомолекулярные органические вещества разнообразного строения, необходимые для жизнедеятельности всех живых организмов. Они принимают участие в обмене веществ и превращении энергии, преимущественно как компоненты сложных ферментов.

Традиционно витамины обозначают буквами латинского алфавита *A, B, C, D* и т. д., но у каждого из них есть и названия. Например, витамин *C* — аскорбиновая кислота, витамин *A* — ретинол и т. д.



Одни витамины растворяются в жирах, и их называют *жирорастворимыми* (A, D, E, K), другие — в воде и соответственно называются *водорастворимыми* (C, B, PP, H).

Сейчас известно около 50 различных витаминов и витаминоподобных веществ. Основным источником витаминов для человека и животных являются продукты питания преимущественно растительного происхождения. Однако некоторые витамины содержатся только в продуктах животного происхождения (например, витамины A и D). Некоторые витамины могут в небольшом количестве синтезироваться в организме человека и животных из предшественников (провитаминов). Например, в коже человека под действием ультрафиолетового солнечного излучения образуется витамин D. Витамины в организме человека и животных могут синтезировать симбиотические микроорганизмы. Например, в кишечнике человека они синтезируют витамины K, B₆, B₁₂. Однако образованных в организме человека витаминов недостаточно для обеспечения его нормальной жизнедеятельности, поэтому необходимо их поступление извне, с пищей.

При недостатке в организме витаминов развивается *гиповитаминоз* (гр. *гипо* — под, ниже), при полном их отсутствии — *авитаминоз*, а при избытке — *гипервитаминоз* (гр. *гипер* — сверх). Гипо- и авитаминоз могут возникнуть и вследствие нарушения обмена веществ, когда организм не воспринимает некоторые витамины.

Гормоны (гр. *хормоо* — двигаю, побуждаю) — органические вещества, способные включаться в цикл биохимических реакций и регулировать обмен веществ и преобразование энергии. Они вырабатываются железами внутренней секреции человека, позвоночных и некоторых беспозвоночных животных.

Гормоны могут быть *белковой природы* (гормон роста — соматотропин, образующийся в клетках гипофиза, гормоны поджелудочной железы — инсулин и глюкагон и др.), *производными аминокислот* (гормон щитовидной железы — тироксин, гормоны надпочечников — норадреналин и адреналин и др.), *стероидной природы* (половые гормоны, коры надпочечников и др.).

К характерным особенностям гормонов относятся:

- 1) высокая биологическая активность. Даже незначительные концентрации гормонов оказывают влияние на клетки, ткани и органы;
- 2) высокая специфичность. Гормоны влияют только на определенные процессы в определенных тканях и органах. Они действуют только на те клетки (так называемые клетки-мишени), которые имеют особые рецепторы, способные их распознавать;
- 3) дистанционность действия. Гормоны с током крови могут переноситься на значительные расстояния от места их образования к клеткам-мишеням.

Под контролем гормонов происходят все этапы индивидуального развития человека и животных, а также все процессы жизнедеятельности. Они обеспечивают приспособления к изменениям условий внешней и внутренней среды организма, участвуют в регуляции активности ферментов.

Если определенные гормоны в организме вырабатываются в недостаточном количестве или не вырабатываются вообще, наблюдаются нарушения развития и обмена веществ разной степени тяжести. Отрицательно на организме сказывается и чрезмерное образование определенных гормонов. Так, при недостаточном образовании в организме человека гормона роста развивается карликовость, а при чрезмерном — гигантизм.

У растений синтезируются *фитогормоны* (гр. *фитон* — растение и *хормоо*). Как и гормоны животных, они регулируют и координируют индивидуальное развитие и рост растений.

Фитогормоны влияют практически на все процессы развития растений: деление и рост клеток, дифференцировку тканей, формирование органов, развитие почек, прорастание семян и т. п. Одни из фитогормонов стимулируют эти процессы, другие, наоборот, угнетают. Например, *ауксин* активизирует деление и растяжение клеток, способствует формированию корневой системы. *Цитокинины*, которых больше всего в семенах, плодах и образовательной ткани, стимулируют деление клеток. *Гиббереллины* усиливают рост органов растений.

Фитогормонам, как и гормонам животных, свойственна дистанционность действия, однако их специфичность выражена слабее: различные фитогормоны при определенных условиях и концентрациях проявляют сходное действие.

Еще один вид биологически активных веществ — *феромоны* (гр. *феро* — несу и *хормао* — возбуждаю). Феромоны, как и гормоны, представляют собой сигнальные молекулы. Однако если гормоны переносят информацию внутри организма, то феромоны выделяются во внешнюю среду и передают химические сигналы от одного организма к другому. Они влияют на поведение и физиологическое состояние особей своего вида. Феромоны служат животным для нахождения полового партнера, обозначения своей территории или защиты от врагов. Феромоны — чаще всего летучие вещества, которые, как и гормоны, действуют в малых концентрациях. Химическая коммуникация с помощью феромонов наблюдается у бактерий, протистов и животных.

Алкалоиды — это органические азотсодержащие циклические биологически активные вещества в основном растительного происхождения. Большинство алкалоидов ядовиты для животных и человека, а некоторые из них оказывают наркотическое действие (никотин, морфин и др.). Алкалоиды обнаружены приблизительно у 2500 видов покрытосеменных растений. Значение алкалоидов в жизни растений, по-видимому, заключается в защите от поедания животными. Некоторые алкалоиды в малых дозах используются в медицине в качестве лекарств (атропин, морфин, кофеин и др.). Алкалоид хинин применяют при лечении малярии: он угнетает жизнедеятельность малярийного плазмодия в эритроцитах человека.

Особая группа биологически активных веществ — *антибиотики* (гр. *анти* — против и *биос* — жизнь) — биологически активные вещества, вырабатываемые микроорганизмами. Эти соединения влияют на клетки других микроорганизмов, тормозя их развитие или убивая их.

Человек широко использует антибиотики для лечения заболеваний, вызванных болезнетворными бактериями или грибами. Некоторые антибиотики тормозят рост злокачественных опухолей, угнетая размножение раковых клеток.

С помощью биологически активных соединений организмы оказывают влияние на организмы своего и других видов. Так, насекомые с помощью различных биологически активных веществ способны привлекать особей противоположного пола или отпугивать врагов, растения могут угнетать рост других растений. Взаимовлияние различных видов растений человек должен учитывать, высеивая их на одном участке и в севооборотах.

ГЛАВА 2

Клетка — структурная и функциональная единица живых организмов

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ КЛЕТКИ

Все живые организмы состоят из клеток. Одни являются одноклеточными (многие бактерии и протисты), другие — многоклеточными.

Клетка — элементарная структурная и функциональная единица организма, обладающая всеми основными признаками живого. Клетки способны размножаться, расти, обмениваться веществом и энергией с окружающей средой, реагировать на изменения, происходящие в этой среде. В каждой клетке содержится наследственный материал, в котором заключена информация обо всех признаках и свойствах данного организма. Для того чтобы понять, как существует и работает живой организм, необходимо знать, как организованы и функционируют клетки. Многие процессы, присущие организму в целом, протекают в каждой его клетке (например, синтез органических веществ, дыхание и др.).

Изучением строения клетки и принципов ее жизнедеятельности занимается *цитология* (гр. *китос* — ячейка, клетка и *логос* — учение, наука).

Большинство клеток имеют малые размеры, поэтому их нельзя рассмотреть невооруженным глазом. Сегодня известно, что диаметр большинства клеток находится в диапазоне 20—100 мкм, а у шаровидных бактерий не превышает 1,5 мкм. Открытие клетки стало возможным только после изобретения увеличительного прибора — микроскопа. Это произошло в конце XVI — начале XVII в. Однако только спустя полвека англичанин Р. Гук в 1665 г. применил микроскоп для исследования живых организмов. Р. Гук срезал тонкий слой пробки и увидел ее ячеистое строение, подобное пчелиным сотам. Эти ячейки Р. Гук назвал клетками. Вскоре клеточное строение растений подтвердили итальянский врач и микроскопист М. Мальпиги и английский ботаник Н. Грю. Их внимание привлекли форма клеток и строение их оболочек. В результате было дано представление о клетках как о «мешочках», или «пузырьках», наполненных «питательным соком».

Значительный вклад в изучение клетки внес голландский микроскопист А. ван Левенгук, открывший одноклеточные организмы — инфузории, амёбы, бактерии. Он также впервые наблюдал клетки животных — эритроциты и сперматозоиды.

В начале XIX в. предпринимаются попытки изучения внутреннего содержимого клетки. В 1825 г. чешский ученый Я. Пуркине открыл ядро в яйцеклетке птиц. В 1831 г. английский ботаник Р. Броун впервые описал ядро в клетках растений, а в 1833 г. он пришел к выводу, что ядро является обязательной частью растительной клетки. В 1839 г. Я. Пуркине ввел понятие «протоплазма» (гр. *протос* — первый и *плазма* — вылепленный, оформленный) для обозначения живого содержимого клетки. Таким образом, в это время меняется представление о строении клеток: главным в организации клетки стали считать не клеточную стенку, а ее внутреннее содержимое.

Клеточная теория

В 1838 г. была опубликована работа немецкого ботаника М. Шлейдена, в которой он высказал идею о том, что клетка является основной структурной единицей растений. Основываясь на результатах М. Шлейдена, немецкий зоолог и физиолог Т. Шванн в 1839 г. в книге «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений» рассматривал клетку как универсальный структурный компонент животных и растений. Т. Шванн сделал ряд обобщений, которые впоследствии назвали *клеточной теорией*. Основные положения этой теории:

- все живые существа состоят из клеток;
- клетки растений и животных имеют сходное строение.

Т. Шванн, как и М. Шлейден, ошибочно полагал, что клетки в организме возникают из неклеточного вещества, поэтому важным дополнением к клеточной теории стало положение Р. Вирхова: «Каждая клетка — от клетки» (1858).

В 1872 г. профессор Дерптского университета (ныне Тартуский университет, Эстония) Э. Руссов, а в 1874 г. молодой русский ботаник И. Д. Чистяков впервые наблюдали деление клетки. Позднее немецкий ученый В. Флеминг детально описал стадии деления клетки, а О. Гертвиг и Э. Страсбургер независимо друг от друга пришли к выводу, что информация о наследственных признаках клетки заключена в ядре. Так, работами многих исследователей была подтверждена и дополнена клеточная теория, основу которой заложил Т. Шванн.

В настоящее время *основные положения клеточной теории* формулируются следующим образом.

- 1) Клетка — элементарная структурная и функциональная единица живых организмов, обладает признаками и свойствами живого.
- 2) Клетки всех организмов сходны по строению, химическому составу и основным проявлениям жизнедеятельности.
- 3) Клетки образуются путем деления предшествующей материнской клетки.
- 4) Клетки способны к самостоятельной жизнедеятельности, но в многоклеточных организмах их работа скоординирована и организм представляет собой целостную систему тканей, органов и систем.

Клеточная теория — одно из важнейших обобщений биологии. Ее создание стало важнейшим событием в естествознании. Клеточная теория оказала значительное влияние на развитие биологии и послужила фундаментом для дальнейшего развития многих биологических дисциплин — эмбриологии, гистологии, физиологии и др.

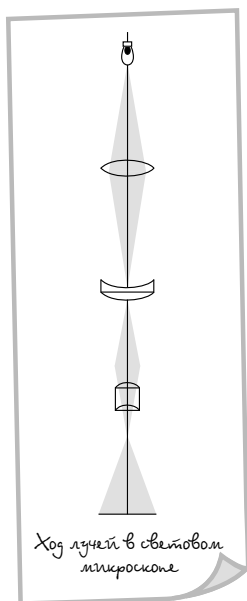
Основные положения клеточной теории сохранили свое значение и сегодня, хотя более чем за 160 лет были получены новые сведения о структуре и жизнедеятельности клеток.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛЕТКИ



Для изучения строения и жизнедеятельности клеток применяют самые разнообразные методы. Первым таким методом была *световая микроскопия*, основанная на том, что через прозрачный или полупрозрачный объект исследования проходят лучи света, попадающие затем в систему линз объектива и окуляра. Эти линзы увеличивают объект исследований. С помощью световых микроскопов были открыты клетка и основные элементы ее строения (пластиды, митохондрии, оболочка, вакуоли, комплекс Гольджи, клеточный центр). Однако некоторые клеточные структуры или детали строения невозможно было рассмотреть из-за их прозрачности. Для изучения таких структур, усиления контрастности изображения были разработаны специальные *методы фиксации и окрашивания*, позволяющие получить препараты, на которых хорошо видны окрашенные структуры клетки.

Световые микроскопы широко применяются и в настоящее время, однако с их помощью невозможно изучать объекты, размер которых меньше половины длины световой волны. Длина световых волн видимой части спектра света составляет 400—700 нм, поэтому в световой микроскоп можно различать частицы, которые имеют размеры не менее 200—350 нм. Поскольку световая волна не может быть отражена очень маленьким предметом, она просто обогнет его, поэтому у физиков возникла идея использовать вместо луча света пучок электронов, длина волны которых значительно меньше длины волны света. Электроны способны отражаться от мельчайших объектов. Так, в начале 30-х гг. XX в. был создан *электронный микроскоп*, который дал биологам возможность увидеть составные части клеток размером всего 0,1 нм. В электронном микроскопе видны биологические мембраны (толщина 6—10 нм), рибосомы (диаметр около 20 нм) и другие структуры клетки.



Для выделения и изучения отдельных органоидов клетки используется *метод дифференциального центрифугирования* (рис. 2.1). Для этого клетки разрушают до гомогенной (однородной) массы, которую переносят в пробирки с раствором сахарозы или хлорида цезия и подвергают центрифугированию. Так как разные структуры клеток имеют различные массу, размеры и плотность, под действием центробежной силы органоиды оседают в растворе с разной скоростью и останавливаются в определенном слое жидкости, что дает возможность отделить одни частицы от других. Таким методом выделяют митохондрии, рибосомы и другие органоиды клетки, которые затем изучаются с помощью иных методов.

Химические и физические методы позволяют ученым исследовать различные виды молекул, входящих в состав клетки. Для изучения локализации отдельных химических веществ в клетке широко используются методы *цито- и гистохимии*, основанные на избирательном действии реактивов и красителей на определенные химические вещества цитоплазмы.

Если необходимо понаблюдать за перемещением и локализацией какого-либо химического соединения в клетке, то один из атомов в молекуле можно заменить на радиоактивный изотоп. Тогда эта молекула будет иметь *радиоактивную метку*, по которой ее можно обнаружить с помощью счетчика радиоактивных частиц или по ее способности засвечивать фотопленку. Чаще всего в качестве радиоактивной метки используют изотопы водорода (^3H), углерода (^{14}C) и фосфора (^{32}P).

Метод рентгеноструктурного анализа позволяет определять пространственное расположение атомов и группировок атомов, например, в молекулах ДНК, белков, входящих в состав клеточных структур.

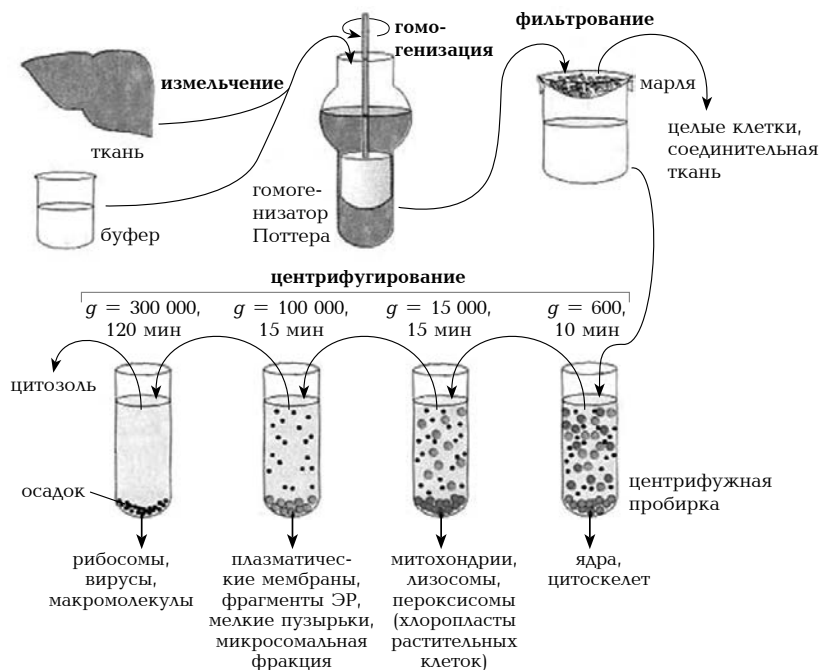


Рис. 2.1. Схема метода дифференциального центрифугирования

Для изучения процессов деления клеток, их дифференцировки и специализации используют *метод клеточных культур*, т. е. выращивание отдельных клеток многоклеточных организмов на питательных средах в стерильных условиях.

При исследовании живых клеток, выяснении функций отдельных органоидов применяют *метод микрохирургии*, т. е. оперативное воздействие на клетку: удаление или имплантирование отдельных органоидов, пересаживание их из клетки в клетку, микроинъекции различных веществ и др.

Проследить за процессами, происходящими в живой клетке в течение длительного времени, позволяет *замедленная киносъемка* либо *фотосъемка* через мощные световые микроскопы.

СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ

Многообразие клеток. Клетки организмов разных царств отличаются друг от друга размерами, формой, внутренним строением, выполняемыми функциями. Если сравнить, например, форму и строение нервной клетки, клетки ткани листа и стрекательной клетки гидры, то мы наглядно увидим их непохожесть (рис. 2.2).

Существенные различия можно обнаружить и в строении и функциях клеток разных тканей одного организма. В то же время клетки разных тканей одного организма и клетки разных организмов имеют много общих черт как в строении, так и в функциональном отношении.

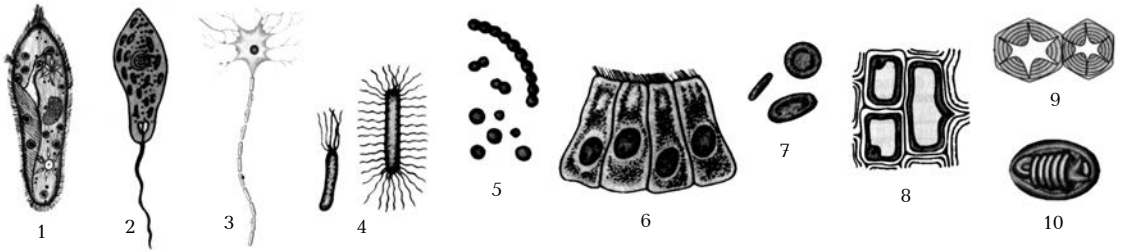


Рис. 2.2. Многообразие клеток: 1 — инфузория туфелька; 2 — эвглена зеленая; 3 — нервная клетка; 4 — бактерии со жгутиками; 5 — кокки, диплококки, стрептококки; 6 — клетки эпителия трахеи; 7 — эритроциты; 8 — эпидермис клеток чешуи лука; 9 — клетки механической ткани; 10 — стрекательная клетка

Строение клетки. Несмотря на многообразие форм, все клетки имеют единый принцип организации (рис. 2.3). Любая клетка состоит из трех частей: поверхностного аппарата, цитоплазмы и ядерного аппарата (ядра).

Поверхностный аппарат образован цитоплазматической мембраной, надмембранным и субмембранным комплексами. Поверхностный аппарат ограничивает внутреннее содержимое клеток и защищает его от влияния окружающей среды, осуществляет обмен веществ между клеткой и внешней средой. Надмембранный комплекс клеток бактерий, растений, грибов и многих протистов представлен плотной клеточной оболочкой (клеточной стенкой). Клетки животных ограничены только плазматической мембраной. Субмембранный комплекс лежит под цитоплазматической мембраной и образован белковыми нитями и микротрубочками.

Цитоплазма (гр. *китос* — клетка и *плазма* — вылепленное) — это часть клетки, расположенная между плазматической мембраной и ядром. В цитоплазме выделяют основное (полужидкое) вещество, или гиалоплазму (гр. *хиалос* — стекло и *плазма*), и погруженные в нее все внутриклеточные структуры; цитоскелет; органоиды, имеющие разное строение и выполняющие различные функции (рис. 2.3, табл. 2.1), и включения.

Гиалоплазма — внутренняя среда клетки; состоит из воды, органических и неорганических веществ.

Цитоскелет (внутриклеточный скелет) — система микротрубочек и микрофиламентов (микронитей). Цитоскелет выполняет опорную функцию и обеспечивает внутриклеточные движения.

Органоиды (гр. *органон* — орган) — постоянные клеточные структуры цитоплазмы, выполняющие определенные функции и обеспечивающие процессы жизнедеятельности клетки (питание, синтез веществ, их транспорт внутри клетки и за ее пределы и др.). Органоиды можно разделить на две группы: мембранные и немембранные. Мембранные органоиды также представлены двумя

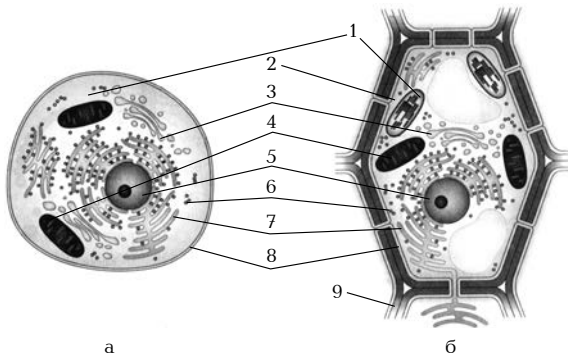


Рис. 2.3. Схема строения клеток живых организмов (а — животная клетка; б — растительная клетка): 1 — цитоплазма; 2 — хлоропласт; 3 — комплекс Гольджи; 4 — митохондрия; 5 — ядро; 6 — рибосомы; 7 — эндоплазматическая сеть; 8 — цитоплазматическая мембрана; 9 — клеточная оболочка

вариантами: они могут быть одно- и двухмембранными. К двухмембранным органоидам относятся митохондрии, пластиды. Одномембранными органоидами являются: эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы, вакуоли.

К немембранным органоидам принадлежат рибосомы, клеточный центр, а также реснички и жгутики, характерные для некоторых клеток.

Включения — непостоянные образования. Они могут появляться в процессе жизнедеятельности клетки, исчезать и вновь образовываться. Включения в основном представляют собой запасные вещества клетки или конечные продукты обмена веществ. Это могут быть капли (жир), гранулы (крахмал, гликоген), кристаллы (соли).

Таблица 2.1

Строение эукариотической клетки

Структура	Особенности организации	Функции
Поверхностный аппарат:		
Цитоплазматическая мембрана	Тончайшая пленка, образованная двойным слоем липидов и погруженных в него белков	Избирательная регуляция обмена веществ между клеткой и внешней средой. Обеспечение контакта между соседними клетками
Надмембранный комплекс	Многослойное образование из полисахаридов	Защита клетки и внешний каркас
Субмембранный комплекс	Микротрубочки и микрофиламенты, образованные белковыми субъединицами	Связь между мембраной, цитоскелетом и гиалоплазмой
Цитоплазма:		
Гиалоплазма	Коллоидный раствор белков, углеводов и других веществ	Внутренняя среда клетки, связь между всеми клеточными структурами, синтез многих веществ
Митохондрии	Двухмембранная структура; внутренняя мембрана образует складки — кристы. Содержит кольцевую ДНК, рибосомы, множество ферментов	Синтез АТФ
Пластиды	Двухмембранная структура. Производят внутреннюю мембрану — тилакоиды (содержат хлорофилл в хлоропластах). Содержит кольцевую ДНК, рибосомы, множество ферментов. Характерны только для клеток растений, автотрофных и автогетеротрофных протистов	Фотосинтез, запасание питательных веществ
Эндоплазматический ретикулум (ЭР)	Система уплощенных мембранных мешочков — цистерн, полостей, трубочек	На шероховатом ЭР расположены рибосомы. В его цистернах изолируются и дозревают синтезируемые на рибосомах белки. Транспорт синтезированных белков. Гладкий ЭР: синтез углеводов, липидов и стероидов. Дегградация вредных веществ
Комплекс Гольджи (КГ)	Система плоских одномембранных цистерн, расширенных на концах, и пузырьков, отделяющихся или присоединяющихся к цистернам	Накопление, преобразование белков и липидов, синтез полисахаридов. Образование секреторных пузырьков, выведение веществ за пределы клетки. Образование лизосом
Лизосомы	Одномембранные пузырьки, содержащие гидролитические ферменты	Внутриклеточное переваривание, расщепление поврежденных органелл, отмерших клеток, органов
Вакуоли	Одномембранные цистерны, заполненные водой с растворенными в ней веществами	Запасание воды и других неорганических и органических веществ, осморегуляция
Рибосомы	Две субъединицы (большая и малая), состоящие из рРНК и белков	Сборка белковых молекул
Клеточный центр (центриоли)	Система микротрубочек, построенных из белковых субъединиц	Центры организации микротрубочек (участвуют в образовании цитоскелета, веретена деления клетки, ресничек и жгутиков)
Микротрубочки, микрофиламенты	Трубочки и нити, образованные белковыми субъединицами	Образование цитоскелета, центриолей, жгутиков, ресничек и др. Сократительные движения, внутриклеточный транспорт
Включения	Жировые капли, гранулы (крахмал, гликоген, белок), кристаллы (щавелевокислый кальций)	Запасные вещества клетки, конечные продукты обмена
Ядерный аппарат (ядро)	Имеет двухмембранную оболочку, хроматин, ядерный матрикс, ядрышко, содержит ДНК	Хранение и передача дочерним клеткам наследственной информации в неизменном виде. Реализация наследственной информации

Ядро — важная структура клеток. В нем содержится ДНК, являющаяся носителем наследственной информации. Ядро обеспечивает хранение и реализацию наследственной информации, передачу наследственной информации дочерним клеткам. У бактерий и цианобактерий ядра, как известно, нет. Ядерный аппарат этих групп организмов представлен бактериальной хромосомой.

Цитоплазма и ядро в совокупности образуют живое содержимое клетки — *протопласт*.

Цитоплазматическая мембрана

Цитоплазматическая мембрана, или *плазмалемма*, — основная, универсальная для всех клеток составная часть поверхностного аппарата. Ее толщина составляет около 10 нм. Она ограничивает цитоплазму и защищает ее от внешних воздействий, принимает участие в процессах обмена веществ с окружающей средой.

Химическими компонентами мембраны являются липиды и белки. Липиды составляют в среднем 40 % от массы мембраны. Среди них преобладают фосфолипиды.

Молекулы липидов расположены в виде двойного слоя (билипидный слой). Каждая молекула липида образована полярной гидрофильной головкой и неполярными гидрофобными хвостами. В цитоплазматической мембране их гидрофильные головки обращены к наружной и внутренней сторонам мембраны, а гидрофобные хвосты — внутрь мембраны (рис. 2.4).

Кроме билипидного слоя, в состав мембран входят белки двух разновидностей: периферические и интегральные. *Периферические белки* связаны с полярными головками липидных молекул электростатическими взаимодействиями. Они не образуют сплошного слоя. Периферические белки связывают плазмалемму с над- или субмембранными структурами поверхностного аппарата.

Интегральные белки более или менее глубоко погружены в мембрану либо пронизывают ее насквозь (см. рис. 2.4).

Некоторые молекулы липидов и белков плазмалеммы животных клеток имеют ковалентные связи с молекулами олиго- и полисахаридов, которые расположены на наружной поверхности мембраны. Сильно разветвленные молекулы образуют с липидами и белками гликолипиды и гликопротеиды соответственно. Сахаридный слой покрывает всю поверхность клетки. Он называется *гликокаликсом* (лат. *гликис* — сладкий и *калюм* — толстая кожа) и представляет собой надмембранный комплекс животной клетки.

В функции плазмалеммы входят барьерная, рецепторная и транспортная.

1. *Барьерная функция*. Окружая клетку, цитоплазматическая мембрана играет роль механического барьера — преграды между внутриклеточным содержимым и внешней средой. Барьерную функцию обеспечивает билипидный слой, не давая содержимому клетки растекаться и препятствуя проникновению в нее чужеродных для нее веществ.

2. *Рецепторная функция*. Некоторые белки мембраны способны узнавать определенные вещества и связываться с ними. Таким образом рецепторные белки участвуют в отборе молекул, поступающих в клетку. К рецепторным белкам относятся, например, антигенраспознающие рецепторы В-лимфо-

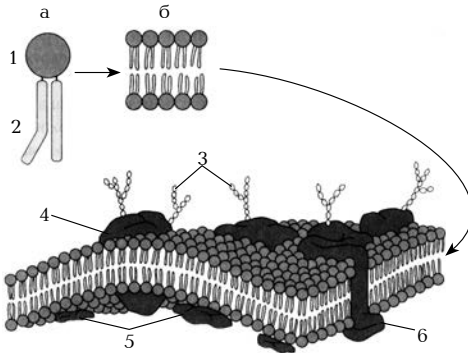


Рис. 2.4. Схема строения цитоплазматической мембраны (а — молекула липида; б — билипидный слой); 1 — гидрофильная головка; 2 — гидрофобные хвосты; 3 — углеводные цепочки; 4, 6 — интегральный белок; 5 — периферические белки

цитов, рецепторы гормонов и т. п. К этому же типу можно отнести интегральные белки, выполняющие специфические ферментативные функции, осуществляющие процессы пристеночного пищеварения в кишечнике.

В плазматическую мембрану встроены также сигнальные белки, способные в ответ на действие различных факторов окружающей среды изменять свою пространственную структуру и таким образом передавать сигналы внутрь клетки. Следовательно, плазматическая мембрана обеспечивает *раздражимость организмов* (способность воспринимать раздражители и определенным образом реагировать на них), осуществляя обмен информацией между клеткой и окружающей средой.

В осуществлении рецепторной функции, кроме мембранных белков, важную роль играют элементы гликокаликса.

Разнообразие и специфичность наборов рецепторов на поверхности клеток приводят к созданию сложной системы маркеров, позволяющих отличать «свои» клетки (той же особи или того же вида) от «чужих». Сходные клетки вступают друг с другом во взаимодействие, приводящее к слипанию поверхности (конъюгация у бактерий, образование тканей у животных).

С цитоплазматической мембраной связана локализация специфических рецепторов, реагирующих на физические факторы. Так, у фотосинтезирующих бактерий и цианобактерий на мембранах локализованы рецепторы (хлорофиллы), взаимодействующие с квантами света. В плазмалемме светочувствительных клеток животных расположена специальная система фоторецепторов (родопсин). С помощью фоторецепторов световой сигнал превращается в химический, что в свою очередь приводит к возникновению нервного импульса.

3. Транспортная функция. Одной из основных функций мембраны является перенос веществ. Выделяют несколько основных способов транспорта веществ через цитоплазматическую мембрану: диффузию, облегченную диффузию, активный транспорт и транспорт в мембранной упаковке.

Диффузия — движение веществ через мембрану по градиенту концентрации (из области, где их концентрация выше, в область, где их концентрация ниже). Этот процесс происходит без затраты энергии вследствие хаотического движения молекул. Диффузный транспорт веществ осуществляется через билипидный слой (жирорастворимые вещества) либо при участии транспортных белков мембраны (рис. 2.5). В последнем случае транспортные белки образуют молекулярные комплексы — каналы, через которые проходят растворенные молекулы и ионы.

Облегченная диффузия — транспорт молекул различных веществ с помощью специальных белков-переносчиков, встроенных в мембрану. Последние избирательно связываются с тем или иным ионом или молекулой и переносят

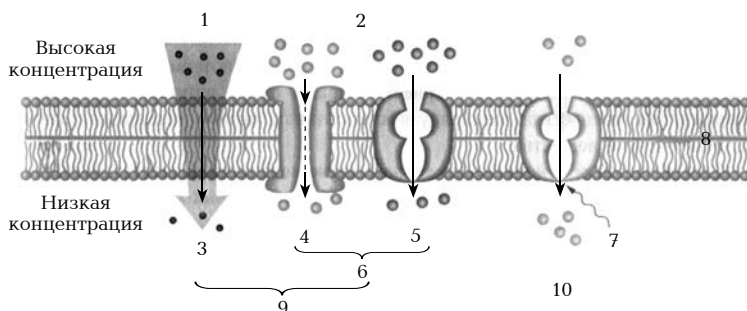
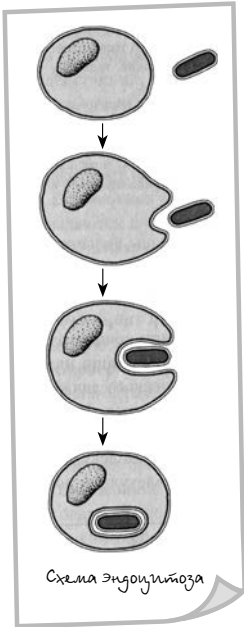


Рис. 2.5. Схема переноса ионов и молекул через цитоплазматическую мембрану: 1 — малые молекулы; 2 — крупные молекулы и ионы; 3 — простая диффузия; 4 — канальцевая диффузия; 5 — транспорт с помощью белка-переносчика; 6 — облегченная диффузия; 7 — энергия; 8 — билипидный слой; 9 — пассивный транспорт; 10 — активный транспорт



их через мембрану. Перенос осуществляется по градиенту концентрации, но быстрее, чем при обычной диффузии. Диффузия и облегченная диффузия относятся к *пассивному транспорту*.

Наконец, наиболее важный вид транспорта — *активный мембранный транспорт*. В отличие от пассивного, активный транспорт осуществляется против градиента концентрации, при этом расходуется энергия, чаще всего АТФ. Специальные транспортные белки (насосы) мембраны переносят ионы и молекулы.

Одним из наиболее распространенных мембранных насосов является так называемая калиево-натриевая АТФаза (К/Na-АТФаза). Благодаря ее работе из клетки удаляются ионы Na^+ и одновременно из межклеточного пространства закачиваются ионы K^+ . При этом с каждым поступившим в клетку ионом K^+ выделяются три иона Na^+ . Таким образом в клетке и на ее плазмалемме поддерживается разность концентраций этих ионов, что лежит в основе биоэлектрических и транспортных процессов.

В результате активного транспорта происходит также регуляция соотношения концентрации Mg^{2+} и Ca^{2+} в клетке.

Наряду с ионами путем активного транспорта через цитоплазматическую мембрану в клетку поступают моносахариды, аминокислоты и другие вещества.

Разновидностью мембранного транспорта является *транспорт в мембранной упаковке*. Он особенно важен для клеток протистов, пищеварительных и секреторных клеток, фагоцитов и др. Различают эндо- и экзоцитоз — в зависимости от того, в каком направлении переносятся вещества (в клетку или из нее).

Эндоцитоз (гр. *эндон* — внутри и *китос* — клетка) — поглощение клеткой крупных агрегатов молекул или капель. При эндоцитозе определенный участок плазмалеммы захватывает, обволакивает внеклеточный материал, заключая его в мембранную упаковку, возникшую за счет впячивания мембраны.

Эндоцитоз разделяют на *фагоцитоз* (захват и поглощение крупных твердых частиц) и *пиноцитоз* (поглощение жидкости). Путем эндоцитоза осуществляются питание гетеротрофных протистов, защитные реакции организма (поглощение лейкоцитами чужеродных частиц) и др.

Экзоцитоз — транспортировка веществ, заключенных в мембранную упаковку, из клетки во внешнюю среду. Вакуолярные пузырьки, в которых находятся вещества, предназначенные для выведения из клетки, перемещаются к цитоплазматической мембране, сливаются с ней, а их содержимое выделяется в окружающую среду. Таким способом выводятся пищеварительные ферменты, секреторные гранулы, гормоны, гемицеллюлоза и др.

Гиалоплазма. Цитоскелет

Гиалоплазма (основное вещество цитоплазмы, основная плазма) представляет собой густой бесцветный коллоидный раствор белков и других веществ (органических и неорганических). Воды в гиалоплазме от 70 до 90 %. Здесь же в растворенном виде находится большое количество аминокислот, нуклеотидов и других «строительных блоков» биополимеров, а также множество промежуточных продуктов обмена.

Гиалоплазма выполняет многочисленные функции в клетке. Она является внутренней средой клетки, в которой размещаются все внутриклеточные структуры и протекают процессы обмена веществ. В гиалоплазме локализованы ферменты, участвующие в синтезе аминокислот, нуклеотидов, высших карбоновых кислот, в метаболизме сахаров и других веществ.

Гиалоплазма объединяет все клеточные структуры и обеспечивает химическое взаимодействие между ними.

Цитоскелет (внутриклеточный цитоплазматический скелет) — составная часть цитоплазмы, ее механический каркас. Цитоскелет представляет собой сложную трехмерную сеть микрофиламентов и микротрубочек (рис. 2.6).

Микрофиламенты — тонкие фибриллы, состоящие из спирально закрученных одна вокруг другой белковых нитей. В клетках в большом количестве содержатся актиновые микрофиламенты. Каждая нить такого микрофиламента образована большим числом глобул белка *актина* (рис. 2.7).

В клетке обнаруживаются также фибриллы другого важного белка — *миозина*, которые вместе с актиновыми микрофиламентами образуют комплекс, способный к сокращению при расщеплении АТФ.

Микротрубочки содержатся во всех эукариотических клетках. Они представляют собой тонкие полые неразветвленные цилиндры, образованные белковыми субъединицами. Каждая субъединица состоит из двух молекул белков *тубулинов*, находящихся в третичной структуре (рис. 2.7).

Цитоскелет выполняет различные функции. Например, он упорядочивает размещение всех структурных компонентов клетки. Микротрубочки цитоскелета поддерживают определенную форму клетки. Они расположены таким образом, чтобы противодействовать растяжению и сжатию клетки. Кроме механических функций, микротрубочки обеспечивают внутриклеточный транспорт: перемещение внутриклеточных структур, эндо- и экзоцитоз. По микротрубочкам органоиды передвигаются в те места клетки, где они нужны в данный момент. Микротрубочки непосредственно участвуют в образовании веретена деления при митозе и мейозе и в растягивании хромосом к полюсам клетки.

Микрофиламенты взаимодействуют с микротрубочками поверхностного слоя цитоплазмы и с плазмалеммой и обеспечивают двигательную активность гиалоплазмы, а также амебoidное движение одноклеточных организмов.

Элементы цитоскелета очень динамичны. В определенных участках клетки при изменении внешних и внутренних условий могут распадаться на отдельные молекулы и вновь собираться. Образующиеся молекулы белка переходят в раствор в составе гиалоплазмы, изменяя при этом агрегатное состояние гиалоплазмы с гелеобразного (гель) на жидкое (золь). При полимеризации белковых субъединиц и сборке микротрубочек и микрофиламентов наблюдается обратный процесс.

Клеточный центр. Рибосомы

Клеточный центр имеет большинство животных клеток, а также некоторых грибов, водорослей, мхов и папоротников. Он расположен вблизи ядра и образован двумя *центриолями* — мелкими полыми цилиндрами длиной не более 0,5 мкм. Каждая центриоль состоит из девяти триплетов микротрубочек, связанных специальными белками в единую систему (рис. 2.8). Центриоли расположены перпендикулярно одна другой. От центриолей

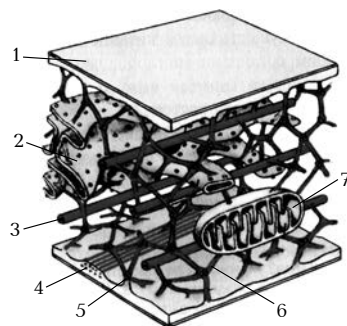


Рис. 2.6. Схема организации цитоскелета: 1 — цитоплазматическая мембрана; 2 — эндоплазматическая сеть; 3 — микротрубочка; 4 — микрофиламенты; 5 — рибосомы; 6 — микротрубочка; 7 — митохондрия

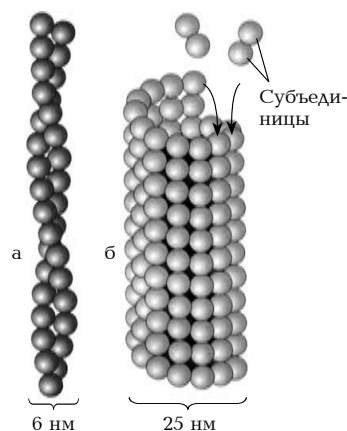


Рис. 2.7. Схема строения микрофиламента (а) и микротрубочки (б)

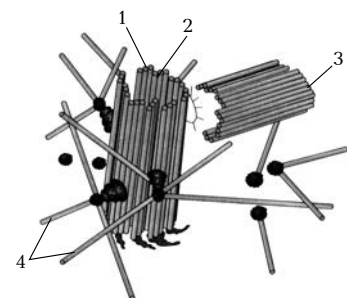


Рис. 2.8. Схема строения центриолей: 1 — триплеты микротрубочек; 2 — материнская центриоль; 3 — дочерняя центриоль; 4 — микротрубочки

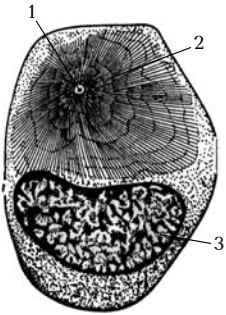


Рис. 2.9. Схема строения клеточного центра: 1 — центриоль; 2 — центросфера (астросфера); 3 — ядро

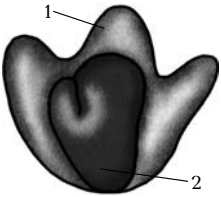


Рис. 2.10. Схема строения рибосомы: 1 — большая субъединица; 2 — малая субъединица

радиально отходят тонкие длинные нити — микротрубочки. Совокупность центриолей и микротрубочек называется *клеточным центром* (рис. 2.9). Центриоли обычно находятся в центре клетки, отсюда и название этого органоида.

Функции центриолей — инициация самосборки микротрубочек, т.е. они являются центром организации «производства» микротрубочек. В область расположения центриолей транспортируется белок тубулин. Здесь он полимеризуется, формируются микротрубочки, которые перемещаются в разные участки клетки, где и выполняют свои функции.

Перед делением клетки происходит удвоение центриолей. Затем они попарно расходятся к противоположным полюсам клетки и участвуют в образовании веретена деления. В это время в клетке содержится две пары центриолей (по одной паре у каждого полюса).

Кроме того, центриоли участвуют в образовании базальных телец ресничек и жгутиков.

Рибосомы — органоиды, осуществляющие в клетке сборку белковых молекул из аминокислот. Их величина составляет примерно 15—20 нм. В отличие от других органоидов рибосомы представлены в клетке огромным числом. В течение жизни клетки их образуется несколько миллионов. Рибосомы состоят из двух субъединиц — большой и малой (рис. 2.10). Каждая субъединица является комплексом рРНК с белками. Субъединицы рибосом формируются в области ядрышек ядра, а затем через ядерные поры выходят в цитоплазму.

Субъединицы рибосом находятся в цитоплазме в свободном состоянии и объединяются в единую структуру только для синтеза белка. При этом они прикрепляются группами к поверхности эндоплазматической сети или ядра. Такие группы называются *полисомами*. Рибосомы, не связанные с ЭПС, синтезируют белки, необходимые для нужд самой клетки. Рибосомы, прикрепленные к ЭПС и оболочке ядра, синтезируют белки «на экспорт», предназначенные для выведения из клетки.

Эндоплазматическая сеть. Комплекс Гольджи. Лизосомы

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), или *эндоплазматический ретикулум*. Эндоплазматическая сеть представляет собой систему мембранных каналов и полостей, пронизывающих гиалоплазму клетки. Мембрана ЭПС по строению сходна с цитоплазматической мембраной. Каналы и полости ЭПС могут занимать до 50 % объема клетки, нигде не обрываются и не открываются в гиалоплазму. Различают *шероховатую (гранулярную)* и *гладкую* ЭПС (рис. 2.11). На шероховатой ЭПС расположено множество рибосом. Именно здесь синтезируются белки, выводимые за пределы клетки.

На поверхности гладкой ЭПС идет синтез углеводов и липидов. В гладкой ЭПС печени осуществляются процессы деградации различных вредных веществ, их детоксикация.

Вещества, синтезированные на мембранах ЭПС, переносятся внутрь полостей сети. Здесь эти вещества изолируются от гиалоплазмы, накапливаются, преобразуются, заключаются в мембранные пузырьки и транспортируются в комплекс Гольджи. Находясь внутри полостей ЭПС, белки приобретают свойственную им вторичную, третичную или четвертичную структуру.

На рибосомах гранулярной ЭПС, помимо «экспортных» белков, синтезируются мембранные белки и некоторая часть белков цитоплазмы.

Шероховатая ЭПС лучше развита в тех клетках, которые синтезируют большое количество белков, выводимых за пределы клетки (например, в клетках, осуществляющих синтез пищеварительных ферментов или белковых гормонов), а гладкая — в тех клетках, которые синтезируют полисахариды и липиды. В гладкой ЭПС, кроме того, депонируются ионы кальция — важные регуляторы многих функций клеток и организма в целом.

Комплекс (аппарат) Гольджи. Это система внутриклеточных мембранных структур: цистерн, пузырьков и трубочек, в которых накапливаются вещества, синтезированные на мембранах ЭПС. Несколько цистерн расположены стопкой одна над другой и образуют *диктиосому* (рис. 2.12).

Вещества, синтезированные в эндоплазматическом ретикулуме, доставляются в комплекс Гольджи в мембранных пузырьках. Последние отшнуровываются от цистерн ЭПС и сливаются с цистернами комплекса Гольджи. В комплексе Гольджи поступившие вещества претерпевают некоторые изменения. Например, к белковым молекулам присоединяются молекулы моносахаридов, ионы металлов и др. Эти вещества упаковываются в мембранные пузырьки, и их большая часть транспортируется к клеточной мембране. Мембрана пузырьков сливается с цитоплазматической мембраной, а содержимое экскретируется за пределы клетки (рис. 2.12).

В ряде специализированных клеток в комплексе Гольджи синтезируются разнообразные полисахариды; некоторые из них входят в состав внеклеточного вещества тканей внутренней среды.

В комплексе Гольджи растительных клеток синтезируются полисахариды матрикса клеточной оболочки (гемипеллюлозы, пектиновые вещества).

Еще одна функция комплекса Гольджи — образование лизосом.

Лизосомы — это мембранные пузырьки диаметром 0,4—1 мкм, содержащие около 50 разных пищеварительных ферментов, способных расщеплять белки, углеводы, липиды, нуклеиновые кислоты.

Когда в клетку попадают пищевые частицы, их необходимо переварить, т. е. расщепить питательные вещества до слагающих их мономеров, которые клетка может использовать. Переваривание осуществляется ферментами, содержащимися в лизосомах. Фагоцитарный пузырек, в котором находится пищевая частица, сливается с лизосомой (рис. 2.13).

При слиянии лизосомы с фагоцитарным пузырьком образуется вторичная лизосома. Вторичные лизосомы, образующиеся у протистов, обычно называют *пищеварительными вакуолями*. Ферменты, содержащиеся в лизосоме, расщепляют питательные вещества пищевых частичек до мономеров, которые поступают в цитоплазму. Непереваренные остатки экзоцитозом выделяются за пределы клетки.

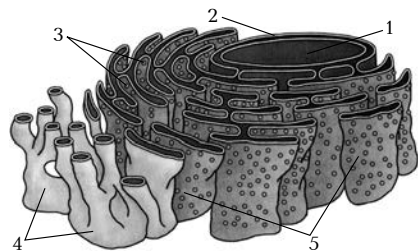


Рис. 2.11. Схема строения эндоплазматической сети: 1 — ядро; 2 — ядерная оболочка; 3 — рибосомы; 4 — гладкая эндоплазматическая сеть; 5 — шероховатая эндоплазматическая сеть

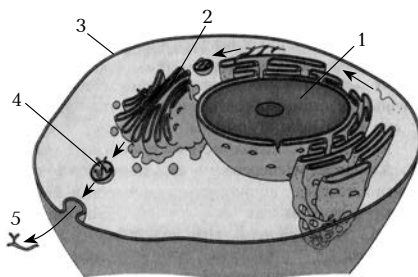


Рис. 2.12. Схема расположения и строения комплекса Гольджи: 1 — ядро; 2 — комплекс Гольджи; 3 — клеточная мембрана; 4 — мембранный пузырек; 5 — экзоцитоз

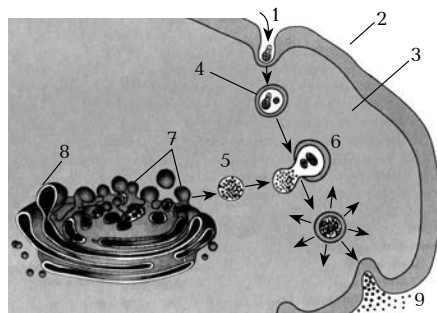


Рис. 2.13. Схема переваривания пищевой частицы при участии лизосомы: 1 — пищевая частица; 2 — мембрана клетки; 3 — гиалоплазма; 4 — фагоцитарный пузырек; 5 — лизосома; 6 — вторичная лизосома; 7 — пузырьки комплекса Гольджи; 8 — цистерна комплекса Гольджи; 9 — непереваренные остатки

Лизосомы и их ферменты используются клеткой при необходимости утилизации поврежденных органоидов. При этом поврежденный органоид окружается группой лизосом, которые сливаются и образуют одну большую вакуоль. Ферменты разрушают органоид, а вещества, полученные при его расщеплении, поступают в цитоплазму и снова используются. Этот процесс получил название *аутофагии*.

Вакуоли

В клетках растений, грибов и многих протистов содержатся вакуоли — крупные мембранные пузырьки, заполненные преимущественно водным содержимым. Вакуоли образуются из пузырьковидных расширений эндоплазматического ретикулаума или из пузырьков комплекса Гольджи.

Вакуоли растительных клеток. В меристематических клетках растений возникает много небольших вакуолей. Увеличиваясь, они сливаются в одну *центральную вакуоль*, которая занимает до 70—90 % объема клетки (рис. 2.14). Окружающая ее мембрана — *тонопласт* — имеет толщину мембраны эндоплазматического ретикулаума около 6 нм.

Содержимое вакуолей — *клеточный сок*. Он представляет собой водный раствор неорганических и органических веществ. Большинство из них относится к продуктам метаболизма протопласта, которые могут появляться и исчезать в различные периоды жизни клетки. Химический состав и концентрация клеточного сока очень изменчивы и зависят от вида растений, органа, ткани и возраста клетки. В клеточном соке содержатся соли, сахара (прежде всего сахароза, глюкоза, фруктоза), органические кислоты (яблочная, лимонная, щавелевая, уксусная и др.), аминокислоты, белки. Эти вещества временно выведены из обмена и изолированы тонопластом. Они являются *запасными веществами* клетки, которые могут использоваться в обмене веществ.

Кроме того, клеточный сок содержит конечные продукты обмена — фенолы, танины (дубильные вещества), алкалоиды, антоцианы, которые выводятся в вакуоль и таким путем изолируются от цитоплазмы.

Танины особенно часто встречаются в клеточном соке, а также в цитоплазме и оболочках клеток листьев, коры, древесины, незрелых плодов и семенных оболочек. Алкалоиды присутствуют в клетках семян кофе (кофеин), плодов мака (морфин) и белены (атропин), стеблей и листьев люпина (люпинин) и др. Считается, что танины, имеющие вяжущий вкус, алкалоиды и токсичные полифенолы выполняют защитную функцию: их ядовитый (чаще горький) вкус и неприятный запах отталкивают травоядных животных, что предотвращает поедание этих растений.

В вакуолях некоторых растений часто накапливаются кристаллы щавелевокислого кальция различной формы, который также является конечным продуктом обмена веществ (рис. 2.15).

В клеточном соке вакуолей многих растений содержатся *пигменты*. Самыми распространенными из них являются *антоцианы*, придающие клеточному соку пурпурный, красный, синий или фиолетовый цвет. Близкие к антоцианам *флавоны* и *флавонолы* окрашивают клеточный сок в желтый или кремовый цвет. Именно эти пигменты и определяют окраску венчиков цветков, плодов, почек и листьев, а также корнеплодов некоторых растений (например, свеклы).

Цвет антоцианов может меняться в зависимости от кислотности среды: в кислой среде он может быть красным, в нейтральной — фиолетовым, в щелочной — синим. Кроме того, могут наблюдаться все переходные оттенки.

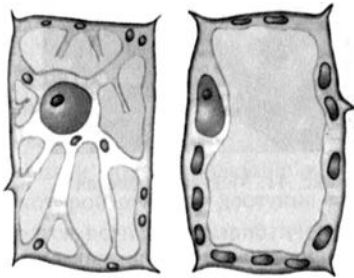


Рис. 2.14. Вакуоли в клетках растений

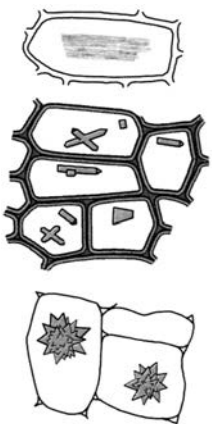


Рис. 2.15. Кристаллы оксалата кальция в вакуолях

Реакция клеточного сока в процессе жизнедеятельности растений может меняться от сильно- до слабокислой или даже слабощелочной, что вызывает соответствующие изменения цвета пигментов. Из-за этого цветки некоторых растений (например, медуницы неясной) во время цветения могут изменять свою окраску от розовой до синей.

Клеточный сок вакуолей некоторых растений содержит физиологически активные вещества — *фитогормоны (регуляторы роста), фитонциды, ферменты*. В последнем случае вакуоли действуют подобно лизосомам. После гибели клетки тонопласт, как и другие мембраны, теряет свою избирательную проницаемость, и ферменты, высвобождаясь из вакуолей, вызывают *автолиз* (самопереваривание) клетки.

Вакуоли играют главную роль в поглощении воды растительными клетками. Вода путем осмоса через тонопласт поступает в вакуоль, клеточный сок которой является более концентрированным, чем цитоплазма, и оказывает давление на цитоплазму, а тем самым и на оболочку клетки. В результате в клетке развивается тургорное давление, которое поддерживает относительную жесткость растительных клеток, а также обуславливает их растяжение во время роста.

В запасющих тканях растений вместо одной центральной вакуоли часто бывает несколько, где скапливаются запасные питательные вещества, сахара и белки. Сахара в вакуолях встречаются в виде растворов или резервных полисахаридов типа инулин. Белки запасаются в так называемых алейроновых вакуолях, которые заполняются альбуминами и глобулинами. Далее вакуоли обезвоживаются и превращаются в твердые алейроновые зерна. Особенно много алейроновых зерен в семенах злаков, бобовых.

Сократительные (пульсирующие) вакуоли служат для осмотической регуляции у пресноводных протистов, так как в их клетки путем осмоса непрерывно поступает вода из окружающей среды, поскольку концентрация солей в речной или озерной воде значительно ниже, чем их концентрация в клетках протистов. Избыток воды сократительные вакуоли при сокращении выводят наружу. Сокращения осуществляются благодаря наличию в мембране вакуолей пучков эластичных волокон.

Таким образом, вакуоли выполняют в клетках важные функции, связанные с регуляцией водного режима и поддержанием тургора клетки, а также с изоляцией запасных питательных веществ и конечных продуктов жизнедеятельности клетки.

Митохондрии

Митохондрии относятся к двухмембранным органоидам клетки.

Митохондрии (гр. *митос* — нить и *хондрион* — зерно) — органоиды клетки, участвующие в процессе клеточного дыхания и обеспечивающие клетку энергией в виде АТФ (т. е. в такой форме, в которой энергия доступна для использования во всех энергозатратных процессах). Митохондрии присутствуют во всех эукариотических клетках. Количество митохондрий в клетке варьирует от единиц (сперматозоиды, одноклеточные протисты) до тысяч. Особенно много митохондрий в клетках, нуждающихся в большом количестве энергии (мышечные клетки, клетки печени). В клетках зеленых растений митохондрий меньше,

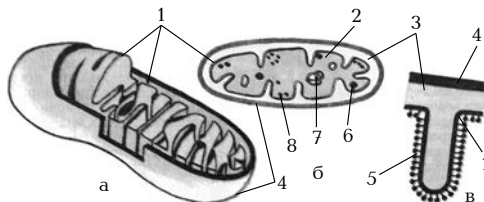


Рис. 2.16. Схема строения митохондрии: а — трехмерная структура; б — продольный разрез; в — часть кристы; 1 — внутренняя мембрана; 2 — матрикс; 3 — межмембранное пространство; 4 — наружная мембрана; 5 — АТФ-сомы; 6 — гранулы; 7 — ДНК; 8 — рибосомы

чем в клетках животных, поскольку их функции (синтез АТФ) частично выполняют хлоропласты.

Митохондрии чаще всего имеют вид округлых телец, палочек, нитей. Они ограничены оболочкой из двух мембран — *наружной* и *внутренней* (рис. 2.16). Наружная мембрана гладкая, она отделяет содержимое митохондрии от гиалоплазмы. Внутренняя мембрана образует выпячивания внутрь митохондрий в виде трубчатых или гребенчатых образований — *крист*. За их счет образуется большая общая поверхность. На мембране крист расположены ферменты, в том числе переносчики электронов и протонов. Наружная мембрана отличается высокой проницаемостью для различных веществ. Внутренняя мембрана менее проницаема.

Между наружной и внутренней мембранами митохондрий находится межмембранное пространство.

Внутреннее пространство митохондрий заполнено полужидким веществом — *матриком*. В нем содержатся различные белки, в том числе ферменты, ДНК (кольцевые молекулы), все типы РНК, аминокислоты, ряд витаминов, рибосомы, гранулы, образованные солями кальция и магния. ДНК обеспечивает некоторую генетическую автономность митохондрий, хотя в целом их работа координируется ДНК ядра.

На поверхности внутренней мембраны имеются грибовидные образования — АТФ-сомы. В них содержится комплекс ферментов, необходимых для синтеза АТФ.

Функция митохондрий — синтез АТФ, происходящий за счет энергии, высвобождающейся при окислении органических соединений. При этом начальные этапы данного процесса происходят в матриксе, а основные — на внутренней мембране (см. с. 66—67).

Митохондрии в клетке постоянно обновляются. Например, в клетках печени продолжительность жизни митохондрий составляет около 10 дней. Увеличение количества митохондрий в клетке происходит путем их деления.

Пластиды

Пластиды, как и митохондрии, относятся к двухмембранным органоидам клетки. *Пластиды* (гр. *plastiges* — создающие, образующие) — органоиды клеток растений и фототрофных протистов. Для растений характерно три вида пластид: хлоропласты, хромопласты и лейкопласты.

Хлоропласты (гр. *хлорос* — зеленый) — органоиды, осуществляющие фотосинтез. Они имеют зеленый цвет, что обусловлено присутствием в них светочувствительных пигментов — *хлорофиллов a, b* и др. Хлоропласты содержат также вспомогательные пигменты — *каротиноиды* (оранжевого, желтого либо красного цвета). В одной клетке листа может находиться 15—20 и более хлоропластов; у некоторых водорослей — лишь 1—2 гигантских хлоропласта различной формы (вспомните, например, строение хламидомонады, хлореллы или спирогиры).

Хлоропласты растений имеют форму двояковыпуклой линзы (рис. 2.17). Как и митохондрии, хлоропласты имеют оболочку, состоящую из двух мембран. В ходе формирования и роста хлоропласта от внутренней мембраны отделяются уплощенные замкнутые дисковидные мешочки — *тилакоиды*. Несколько таких тилакоидов, лежащих друг над другом, образуют *грану*. В мембранах тилакоидов находятся светочувствительные пигменты, а также переносчики электронов и протонов, которые участвуют в поглощении и преобразовании энергии света.

Внутренняя среда хлоропласта — *stroma* (*матрикс*). В ней содержатся белки, липиды, ДНК (кольцевые молекулы), РНК, рибосомы и запасные ве-

щества (липиды, зерна крахмала), а также ферменты, участвующие в фиксации углекислого газа.

Основная функция хлоропластов — осуществление фотосинтеза. Кроме того, в них происходит синтез АТФ, некоторых липидов, белков мембраны тилакоидов, а также ферментов, катализирующих реакции фотосинтеза.

Как и митохондрии, хлоропласты могут делиться, благодаря чему их количество в клетке увеличивается.

В клетках растений могут содержаться бесцветные пластиды — лейкопласты и окрашенные — хромопласты.

Лейкопласты (гр. *лейкос* — белый) не имеют гран и не содержат пигментов (рис. 2.18). В них откладываются запасные питательные вещества — крахмал, белки, жиры. В матриксе лейкопластов содержатся ДНК, рибосомы, а также ферменты, обеспечивающие синтез и расщепление запасных веществ (крахмала, белков и др.). Некоторые лейкопласты могут быть полностью заполнены крахмалом. Такие лейкопласты называются крахмальными зернами.

Хромопласты (гр. *хроматос* — краска) отличаются от других пластид своеобразной формой и окраской. Они бывают дисковидными, серповидными, ромбическими, пирамидальными и т. п. (рис. 2.19). Хромопласты содержат пигменты — каротиноиды, которые придают им желтую, оранжевую и красную окраску. Присутствие этих пигментов в хромопластах объясняет окраску плодов томатов, рябины, ландыша, шиповника, корнеплодов моркови. Внутренняя система мембран в хромопластах отсутствует.

Необходимо отметить, что в клетках могут содержаться одновременно пластиды только одного типа.

Пластиды разных типов имеют общее происхождение: все они возникают из первичных пластид образовательной ткани, имеющих вид мелких (до 1 мкм) пузырьков. Пластиды одного типа могут превращаться в пластиды другого. Так, на свету в первичных пластидах формируется внутренняя мембранная система, синтезируется хлорофилл. Первичные пластиды превращаются в хлоропласты. Это же характерно и для лейкопластов, которые могут превращаться в хлоропласты или хромопласты. Например, клубни картофеля, в клетках которых в большом количестве содержится лейкопласты, на свету приобретают зеленую окраску. При старении листьев, стеблей, созревании плодов в хлоропластах разрушаются хлорофилл и внутренняя мембранная система, и они превращаются в хромопласты. Однако хромопласты никогда не превращаются в пластиды других типов, так как являются конечным этапом развития пластид.

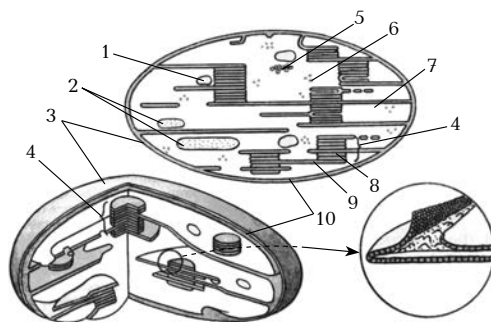


Рис. 2.17. Схема строения хлоропласта: 1 — липидная капля; 2 — зерна крахмала; 3 — наружная мембрана; 4 — грана; 5 — ДНК; 6 — рибосома; 7 — строма; 8 — тилакоид грани; 9 — тилакоид стромы; 10 — внутренняя мембрана

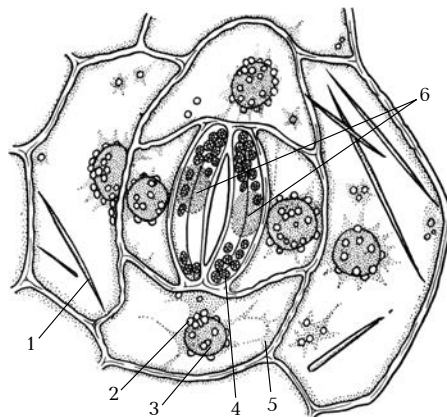


Рис. 2.18. Лейкопласты в клетках эпидермиса листа традесканции: 1 — кристалл щавелевокислого кальция; 2 — лейкопласты; 3 — ядро; 4 — хлоропласты; 5 — цитоплазма; 6 — замыкающие клетки устьица

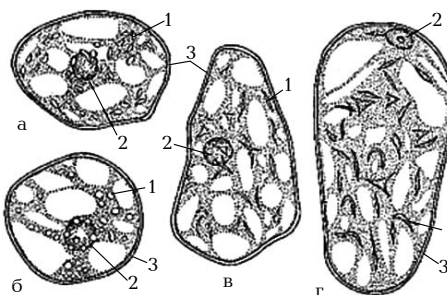


Рис. 2.19. Хромопласты в клетках мякоти зрелых плодов: а — шиповник; б — ландыш; в — рябина; г — боярышник; 1 — хромопласты; 2 — ядро; 3 — оболочка клетки

Ядро

Ядро — важнейшая структура клеток эукариот, специфический двумембранный органоид. Оно является центром управления всеми процессами жизнедеятельности клетки и хранилищем генетической информации о ней. В ядре содержится более 90 % клеточной ДНК — носителя наследственной информации.

Роль ядра в управлении процессами жизнедеятельности клеток была доказана экспериментально. В начале 30-х гг. XX в. ученый И. Гиммерлинг в качестве объекта для опытов по регенерации выбрал зеленую водоросль ацетабулярию, обитающую в Средиземном море (рис. 2.20). Эта водоросль представляет собой гигантскую (размером до 5 см) клетку сложной формы. Клетка имеет корнеподобные ризоиды, тонкий стебелек и сложной формы шляпку, в которой образуются споры. Ацетабулярия имеет единственное крупное ядро, расположенное у основания ножки. Гиммерлинг пересадил ядро от одного вида ацетабулярии другому, с иной формой шляпки. Затем шляпку удалил. Через некоторое время шляпка отрастала, но при этом ее форма оказывалась не такой, как до пересадки ядра. Отрастающая шляпка имела форму, характерную для вида, от которого взято ядро. Гиммерлинг предположил, что ядро управляет развитием шляпки с помощью каких-то веществ, выделяемых в цитоплазму. Эти вещества транспортируются по стебельку в его верхнюю часть и накапливаются там. Вот почему даже при удалении ядра может происходить регенерация. Возникла идея, что ядро управляет жизнью клетки с помощью веществ — «инструкций», посылаемых в цитоплазму.

Как выяснилось в дальнейшем, такими веществами являются молекулы информационной РНК. Именно они передают «инструкции» ядра в цитоплазму и обеспечивают синтез необходимых ферментов, управляющих жизнедеятельностью клетки, в том числе процессами регенерации.

Большинство клеток имеет одно ядро, изредка встречаются двуядерные (инфузория-туфелька) и многоядерные (некоторые протисты, гифы грибов, поперечно-полосатые мышечные волокна). Есть клетки, которые в зрелом состоянии не имеют ядра (эритроциты млекопитающих и клетки ситовидных трубок цветковых растений). Такие клетки не способны к размножению.

Обычно ядро имеет шаровидную форму. Оно может быть также линзо- и веретеновидным и даже многолопастным (в клетках зернистых лейкоцитов). В животной клетке ядро обычно расположено в центре, а в растительной, как правило, ближе к оболочке, поскольку центральную часть обычно занимает крупная вакуоль.

Общий план строения ядра одинаков у всех клеток эукариот (рис. 2.21). Оно состоит из ядерной оболочки, ядерного матрикса (нуклеоплазмы), хроматина и ядрышка (одного или нескольких).

От цитоплазмы содержимое ядра отделено *ядерной оболочкой*, состоящей из двух мембран. Наружная мембрана, граничащая с цитоплазмой клетки, в некоторых местах переходит в каналы эндоплазматического ретикулума; к ней прикреплены рибосомы. Внутренняя мембрана, контактирующая с нуклеоплазмой, гладкая. Ядерная оболочка пронизана множеством пор, по которым из ядра в цитоплазму транспортируются молекулы иРНК и тРНК, а в ядро из цитоплазмы проникают структурные белки, ферменты, нуклеотиды, молекулы АТФ, неорганические ионы и т.п.

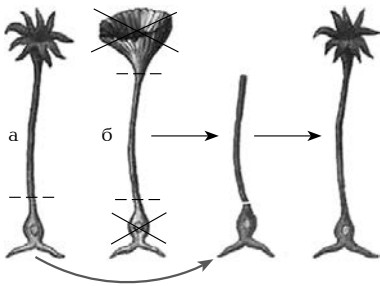


Рис. 2.20. Схема опыта с ацетабулярией

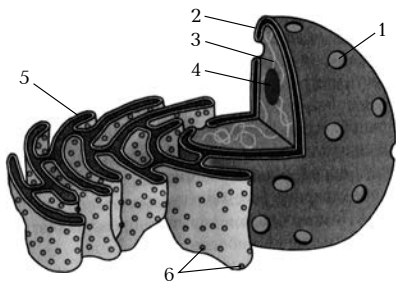


Рис. 2.21. Схема строения ядра: 1 — ядерная оболочка; 2 — ядерная пора; 3 — хроматин; 4 — ядрышко; 5 — шероховатая эндоплазматическая сеть; 6 — рибосомы

Содержимое ядра представляет собой гелеобразный матрикс, называемый *ядерным матриксом* (нуклеоплазмой). Ядерный матрикс содержит белки, РНК, а также различные ионы и нуклеотиды. В нем расположены хроматин и одно или несколько ядрышек.

На окрашенных препаратах *хроматин* представляет собой сеть тонких тяжей (фибрилл), мелких гранул или глыбок. Основу хроматина составляют нуклеопротеины — длинные нитевидные молекулы ДНК, соединенные со специфическими хромосомными белками. В состав хроматина входят также РНК, синтез которых осуществляется на ДНК.

Ядрышки — это округлые, сильно уплотненные, не ограниченные мембраной участки клеточного ядра. В ядре может быть одно, два или несколько ядрышек. Во время деления клетки ядрышки разрушаются, а в конце деления формируются вновь вокруг определенных участков хромосом — ядрышковых организаторов. Здесь происходит синтез рРНК и объединение их с молекулами белка, что ведет к образованию субъединиц рибосом. Таким образом, ядрышко представляет собой место синтеза рРНК и самосборки субъединиц рибосом.

Хромосомы. Перед делением клетки хроматин спирализуется, образуя плотные палочковидные образования — *хромосомы*. Специфические ядерные белки при этом обеспечивают правильную укладку ДНК, в результате которой ее длина во много раз уменьшается. В растянутом виде длина ДНК одной хромосомы человека может достигать 5 см.

В каждой хромосоме имеется первичная перетяжка (центромера), которая делит хромосому на два плеча (рис. 2.22). Хромосомы с равными или почти равными плечами называются *равноплечими*, с плечами неодинаковой длины — *неравноплечими*; хромосомы с одним длинным и другим очень коротким, едва заметным плечом — *палочковидными*.

Некоторые хромосомы имеют вторичную перетяжку. Последняя обычно расположена вблизи одного из концов хромосомы и отделяет маленький участок — спутник. Вторичные перетяжки называют ядрышковыми организаторами. В этой области находится участок ДНК, в котором закодирована информация о первичной структуре рибосомной РНК и вокруг которого формируется ядрышко.

Понятие о кариотипе. Каждой клетке того или иного вида живых организмов свойственны определенные число, размеры и форма хромосом. Совокупность хромосом, содержащихся в клетках определенного вида организмов, называется *кариотипом* (гр. *карион* — орех, ядро; *типос* — образец, форма). Кариотип видоспецифичен (неповторим). И даже если число хромосом в клетках каких-либо видов будет одинаковым (например, у картофея и шимпанзе по 48 хромосом в клетке), то форма и строение хромосом будут разными. Это дает возможность использовать кариотип как критерий вида (генетический критерий).

Число хромосом в зрелых половых клетках называют *гаплоидным набором* и обозначают буквой *n*.

Клетки, составляющие тело любого организма, получили название *соматических*. Ядра таких клеток содержат, как правило, *двойной*, или *диплоидный*, набор хромосом, обозначаемый *2n*. Парные хромосомы, т. е. одинаковые по форме, структуре и размерам, но имеющие разное происхождение (одна материнская, другая отцовская), называются *гомологичными*.

Клетки, имеющие более двух наборов хромосом, называют *полиплоидными* (*4n*, *8n* и т. д.).

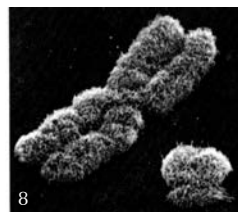
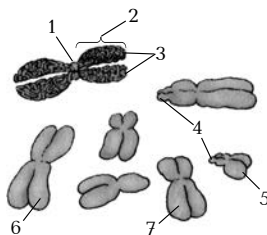
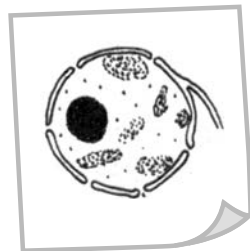


Рис. 2.22. Морфологическая организация и основные типы хромосом: 1 — центромера; 2 — плечо; 3 — сестринские хроматиды; 4 — спутник; 5 — палочковидная хромосома; 6 — равноплечая хромосома; 7 — неравноплечая хромосома; 8 — вид в электронном микроскопе

Между количеством хромосом в кариотипе и уровнем организации живых организмов прямой связи нет. Прimitивные формы могут иметь большее число хромосом, чем высокоорганизованные, и наоборот. Например, клетки радиолярий (морских планктонных протистов) содержат 1000—1600 хромосом, а клетки шимпанзе — всего 48. В клетках человека диплоидный набор составляет 46 хромосом, пшеницы мягкой — 42, картофеля — 18, мухи домашней — 12, плодовой мушки дрозофилы — 8.

Особенности строения клеток прокариот

Клетки прокариот организованы по тому же принципу, что и клетки эукариот. В их строении можно условно выделить три части: поверхностный аппарат, цитоплазму и ядерный аппарат.

Поверхностный аппарат клеток прокариот состоит из цитоплазматической мембраны и клеточной оболочки.

Строение плазмалеммы клеток прокариот сходно с таковой у эукариот. Клеточная мембрана прокариот может образовывать впячивания внутрь клетки — *мезосомы*, которые имеют вид спирали. Они принимают участие в делении клетки, служат местом прикрепления бактериальной хромосомы.

Клеточная оболочка бактерий существенно отличается по строению от оболочек клеток растений и грибов. В ней есть особая жесткая решетка, состоящая из муреина.

Муреин (лат. *мурус* — стенка) — это полисахарид, состоящий из чередующихся остатков двух аминокислот. Молекула муреина представляет собой правильную сеть из параллельно расположенных полисахаридных цепей, сшитых друг с другом короткими пептидными цепочками (рис. 2.23). Таким образом, каждая бактериальная клетка окружена сетевидным муреиновым мешком, образованным, по сути дела, одной молекулой. Муреиновый слой выполняет функцию опорного каркаса клеточной оболочки бактерий и обеспечивает ей постоянную форму.

Внутри клетки находится полужидкая цитоплазма. В отличие от клетки эукариотических организмов, у прокариот отсутствуют мембранные органоиды: ЭПС, комплекс Гольджи,

лизосомы, митохондрии и пластиды. Некоторые прокариоты имеют впячивания цитоплазматической мембраны: *ламеллярные тилакоиды*, *хроматофоры*. В них сосредоточены ферменты, участвующие в энергетическом метаболизме.

В цитоплазме прокариот находятся многочисленные рибосомы, однако они меньше эукариотических по размерам и содержанию РНК и белков.

Ядерный аппарат прокариот представлен одной кольцевой молекулой ДНК (бактериальной хромосомой). Эта молекула ДНК не окружена оболочкой, характерной для эукариот, и прикрепляется к цитоплазматической мембране. Таким образом, прокариоты не имеют оформленного ядра.

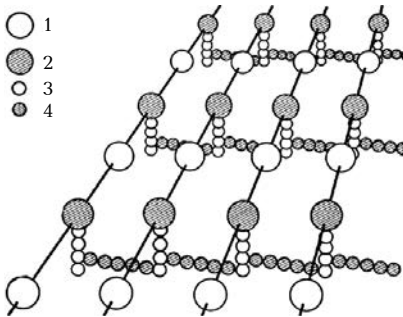


Рис. 2.23. Строение молекулы муреина: 1 — *N*-ацетилглюкозамин; 2 — *N*-ацетилмуравовая кислота; 3 — пептидная цепь; 4 — пентаглициновый мостик

Особенности строения клеток эукариот разных царств

Сходство в строении клеток эукариот. Существующие в современный период эукариотические организмы отличаются большим разнообразием: они имеют разные размеры, форму, внутреннее строение, способы питания и т. п. Несмотря на такое разнообразие, сходства между разными группами эукариот больше, чем различий. Их объединяет ряд общих признаков, прежде всего в строении и функционировании клеток:

- единый план строения клетки;
- наличие ядра, цитоплазмы с мембранными органоидами и включениями;
- принципиальное сходство процессов обмена веществ и энергии в клетке;
- сходные процессы при делении клеток.

Различия в строении клеток эукариот. Сравнение строения клеток организмов разных царств показывает, что помимо сходства они имеют множество различий.

Клетки растений и грибов имеют жесткую клеточную оболочку. Она придает клеткам механическую прочность, защищает их от повреждений и избыточной потери воды, поддерживает форму клеток и их размер, а также препятствует разрыву клеток в гипотонической среде. Клеточная оболочка участвует в поглощении и транспорте веществ в клетку и из нее. Кроме того, основная масса тела многолетних древесных растений образована главным образом оболочками клеток.

Клеточная оболочка является продуктом жизнедеятельности клетки: ее компоненты синтезируются клеткой, выделяются из цитоплазмы и собираются вне клетки, вблизи цитоплазматической мембраны.

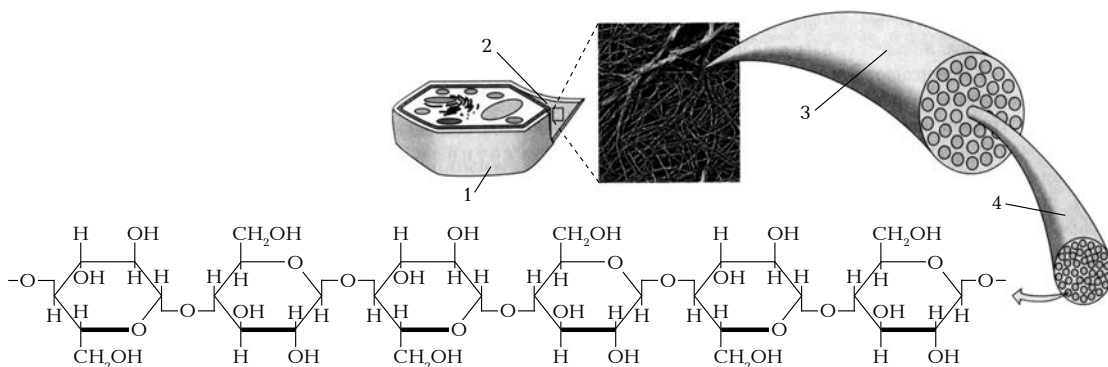
Для оболочек клеток растений и грибов характерен общий принцип организации — наличие сложного каркаса из параллельно расположенных волокон, погруженного в аморфный матрикс. Волокнистым компонентом оболочки клеток растений является целлюлоза, грибов — хитин. Линейные молекулы целлюлозы благодаря возникновению водородных связей могут соединяться в пучки или волокна (микрофибриллы). В клеточной оболочке целлюлозные волокна образуют фибриллы, которые расположены в матриксе параллельными рядами (рис. 2.24).

В состав матрикса входят различные полисахариды — гемицеллюлоза и пектиновые вещества. Цепочки этих веществ не кристаллизуются и не образуют фибрилл (поэтому их и называют аморфными).

В оболочке молодых клеток содержание волокнистых элементов невысокое (не более 30 % сухой массы). Такая оболочка называется *первичной*. Оболочка молодых клеток способна к растяжению, благодаря чему возможен рост клетки. После прекращения роста клетки на первичную оболочку изнутри откладываются новые слои целлюлозы и образуется прочная *вторичная оболочка*. Содержание волокнистых веществ в ней значительно возрастает. Например, содержание целлюлозы в древесине составляет 50 %, а в волокнах хлопчатника — 90 %.

Кроме целлюлозы, гемицеллюлозы и пектиновых веществ, в состав клеточных оболочек могут входить дополнительные компоненты, придающие им особые свойства. Так, инкрустация (включение внутрь) оболочек веществом

Рис. 2.24. Строение целлюлозы: 1 — клетка; 2 — клеточная оболочка; 3 — целлюлозная фибрилла; 4 — микрофибрилла



лигнином приводит к их *огревеснению* и повышению прочности и твердости. Часто матрикс укреплен минеральными веществами (SiO_2 , CaCO_3).

На поверхности клеточных оболочек могут откладываться *кутин* и *суберин*, вследствие чего оболочки становятся упругими и непроницаемыми для воды и других веществ. В результате содержимое клеток отмирает, а их оболочки выполняют изолирующую функцию. Такой процесс называется *опробковение* и характерен для клеток покровной ткани растений — *пробки*.

На поверхности клеток эпидермиса плодов и листьев некоторых растений откладывается *воск*, который образует водонепроницаемый слой, препятствующий потере клетками воды. Вот почему яблоки, закладываемые на хранение, нельзя мыть и вытирать во избежание повреждения воскового слоя на их поверхности.

Поскольку растения являются автотрофами, т.е. сами из неорганических веществ синтезируют необходимые для жизнедеятельности органические вещества за счет энергии света в процессе фотосинтеза, клетки листьев и молодых стеблей содержат хлоропласты. В мембранах хлоропластов заключены светочувствительные пигменты — хлорофилл и каротиноиды. В клетках растений могут присутствовать и другие пластиды — хромопласты и лейкопласты. Для клеток растений характерны также крупные вакуоли, являющиеся резервуаром воды и выполняющие функцию осморегуляции. В клетках большинства растений отсутствуют центриоли (исключение составляют мхи и папоротники). Запасным питательным углеводом является крахмал, который откладывается в виде крахмальных зерен.

Клетки животных в поверхностном аппарате не имеют оболочки (подумайте, почему). Все животные — гетеротрофы. Источником углерода для синтеза собственных органических веществ клеток являются органические вещества, поступающие в организм животного с пищей. Эти же пищевые вещества, например углеводы, служат для животных источником энергии. В клетках животных отсутствуют пластиды. Нет в клетках животных и крупных вакуолей. Есть центриоли. Запасным углеводом является гликоген, который откладывается в виде гранул в цитоплазме. В поверхностном аппарате некоторых клеток животных имеются органоиды движения — реснички или жгутики.

Для *клеток грибов*, как и для растений, характерна жесткая клеточная оболочка. Волокнистые элементы клеточной оболочки у грибов образованы полисахаридом *хитином*. Хитин не переваривается большинством организмов из-за отсутствия фермента хитиназы, поэтому клеточная оболочка надежно защищает внутреннее содержимое от повреждения другими организмами. Тело гриба (грибница) представляет собой совокупность нитевидных трубчатых структур — гиф, образованных одним рядом клеток. У некоторых грибов гифы не разделены перегородками на отдельные клетки; в этом случае возникает грибница, состоящая из одной гигантской многоядерной клетки.

Грибы, как животные и многие бактерии, питаются готовыми органическими соединениями. В их клетках отсутствуют пластиды. Они — гетеротрофы. Запасным питательным веществом в клетках грибов, как и животных, является углевод *гликоген*.

Протисты — неоднородная группа организмов. Существуют определенные различия в питании и строении клеток разных групп протистов. По типу питания они подразделяются на три группы: авто-, автогетеро- и гетеротрофные протисты. *Автотрофные протисты* синтезируют органические вещества из неорганических, используя энергию солнечного света. В их клетках содержатся хлоропласты с хлорофиллом. Хлоропласты имеют чрезвычайно разнообразную форму: они могут быть чаше- (хлорелла) и бокаловидными (хламидомонада), иметь вид спирально закрученной ленты (спиригира) и т. п.

Хлоропласты могут также формироваться в клетках *автогетеротрофных протистов*, и организмы этой группы могут осуществлять фотосинтез. Эти две группы организмов, как правило, имеют в составе поверхностного аппарата оболочку (углеводную или белково-углеводную). Одноклеточные формы имеют светочувствительный глазок и сократительные вакуоли (у пресноводных форм).

Гетеротрофные протисты потребляют готовые органические вещества, поэтому у них отсутствуют пластиды и светочувствительный глазок. Не имеют они и оболочки.

Клетки некоторых одноклеточных и колониальных водных протистов снабжены ресничками (инфузории) или жгутиками (хламидомонада, эвглена зеленая, вольвокс).

Деление клетки. Клеточный цикл

Биологическое значение деления клеток. Новые клетки возникают в результате деления уже существующих. Если делится одноклеточный организм, то из него образуются два новых, т. е. деление клеток обеспечивает непрерывность жизни.

Многоклеточный организм также начинает свое развитие чаще всего с одной-единственной клетки — зиготы. Путем многократных делений образуется огромное количество клеток, которые и составляют организм.

Жизненный, или клеточный, цикл. Жизнь клетки от момента ее появления в процессе деления материнской клетки и до ее собственного деления (включая и само это деление) или гибели есть жизненный, или клеточный, цикл. В течение этого цикла клетка растет, видоизменяется таким образом, чтобы успешно выполнять свои функции в организме (этот процесс называется дифференцировкой клетки). Далее клетка выполняет свои функции в течение определенного времени, по истечении которого делится, образуя новые клетки, или отмирает.

У различных видов организмов клеточный цикл занимает разное время: у бактерий — около 20 мин, у инфузории-туфельки — от 10 до 20 ч. Клетки тканей многоклеточных организмов на ранних стадиях развития делятся очень часто, а затем клеточные циклы значительно удлиняются. Например, сразу после рождения животных нервные клетки головного мозга делятся часто: 80 % головного мозга формируется именно в это время. Однако большинство из этих клеток быстро теряет способность к делению и доживает, не делясь, до естественной смерти животного.

Клеточный цикл включает в себя интерфазу и митоз (рис. 2.25).

Интерфаза — это жизнь клетки от одного деления до другого. Она состоит из трех периодов: пресинтетического, синтетического и постсинтетического. Периоды интерфазы отличаются друг от друга по общему содержанию в клетке белка, ДНК, РНК и уровню их синтеза.

Пресинтетический период (G_1) — наиболее продолжительная часть интерфазы. Он может продолжаться у различных видов клеток от нескольких часов до нескольких суток. Этот период следует сразу же за делением. В это время клетка растет, накапливая энергию и вещества.

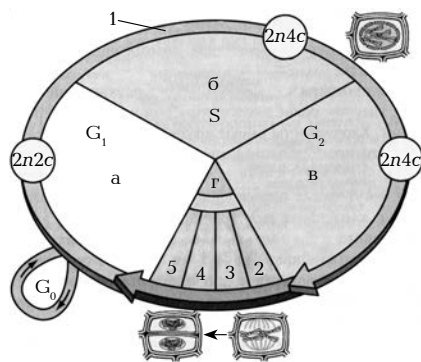


Рис. 2.25. Жизненный цикл клетки многоклеточного организма ($2n$ — диплоидный набор хромосом; $2c$, $4c$ — количество сестринских хроматид в наборе): а — пресинтетический период (G_1); б — синтетический период (S); в — постсинтетический период (G_2); г — митоз (M); 1 — интерфаза; 2 — профаза; 3 — метафаза; 4 — анафаза; 5 — телофаза; G_0 — период покоя

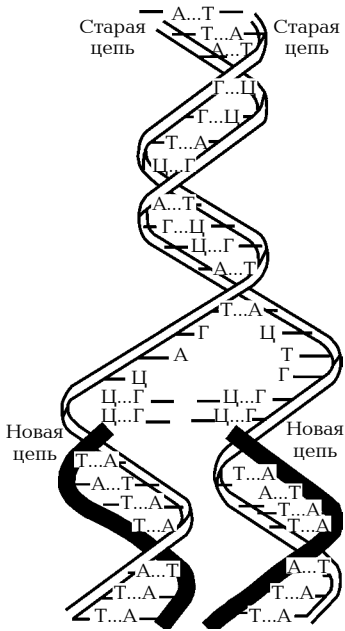


Рис. 2.26. Схема репликации ДНК. Процесс связан с разделением пар оснований аденин—тимин (А—Т) и гуанин—цитозин (Г—Ц) и раскручиванием двух цепей исходной спирали. Каждая цепь используется как матрица для синтеза новой цепи

В G_1 -периоде наблюдается рост клетки, главным образом за счет синтеза клеточных белков, что определяется увеличением количества РНК на клетку. К концу G_1 -периода клетка достигает, как правило, размера материнской, в клетке увеличивается количество рибосом, митохондрий и других органоидов. Происходит синтез белков, необходимых для прохождения следующего периода.

Синтетический период (S) включает в себя удвоение ДНК, синтез белков, необходимых для формирования хромосом, а также увеличение количества РНК. В G_1 -периоде клетки содержат ДНК в 2 раза меньше ($2n$, $2c$, где c — сестринские хроматиды), чем непосредственно перед делением. К концу этого периода каждая хромосома уже состоит из двух идентичных *хроматид*, соединенных друг с другом в области центромеры. В S -периоде содержание ДНК колеблется от $2c$ в начале периода до $4c$ в конце вследствие ее удвоения. В S -период происходит удвоение центриолей.

Удвоение молекулы ДНК называют *репликацией*, или *регупликацией*. Во время репликации часть молекулы «материнской» ДНК раскручивается с помощью специального фермента на две нити (рис. 2.26). Это достигается разрывом водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями. Далее к каждому нуклеотиду разошедшихся нитей ДНК фермент ДНК-полимераза подстраивает комплементарный ему нуклеотид. Таким образом образуются две двуцепочечные молекулы ДНК, в состав каждой из которых входят одна цепочка «материнской» молекулы и одна синтезированная («дочерняя») цепочка. Такой способ удвоения был назван *полуконсервативным*. Образовавшиеся две молекулы ДНК абсолютно идентичны.

Удвоение ДНК — сложный процесс, протекающий с участием нескольких ферментов и требующий затрат энергии.

Постсинтетический период (G_2) наступает после удвоения хромосом. В этот период содержание ДНК в клетке составляет $2n4c$. Период длится от одного до нескольких часов. За это время накапливается энергия для предстоящего митоза и синтезируются белки микротрубочек, которые впоследствии образуют веретено деления, белки-ферменты, обеспечивающие прохождение митоза. В G_2 -периоде наблюдается также синтез РНК, которые обеспечивают синтез белков в G_1 -периоде. Клетка может приступить к митозу.

Клеточный цикл представляет собой однонаправленный процесс, где клетка последовательно проходит разные его периоды, без их пропуска или возврата к предыдущим стадиям.

Однако не все клетки обязательно после деления вступают на путь подготовки к новому делению. Некоторые клетки, вышедшие из деления, могут переходить в стадию покоя, или в G_0 -период, и находиться в нем продолжительное время. В многоклеточных организмах такие клетки утрачивают способность к размножению, т. е. теряют способность переходить из периода покоя в новый период деления, т. е. в G_1 -период, который начинает путь клетки к ее делению. К подобного рода клеткам относятся нейроны, мышечные клетки, клетки хрусталика и многие другие. Существуют также органы с редко делящимися клетками; так, например, клетки печени могут возвращаться в митотический цикл через несколько месяцев покоя.

Быстро размножающиеся клетки взрослых организмов (например, кроветворные, росткового слоя эпидермиса, тонкого кишечника) могут входить в митотический цикл каждые 12—36 ч. Самые короткие митотические циклы — около 30 мин — наблюдаются при быстром дроблении яиц низших животных (иглокожие, земноводные).

Деление клетки — митоз. За постсинтетическим периодом интерфазы следует деление клетки — митоз. *Митоз* (гр. *митос* — нить) — это процесс непрямого деления соматических клеток эукариот, в результате которого из одной материнской клетки образуются две дочерние с таким же набором хромосом. Он является основным способом деления клеток эукариот. Продолжительность митоза у животных клеток составляет 30–60 мин, а у растительных — 2–3 ч. Митоз включает в себя два процесса — деление ядра (*кариокинез*) и деление цитоплазмы (*цитокинез*).

Фазы митоза. В митозе выделяют четыре последовательные фазы: профаза, метафаза, анафаза и телофаза (рис. 2.27).

Профаза. В начале этой фазы ядерная оболочка фрагментируется (распадается), увеличивается объем, занимаемый хроматином. Хроматин спирализуется, вследствие чего формируются хромосомы. К концу профазы видно, что каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид. Постепенно растворяются ядрышки. Частично спирализованные хромосомы оказываются в цитоплазме и располагаются в ней беспорядочно (хаотически). Центросомы, состоящие из двух центриолей каждая, расходятся к полюсам клетки. Формируется *веретено деления*, часть нитей которого идет от полюса к полюсу, а часть — прикрепляется к центромерам хромосом.

В **метафазе** хромосомы достигают максимальной спирализации и располагаются упорядоченно на экваторе клетки. Образуется так называемая *метафазная пластинка*, состоящая из выстроенных в одной плоскости хромосом. К каждой хромосоме с двух сторон прикреплены нити веретена деления, идущие от полюсов клетки. В эту фазу легко подсчитывать число хромосом, изучать их морфологические особенности.

В **анафазе** каждая хромосома расщепляется на две идентичные хроматиды (дочерние хромосомы), которые с помощью нитей веретена деления растягиваются к противоположным полюсам клетки. Таким образом, за счет идентичности дочерних хроматид у двух полюсов клетки оказывается одинаковый генетический материал.

В **телофазе** дочерние хромосомы деспирализуются у полюсов клетки и ДНК становится доступной для транскрипции. Вокруг хромосом у каждого

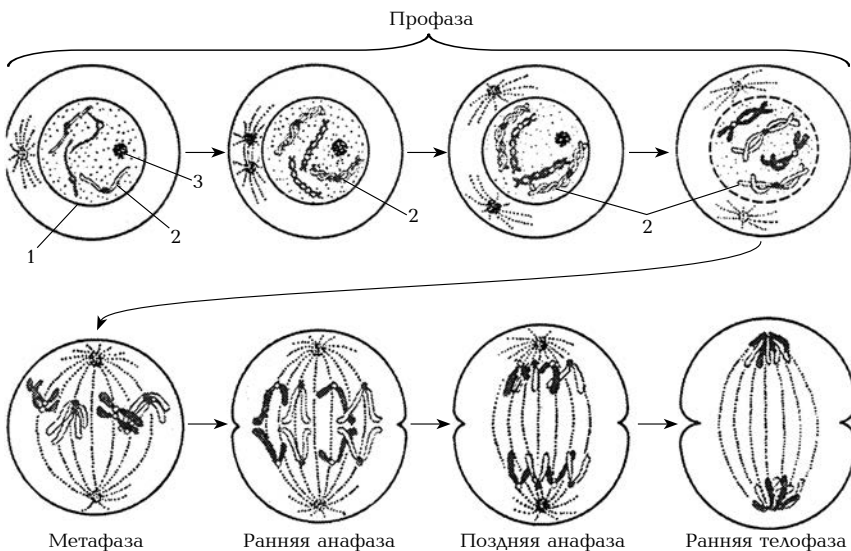
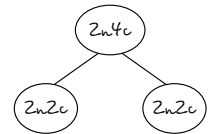
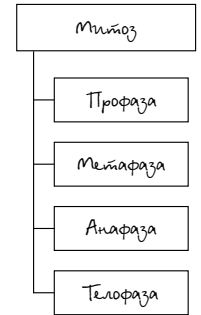


Рис. 2.27. Схематическое изображение стадий митоза: 1 — ядерная мембрана; 2 — хромосома; 3 — ядрышко

полюса формируется ядерная оболочка, в ядрах образуются ядрышки. Нити веретена деления распадаются. На этом кариокинез заканчивается, и начинается цитокинез — деление клетки на две дочерние клетки. Этот процесс в животных и растительных клетках происходит по-разному.

У животных клеток в экваториальной плоскости возникает кольцевая перетяжка. Она углубляется до тех пор, пока не произойдет разделение двух дочерних клеток (см. рис. 2.27). Растительные клетки не могут делиться таким образом, так как имеют жесткую клеточную стенку. В них образуется внутриклеточная срединная пластинка, которая формируется из содержимого пупырьков комплекса Гольджи.

С момента разделения дочерних клеток каждая из них вступает в интерфазу нового клеточного цикла.

Таким образом, в результате митоза из одной клетки возникают две дочерние с тем же набором хромосом.

Биологическое значение митоза заключается в воспроизводстве клеток с количественно и качественно одинаковой генетической информацией. Это обеспечивается тем, что при репликации удваиваются ДНК и возникают две одинаковые хроматиды в составе каждой из хромосом, которые в процессе митоза равномерно распределяются между дочерними клетками. Митоз необходим для нормального развития и роста многоклеточного организма. Он же лежит в основе процессов заживления повреждений и бесполого размножения.

Онкологические заболевания как проблема неконтролируемого деления клеток. Процессы деления клетки регулируются двумя разными видами генов: протоонкогены кодируют белки, стимулирующие деление клетки, а гены-супрессоры оказывают подавляющее действие на деление клетки. Химические канцерогены, богатые энергией лучи или вирусы могут вызывать мутации (изменение структуры ДНК), которые превращают протоонкогены в активные онкогены. Нарушение регуляции деления клетки генными продуктами таких онкогенов приводит к неуправляемому размножению клеток — образованию опухоли. Однако онкологические заболевания могут возникнуть и в результате мутаций на генах, подавляющих опухоли. Так, при раке сетчатки мутированным оказывается тот ген, который отвечает за синтез белка, останавливающего неконтролируемое деление клетки.

Как правило, клетки с поврежденными ДНК сами разрушаются в результате запрограммированной смерти клеток (апоптоза, см. ниже) и тем самым предупреждают образование опухоли.

Клеточная гибель. Гибель (смерть) отдельных клеток или их групп постоянно встречается у многоклеточных организмов, как и у одноклеточных. Гибель клеток можно разделить на две категории: некроз (гр. *некрос* — мертвый) и апоптоз (гр. *апоптозис* — опадение лепестков от цветков) — особый тип смерти клетки путем разделения ее на части, который часто называют программируемой клеточной смертью или даже клеточным самоубийством.

Некроз обычно связывается с нарушением внутриклеточного гомеостаза в результате нарушения проницаемости клеточных мембран. Это ведет к изменению концентрации ионов в клетке, необратимым изменениям митохондрий, после чего прекращаются все жизненные функции, включая синтез макромолекул. Некроз вызывают повреждения цитоплазматической мембраны, подавление активности мембранных насосов под действием многих ядов, а также необратимые изменения энергетики при недостатке кислорода (при ишемической болезни происходит закупорка кровеносного сосуда) или отравлении митохондриальных ферментов (действие цианидов).

При повышении проницаемости цитоплазматической мембраны клетка набухает за счет ее обводнения, в цитоплазме увеличивается концентрация

ионов Na^+ и Ca^{2+} , закисляется цитоплазма, набухают вакуолярные компоненты и происходит разрыв их мембран: прекращается синтез белков в гиалоплазме; освобождаются лизосомные ферменты гидролазы и наблюдается лизис (растворение) клетки. Наряду с этими изменениями в цитоплазме изменяется и клеточное ядро: оно вначале набухает, ядерная оболочка разрывается и затем наступает растворение ядра. Особенность некроза состоит в том, что гибели подвергаются большие группы клеток (например, при инфаркте миокарда из-за прекращения снабжения кислородом участка сердечной мышцы). Обычным является то, что участок некроза подвергается атаке лейкоцитов и в зоне некроза развивается воспалительная реакция.

Апоптоз. В процессе развития и жизни организмов часть клеток постоянно гибнет, но без их физического или химического повреждения. На первый взгляд, происходит их «беспричинная» смерть. Гибель клеток наблюдается практически на всех стадиях существования организма и даже в эмбриональный период. Например, погибает часть предшественниц нервных (нейробластов) и половых (гонадоцитов) клеток, клетки некоторых органов при метаморфозах насекомых и амфибий (исчезновение хвоста у головастика и жабры у тритона) и др.

Во взрослом организме также постоянно происходит «спонтанная» гибель клеток. Миллионами гибнут клетки крови — нейтрофилы, клетки эпидермиса кожи, клетки тонкого кишечника — энтероциты. Погибают фолликулярные клетки яичника после овуляции, клетки молочной железы после лактации. Особенно много клеток гибнет без непосредственного повреждения при различных патологических процессах. Например, удаление гипофиза приводит к гибели клеток надпочечников. При дегенерации аксонов в поврежденном периферическом нерве взрослого животного происходит гибель так называемых шванновских клеток, образующих оболочку аксонов.

Существует предположение, что инициация клеточной смерти осуществляется разными способами. Во-первых, ученые полагают, что для того, чтобы оставаться живыми, клетки многоклеточного организма нуждаются в определенных сигналах. При отсутствии таковых или недостатке питательных веществ в клетках запускается программа «самоубийства», или программируемой смерти. Например, клетки молочной железы погибают при падении уровня гормона прогестерона. Во-вторых, клетки могут получать сигналы, которые в клетках-мишенях запускают процессы, приводящие к гибели по типу апоптоза. Так, например, гормон гидрокортизон вызывает гибель лимфоцитов, тироксин (гормон щитовидной железы) — апоптоз клеток хвоста головастика. В-третьих, апоптотическая гибель клетки может быть вызвана внешними факторами, например радиацией.

Таким образом, апоптоз как бы прерывает непрерывность клеточных делений. Однако от своего появления в ходе деления до апоптоза клетка проходит огромное количество нормальных клеточных циклов. После каждого из них клетка должна перейти либо к митотическому циклу, либо к апоптозу.

Амитоз, или прямое деление, — это деление интерфазного ядра путем перетяжки. При амитозе веретено деления не образуется и хромосомы в световом микроскопе неразличимы. Распределение генетического материала между дочерними ядрами и, следовательно, между клетками произвольное (как правило, неравномерное).

Такое деление встречается у одноклеточных организмов (например, амитозом делятся большие полиплоидные ядра инфузорий). Амитоз характерен для некоторых высокоспециализированных, с ослабленной физиологической активностью, дегенерирующих, обреченных на гибель клеток растений и животных, т. е. клеток, для которых возврат в митотический цикл, подготовка

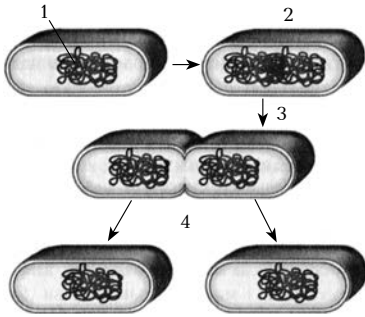


Рис. 2.28. Простое бинарное деление: 1 — бактериальная хромосома; 2 — удвоение хромосомы; 3 — рост в длину; 4 — деление на две клетки

к новому делению и митоз невозможны. Амитоз наблюдается при различных патологических процессах, таких как злокачественный рост, воспаление и т. п.

Амитоз можно наблюдать и в тканях растущего клубня картофеля, эндосперме семян, стенках завязи пестика и паренхиме черешков листьев, т. е. в тех случаях, когда организму требуется быстрое увеличение количества клеток. У животных и человека такой тип деления характерен для клеток печени, хрящей, роговицы глаза.

При амитозе часто наблюдается только деление ядра: в этом случае могут возникнуть двух- и многоядерные клетки. Если же за делением ядра следует деление цитоплазмы, то распределение клеточных компонентов, как и ДНК, осуществляется произвольно (неравномерно).

Прямое бинарное деление характерно для клеток прокариот. Бактериальные клетки содержат только одну кольцевую молекулу ДНК. Перед делением клетки ДНК реплицируется. В результате образуются две идентичные молекулы ДНК. Каждая из них прикрепляется к цитоплазматической мембране (рис. 2.28). Затем цитоплазматическая мембрана вырастает между двумя молекулами ДНК так, что делит клетку надвое. В каждой клетке оказывается по одной идентичной молекуле ДНК. Такой процесс получил название прямого бинарного деления.

Мейоз и его биологическое значение

Мейоз (гр. *мейозис* — уменьшение) — это особый способ деления клетки, в результате которого из диплоидной материнской клетки возникают четыре гаплоидные дочерние клетки. Путем мейоза образуются споры и половые клетки — *гаметы*. Из-за редукции (уменьшения) вдвое хромосомного набора в каждую гаплоидную клетку попадает по одной хромосоме из каждой пары гомологичных хромосом, имеющих в материнской клетке. В ходе последующего *оплодотворения* (*слияния гамет*) организм нового поколения получит диплоидный набор хромосом (как и у родительских особей), т. е. сохранит присущий данному виду организмов *кариотип*.

Механизм мейоза. Мейоз представляет собой непрерывный процесс, состоящий из двух последовательных делений, называемых мейозом I и мейозом II. В каждом делении различают профазу, метафазу, анафазу и телофазу. В результате мейоза I число хромосом уменьшается вдвое (*редукционное деление*); при мейозе II гаплоидность клеток сохраняется (*эквационное деление*).

В профазе мейоза I (или профазе I) происходит постепенная спирализация хроматина с образованием хромосом (рис. 2.29). Гомологичные хромосомы сближаются, образуя общую структуру, состоящую из двух хромосом (*бивалент*) и четырех хроматид (*тетрада*). Сближение двух гомологичных хромосом по всей длине с образованием бивалентов называется *конъюгацией*. Затем между гомологичными хромосомами возникают силы отталкивания. Хромосомы вначале делятся в области центромер, оставаясь соединенными в области плеч, и образуют перекресты (*хиазмы*). Затем расхождение хроматид постепенно увеличивается, и перекресты смещаются к их концам. В процессе конъюгации между некоторыми хроматидами гомологичных хромосом может происходить обмен участками — *кроссинговер*, приводящий к рекомбинации генетического материала. К концу профазы исчезают ядерная оболочка и ядрышки, формируется веретено деления.

В метафазе I хроматиды располагаются в экваториальной плоскости клетки. В этот момент спирализация хромосом достигает максимума.

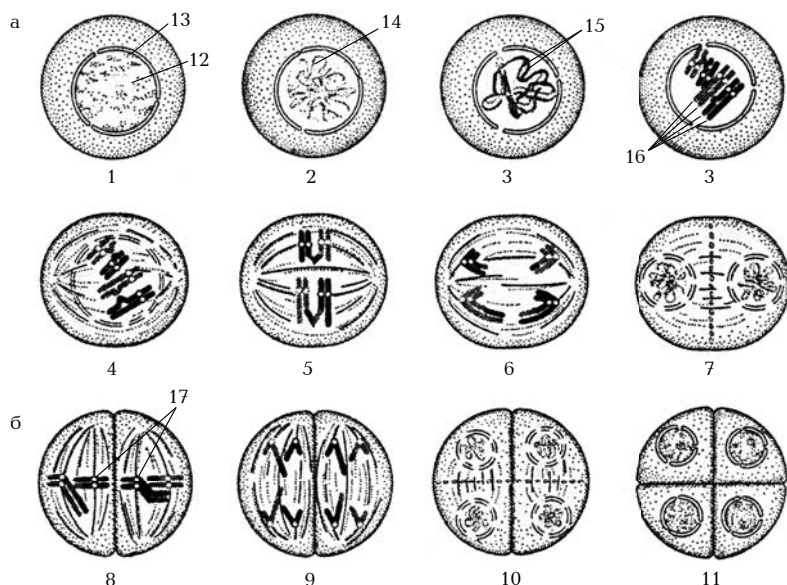


Рис. 2.29. Схема мейоза: а — первое деление мейоза; б — второе деление мейоза; 1 — интерфаза; 2 — ранняя профазы I; 3 — профазы I; 4 — поздняя профазы I; 5 — метафазы I; 6 — анафазы I; 7 — телофазы I; 8 — метафазы II; 9 — анафазы II; 10 — телофазы II; 11 — клетки, возникшие в результате мейоза; 12 — ядро; 13 — ядерная оболочка; 14 — хроматин; 15 — гомологичные хромосомы; 16 — гомологичные хроматиды; 17 — центромеры

В анафазе I гомологичные хромосомы, состоящие из двух хроматид каждая, окончательно отходят друг от друга и растягиваются нитями веретена деления к противоположным полюсам клетки. Следовательно, из каждой пары гомологичных хромосом в дочернюю клетку попадает только одна. В результате число хромосом уменьшается вдвое (происходит редукция).

В телофазе I формируются ядра и делится цитоплазма — образуются две дочерние клетки. Дочерние клетки содержат гаплоидный набор хромосом, каждая хромосома состоит из двух хроматид.

Короткий промежуток времени между первым и вторым мейотическими делениями называется *интеркинезом*. В это время не происходит репликации ДНК, и две дочерние клетки быстро вступают в мейоз II, протекающий по типу митоза.

В профазе II происходят те же процессы, что и в профазе митоза.

В метафазе II хромосомы располагаются в экваториальной плоскости.

В анафазе II хроматиды каждой хромосомы отходят к противоположным полюсам клетки.

В телофазе II образуются четыре гаплоидные клетки.

Таким образом, в результате мейоза из одной диплоидной материнской клетки ($2n$) образуются 4 клетки с гаплоидным набором хромосом (n). Кроме того, в профазе I происходит рекомбинация генетического материала (кроссинговер), а в анафазе I и II — случайное отхождение хромосом и хроматид к одному или другому полюсу. Эти процессы являются причиной комбинативной изменчивости (см. с. 360). Мейоз представляет собой два следующих одно за другим деления генетического материала и цитоплазмы, перед которыми репликация происходит только один раз. Энергия и вещества, необходимые для обоих делений мейоза, накапливаются во время интерфазы I; интерфаза II практически отсутствует.

Ход мейоза находится под контролем как генотипа организма, так и половых гормонов (у животных), фитогормонов (у растений) и множества иных факторов (например, температуры).

Биологическое значение мейоза. Мейоз — обязательное звено в жизненном цикле эукариот, размножающихся половым путем. Значение мейотического деления заключается в следующем.

1. Мейоз обеспечивает постоянство числа хромосом вида, так как образующиеся в результате мейоза клетки несут гаплоидный набор хромосом. Редукция числа хромосом от $2n$ до n происходит в анафазе первого деления мейоза при расхождении гомологичных хромосом. Диплоидное число хромосом восстанавливается при оплодотворении.

2. Мейоз обеспечивает перемешивание хромосом, поступающих в зиготу с отцовской и материнской гаметам, при этом возникают различные их комбинации, что усиливает различия между организмами (комбинативная изменчивость). Свободная организация хромосом происходит в анафазе первого деления.

3. Генетическая рекомбинация хромосом дополняется кроссинговером в профазе I мейоза, который обеспечивает рекомбинацию генов одной пары гомологичных хромосом.

ГЛАВА 3

Обмен веществ и превращение энергии в организме

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Понятие обмена веществ. Существование живых организмов возможно только благодаря поступлению в них питательных веществ из окружающей среды, их превращению и выведению из организма конечных продуктов жизнедеятельности. Совокупность всех химических изменений и всех видов превращений веществ и энергии в организме, обеспечивающих его развитие, жизнедеятельность, самовоспроизведение и связь с окружающей средой, называется *обменом веществ*, или *метаболизмом* (гр. *метаболе* — перемена, превращение). Эти сложные химические превращения состоят из двух взаимосвязанных и одновременно протекающих процессов — пластического обмена, или ассимиляции, и энергетического обмена, или диссимиляции.

Ассимиляция и диссимиляция. В организмах одновременно происходят процессы двух типов: синтез и расщепление веществ. Совокупность реакций синтеза сложных органических веществ из более простых называется *ассимиляцией* (лат. *ассимиляцио* — усвоение), или *анаболизмом* (гр. *анаболе* — подъем). Еще одно название этих процессов — *пластический обмен* (гр. *пластос* — образованный). В ходе пластического обмена синтезируются вещества, которые используются для построения клеток и обновления клеточных структур. На осуществление этих процессов расходуется определенное количество энергии.

Расщепление сложных органических веществ и превращение их в конечные продукты обмена: углекислый газ, воду, аммиак (последний образуется при расщеплении азотсодержащих соединений) — называется *диссимиляцией* (лат. *дис* — приставка, означающая нарушение, и *ассимиляцио* — усвоение), или *катаболизмом* (гр. *катаболе* — разрушение). Реакции катаболизма сопровождаются выделением энергии, часть которой теряется, рассеиваясь в виде тепла, а часть — запасается в виде молекул АТФ.

Совокупность реакций расщепления сложных соединений, сопровождающихся выделением энергии и синтезом молекул АТФ, называется *энергетическим обменом*. Центральную роль в энергетическом обмене играет АТФ: в макроэргических связях АТФ аккумулируется энергия, выделяемая в процессе расщепления органических веществ. Энергия расходуется на обеспечение процессов пластического обмена, всех видов движения, в том числе и мышечного, для передачи нервных импульсов, поддержания постоянной температуры тела у птиц и млекопитающих и т. п. Значительная часть энергетических ресурсов клетки тратится и на активный перенос веществ через цитоплазматическую мембрану (в клетку и из нее). Во время этих процессов АТФ превращается в АДФ. Однако запас АТФ может обеспечить энергией работу клетки только в течение нескольких секунд. В связи с этим расщепление органических веществ в клетках происходит постоянно, и производится такое количество АТФ, которое было израсходовано клеткой, т. е. синтез АТФ в клетках постоянен.

Таким образом, ассимиляция и диссимиляция — это две взаимосвязанные стороны единого процесса обмена веществ и превращения энергии в живых организмах.

Процессы ассимиляции не всегда уравновешены процессами диссимиляции. Так, в развивающихся организмах преобладают процессы ассимиляции. Благодаря этому обеспечивается накопление веществ и рост организмов. При интенсивной физической работе, недостатке питательных веществ или старении преобладают процессы диссимиляции. Если потерю массы и энергии не компенсировать усиленным питанием, то происходит постепенное истощение организма, приводящее в конце концов к его гибели.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН

Этапы энергетического обмена. Большинство живых существ, обитающих на Земле, относятся к *аэробам* (гр. *аэр* — воздух, *биос* — жизнь), т. е. к организмам, которые используют в процессах обмена веществ кислород из окружающей среды. У аэробов энергетический обмен происходит в три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный (рис. 3.1). В результате этого органические вещества распадаются до простейших неорганических соединений, а выделившаяся энергия запасается в форме АТФ.



Рис. 3.1. Этапы энергетического обмена: а — подготовительный; б — бескислородный (гликолиз); в — кислородный

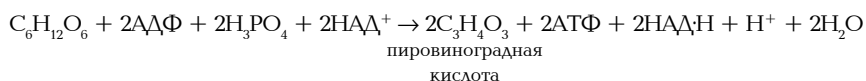
Подготовительный этап заключается в ферментативном расщеплении крупных органических молекул до более простых: полисахаридов — до моносахаридов, липидов — до глицерина и высших карбоновых кислот, белков — до аминокислот. Эти процессы происходят в пищеварительной системе животных или цитоплазме клеток. Энергии при этом выделяется мало, и она не запасается в виде АТФ, а рассеивается в виде тепла. Более того, для протекания реакций расщепления необходимы определенные затраты энергии. Образующиеся в ходе подготовительного этапа соединения (моносахариды, глицерин, высшие карбоновые кислоты, аминокислоты и др.) используются клетками организма в реакциях пластического обмена, а также для дальнейшего расщепления с целью получения энергии.

Суть *бескислородного*, или *неполного*, *этапа* состоит в дальнейшем ферментативном расщеплении органических веществ, полученных в ходе подготовительного этапа. Кислород в реакциях этого этапа не участвует, поэтому он и называется бескислородным.

Основное вещество, используемое клетками для высвобождения энергии и запасаения ее в форме АТФ, — глюкоза, продукт расщепления полисахаридов. Поэтому бескислородный этап энергетического обмена с участием глюкозы называется гликолизом.

Гликолиз — это многоступенчатый процесс бескислородного расщепления молекул глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) до молекул трехуглеродной пировиноградной кислоты ($C_3H_4O_3$).

Реакции гликолиза катализируются многими ферментами и протекают в цитоплазме клеток. В ходе гликолиза при расщеплении 1 моль глюкозы выделяется 200 кДж энергии. До 60 % рассеивается в виде тепла, а оставшихся 40 % энергии достаточно для синтеза двух молекул АТФ из АДФ. Схематически гликолиз можно выразить суммарным уравнением:



(НАД⁺ — никотинамидадениндинуклеотид, переносчик атомов водорода).

Продукт гликолиза — *пировиноградная кислота* — включает в себе значительную часть энергии, поэтому в клетках аэробных организмов после гликолиза следует завершающий этап энергетического обмена — кислородный (*полное кислородное расщепление*, или *клеточное дыхание*). Пировиноградная кислота поступает в матрикс митохондрий и там полностью окисляется до конечных продуктов — CO_2 и H_2O . При этом используется кислород, поступающий в клетки организма из окружающей среды. Высвобождаемая энергия идет на синтез большого количества АТФ. CO_2 , образуемый на данном этапе, выделяется из митохондрий в цитоплазму клетки, а затем в окружающую среду.

Аэробное дыхание осуществляется в митохондриях клеток при участии кислорода и состоит из трех стадий.

1. Окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты. При участии ферментов пировиноградная кислота взаимодействует со сложным органическим веществом коэнзимом А. В результате от нее отщепляется молекула углекислого газа, атом водорода, связывающийся с НАД⁺, который восстанавливается до НАДН, и образуется соединение ацетил-коэнзим А.

2. Цикл трикарбоновых кислот (цикл лимонной кислоты, цикл Кребса) включает большое число ферментативных реакций. Внутри матрикса митохондрий ацетил-коэнзим А взаимодействует с трикарбоновой щавелевоуксусной кислотой с образованием лимонной кислоты, в ходе преобразования которой высвобождаются две молекулы CO_2 , отщепляются атомы водорода

и запасается энергия в форме АТФ. Отщепившиеся атомы водорода связываются с НАД⁺ и ФАД (флавинадениндуклеотид) с образованием НАД·Н и ФАД·Н. Углекислый газ выводится из митохондрий и клеток. Энергия, запасенная в молекулах НАД·Н и ФАД·Н, используется для синтеза АТФ на следующей стадии.

3. Окислительное фосфорилирование — многоступенчатый процесс переноса электронов от восстановленных НАД·Н и ФАД·Н на конечный акцептор — кислород. В результате функционирования электрон-транспортной цепи атомы водорода от НАД·Н и ФАД·Н переносятся через внутреннюю мембрану митохондрий и снаружи разделяются на протоны и электроны. Протоны остаются в межмембранном пространстве, создавая протонный резервуар (H⁺-резервуар; создается запас энергии), а электроны по встроенным в мембрану переносчикам возвращаются обратно и соединяются с кислородом — создается мембранный потенциал. Протоны из H⁺-резервуара с высокой скоростью движутся в матрикс митохондрий, проходя через специальные каналы во встроенном во внутреннюю мембрану митохондрий ферменте АТФ-синтетазы. Они поставляют энергию для синтеза АТФ из АДФ и неорганического фосфата (рис. 3.2). Протоны, пройдя через канал АТФ-синтетазы, взаимодействуют с заряженными частицами кислорода с образованием воды.

В результате окисления двух молекул пировиноградной кислоты синтезируются 36 молекул АТФ. Кроме того, две молекулы АТФ запасаются в ходе бескислородного расщепления каждой молекулы глюкозы. Таким образом, суммарно полное кислородное расщепление глюкозы можно представить следующим уравнением:



Для синтеза АТФ многие организмы используют энергию, высвобождаемую при окислении углеводов, но в качестве субстрата дыхания могут служить продукты расщепления жиров и белков.

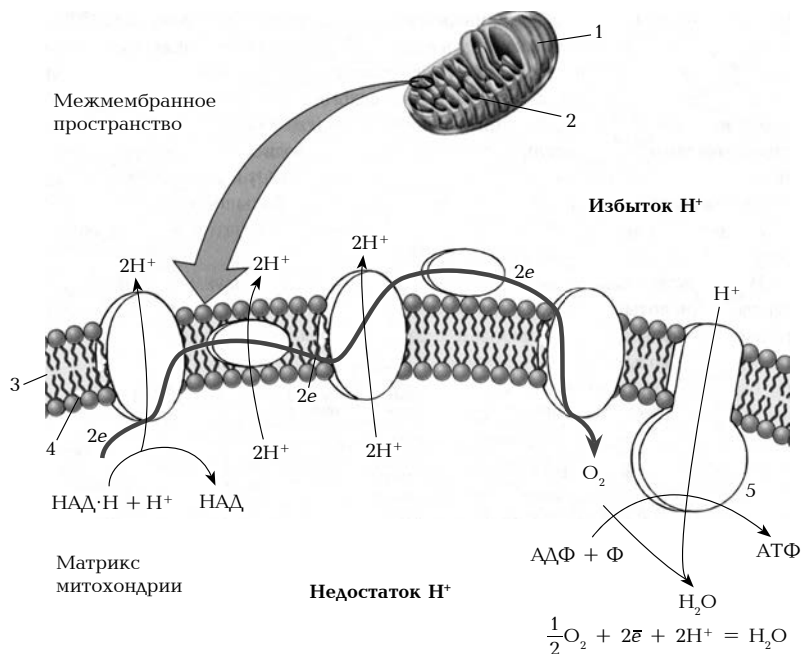
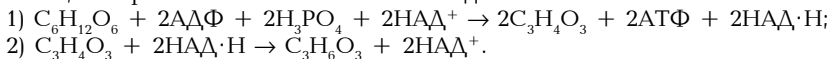


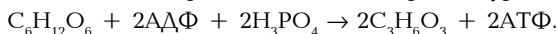
Рис. 3.2. Схема переноса электронов (→) и протонов (→) через внутреннюю мембрану митохондрий: 1 — митохондрия; 2 — матрикс; 3 — внутренняя мембрана митохондрии; 4 — внутренняя сторона внутренней мембраны; 5 — АТФ-синтетаза

Брожение. Организмы, обитающие в бескислородной среде и не нуждающиеся в кислороде, — *анаэробы* и некоторые аэробы в условиях недостатка кислорода способны синтезировать АТФ, расщепляя питательные вещества без участия кислорода. Такой процесс получил название *брожения*. Его суть состоит в том, что глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты (как и в ходе гликолиза), а высвобожденная в результате энергия идет на синтез АТФ. Образовавшаяся пировиноградная кислота превращается микроорганизмами (бактерии и дрожжи) не в углекислый газ и воду, а в другие продукты. В зависимости от образующихся в процессе брожения веществ и участия разных видов микроорганизмов различают молочнокислое, спиртовое, уксуснокислое и другие виды брожения.

При *молочнокислом брожении* глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты, которая затем восстанавливается до молочной:



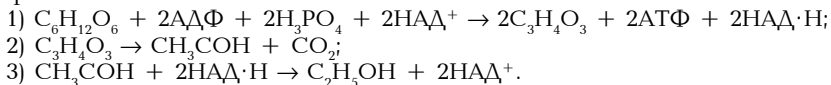
Суммарно молочнокислое брожение можно выразить уравнением



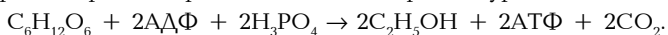
Этот вид брожения осуществляют молочнокислые бактерии (например, некоторые стрептококки). Молочнокислое брожение может осуществляться в мышечных клетках животных в условиях дефицита кислорода.

Спиртовое брожение широко распространено в природе. Его осуществляют дрожжи. В отсутствие кислорода дрожжевые клетки образуют из глюкозы этиловый спирт и CO_2 .

Вначале спиртовое брожение протекает аналогично молочнокислому. Заключительные реакции данного процесса приводят к образованию этилового спирта. От каждой молекулы пировиноградной кислоты отщепляется молекула CO_2 , и образуется молекула двууглеродного соединения — уксусного альдегида, который затем восстанавливается атомами водорода до этилового спирта:

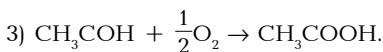
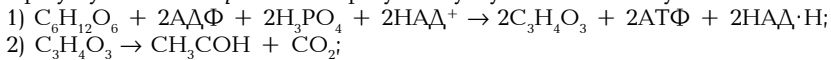


Суммарно спиртовое брожение можно выразить уравнением



Спиртовое брожение, кроме дрожжей, осуществляют некоторые анаэробные бактерии. Этот тип брожения наблюдается в растительных клетках в отсутствие кислорода.

При *уксуснокислом брожении* образуются уксусная кислота и углекислый газ:



Практическое значение брожения. Процессы брожения находят большое практическое применение. Молочнокислое брожение используется для получения различных кисломолочных продуктов, при солении и квашении овощей, силосовании кормов и т. д. Кефир — продукт совместной деятельности молочнокислых бактерий и дрожжей. Известно много кисломолочных продуктов (кумыс, айран, йогурт и др.), для приготовления которых используют кобылье, верблюжье, овечье, козье молоко, а в качестве закваски — естественно возникшие и сохраняемые комплексы молочнокислых бактерий и дрожжей.

Скисание сливок, необходимое для получения сливочного масла, вызывают бактерии рода стрептококк. Помимо молочной кислоты некоторые из них

образуют ацетоны и диацетил, придающие сливочному маслу характерный запах и вкус. Субстратом при этом служит лимонная кислота, содержание которой в молоке достигает 1 г/л.

Спиртовое брожение лежит в основе получения различных спиртов, в том числе этилового, а также вин и пива.

ПЛАСТИЧЕСКИЙ ОБМЕН. ФОТОСИНТЕЗ

В ходе обмена веществ не только расщепляются молекулы органических веществ, но и синтезируются новые молекулы. В клетках организмов непрерывно создаются молекулы белков, липидов, полисахаридов, нуклеиновых кислот, гормонов и т. д. Совокупность реакций синтеза органических веществ в организме с использованием энергии АТФ называется *пластическим обменом*. Познакомимся с пластическим обменом на примере фотосинтеза (синтез углеводов) и биосинтеза белков.

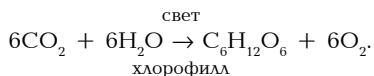
Понятие фотосинтеза. Для живых организмов Земли основным источником энергии является солнечный свет, благодаря которому прямо или косвенно удовлетворяются их энергетические потребности.

Растения, цианобактерии, зеленые и пурпурные серобактерии, многие протисты улавливают солнечную энергию, преобразуют ее в удобную для использования форму (АТФ) и далее запасают в химических связях молекул органических веществ. Исходными соединениями для синтеза органических веществ при этом служат бедные энергией неорганические вещества — CO_2 и H_2O .

Улавливание и преобразование энергии света в энергию химических связей органических веществ происходит в ходе фотосинтеза. *Фотосинтез* — это синтез органических веществ из углекислого газа и воды с использованием солнечной энергии растениями, некоторыми бактериями и протистами.

Синтезируемые в ходе фотосинтеза органические вещества являются источником не только энергии, но и атомов углерода, водорода и кислорода для синтеза всех веществ, используемых организмом для построения новых клеток и структур и процессов жизнедеятельности. Значительная часть веществ, образующихся в результате фотосинтеза, может трансформироваться и запасаться в виде крахмала, жиров или белков. Организмы, способные осуществлять фотосинтез, называются *фототрофами* (гр. *фотос* — свет и *трофе* — пища).

Сущность процесса фотосинтеза. Процесс фотосинтеза обычно описывается уравнением



Такое преобразование происходит в зеленых пластидах — *хлоропластах*. Структурной и функциональной единицей хлоропластов являются *тилакоиды* — плоские мембранные мешочки, уложенные в стопки (*граны*). Тилакоиды — производные внутренней мембраны оболочки хлоропластов. Они образуются в виде впячиваний внутренней мембраны и последующего отшнуровывания в ходе формирования и роста хлоропластов. На мембранах тилакоидов расположены особые комплексы (фотосистемы), в которые входят молекулы хлорофилла и других пигментов.

Фотосинтетические пигменты — это органические вещества, способные поглощать кванты света. При этом они поглощают свет определенной длины волны, а другие световые волны отражают. В зависимости от спектрального

состава отраженного света пигменты приобретают зеленую, желтую, оранжевую, красную и другую окраску.

Различают три класса фотосинтетических пигментов — хлорофиллы, каротиноиды и фикобилины.

Наиболее важным пигментом является *хлорофилл* (гр. *хлорос* — зеленый, *филлон* — лист). Известно несколько форм хлорофилла, которые различаются по молекулярной структуре. У всех растений и водорослей содержится хлорофилл *a*. У растений, зеленых и эвгленовых водорослей, кроме того, есть хлорофилл *b*. Бурые и диатомовые водоросли вместо хлорофилла *b* содержат хлорофилл *c*, красные водоросли — хлорофилл *d*. Все хлорофиллы поглощают красный и синий свет, а зеленый отражают, что и определяет зеленую окраску этих пигментов, а следовательно, листьев растений, зеленых и эвгленовых водорослей.

У фотосинтезирующих бактерий содержатся бактериохлорофиллы. Они способны поглощать красный свет с длиной волны от 850 до 1100 нм.

Другую группу фотосинтетических пигментов составляют *каротиноиды* (лат. *карота* — морковь, гр. *эйгос* — вид, форма). Это жирорастворимые пигменты различной окраски — от желтой до красной. Они содержатся в хлоро- и хромопластах, причем в зеленых частях растений хлорофилл маскирует каротиноиды. Осенью, когда зеленые пигменты разрушаются, каротиноиды становятся хорошо видимыми (листва желтеет или краснеет). Каротиноиды поглощают свет, недоступный другим пигментам, и передают его хлорофиллу.

Фикобилины (гр. *фикос* — водоросль, лат. *билис* — желчь) — водорастворимые пигменты, характерные для красных водорослей и цианобактерий. Эти пигменты поглощают зеленые, фиолетовые и синие лучи, проникающие на большую глубину морей и океанов. Фикобилины могут иметь красную (фикоэритрины) и синюю (фикоцианины) окраску.

Процесс фотосинтеза представляет собой цепь окислительно-восстановительных реакций, в ходе которых углекислый газ восстанавливается до углеводов. Поскольку процесс фотосинтеза связан с преобразованием солнечной энергии, ее необходимо прежде всего каким-то образом уловить. Улавливание энергии осуществляется светочувствительными пигментами (хлорофиллами, каротиноидами и др.).

Светочувствительные пигменты собраны в группы (фотосинтетические единицы). В каждой такой группе содержится по 200—400 молекул хлорофилла.

Молекулы хлорофилла и других пигментов фотосинтетической единицы образуют светособирательную систему (антенный комплекс), которая функционирует наподобие воронки: она собирает фотоны и переносит их энергию в реакционный центр, где располагается молекула-ловушка — *хлорофилл a* (рис. 3.3).

Совокупность фотосинтетической единицы и ферментов, обеспечивающих транспорт электронов, называется *фотосистемой*. Существует два типа фотосистем: фотосистема I (с молекулой-ловушкой, максимум поглощения света с длиной волны 700 нм) и фотосистема II (максимум поглощения в области 680 нм).

Фотосинтез происходит в две фазы — световую и темновую. Во время световой фазы накапливается энергия, необходимая для синтеза органических веществ, происходящего в темновой фазе.

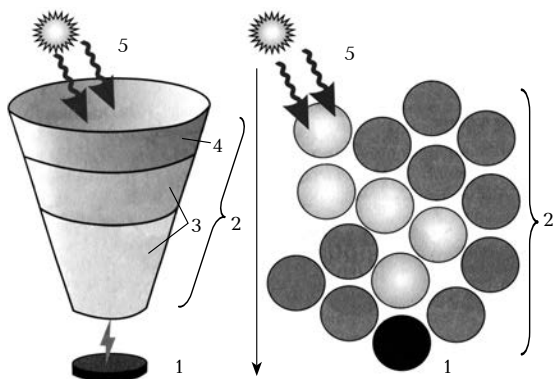


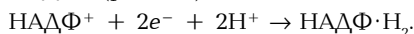
Рис. 3.3. Схема поглощения света пигментами хлоропласта: 1 — реакционный центр; 2 — антенный комплекс [хлорофилл (3) и каротиноиды (4)]; 5 — фотоны света

Световая фаза фотосинтеза происходит на мембранах тилакоидов и только на свету. Она характеризуется преобразованием солнечной энергии, поглощенной хлоропластами, сначала в электрохимическую энергию, а затем в энергию макроэргических связей АТФ. При этом происходит разложение воды — *фотоллиз* — с образованием протонов, электронов и свободного кислорода. Кислород выделяется в окружающую среду, а протоны и электроны связываются с коферментом НАДФ⁺ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) с образованием НАДФ-восстановленного (НАДФ·Н₂).

Преобразование энергии в ходе световой фазы фотосинтеза достигается путем переноса электронов и протонов с помощью специальных переносчиков через мембрану тилакоидов. Процесс переноса ионов Н⁺ и электронов получил название *хемиосмоса*. Хемиосмотическую теорию разработал английский биохимик П. Митчелл в 1961—1966 гг.

Схематически световую фазу можно представить следующим образом. Свет, попадая на молекулы-ловушки хлорофилла *a* (обозначим его как *a*₁), приводит их в возбужденное состояние. В результате этого молекулы хлорофилла теряют свои электроны. Обе фотосинтетические системы при этом работают согласованно.

Фотосистема I. Молекула хлорофилла *a*₁ теряет электрон, который по системе переносчиков попадает на внешнюю сторону тилакоида и участвует в восстановлении НАДФ⁺ (рис. 3.4):



Фотосистема II. Молекулы хлорофилла *a*₂ теряют электроны, которые идут на восстановление молекул хлорофилла *a*₁. При прохождении электронов по цепочке переносчиков часть их энергии используется для синтеза АТФ.

Молекулы хлорофилла *a*₂, утратившие электроны, восполняют их, отнимая от молекул воды, содержащихся внутри тилакоидов. Это ведет к разрушению молекул воды с образованием молекулярного кислорода. Этот процесс получил название *фотоллиза* воды:

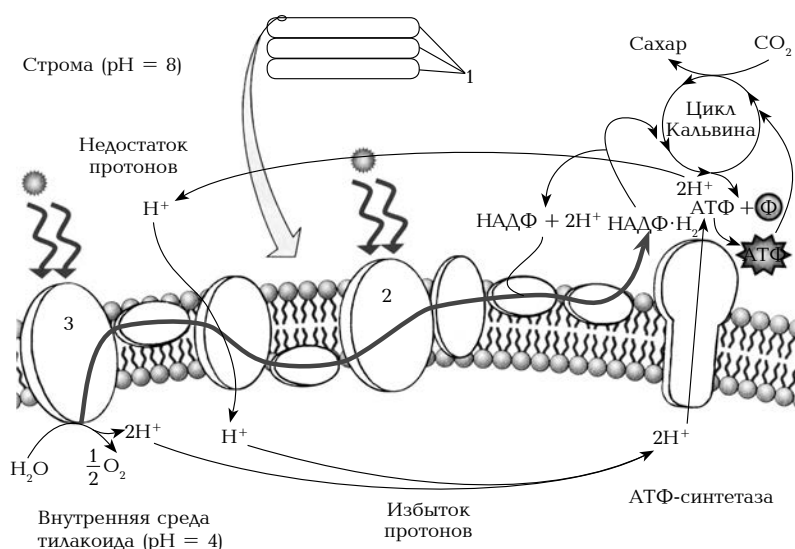
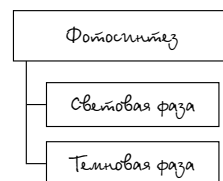
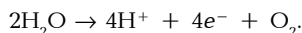
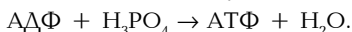


Рис. 3.4. Схема преобразования энергии в ходе фотосинтеза (перенос электронов показан $\Rightarrow$, перенос протонов $\longrightarrow$): 1 — тилакоид; 2 — фотосистема I; 3 — фотосистема II

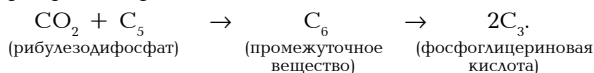
В результате фотолиза воды внутри тилакоидов образуется избыток протонов — на мембране тилакоида возникает электрохимический потенциал. Когда его величина достигнет 50 мВ, протоны силой электрического поля проталкиваются через каналы фермента АТФ-синтетазы, встроенной в мембрану тилакоида, т. е. начинает работать протонная помпа. На выходе создается высокий уровень энергии, которая используется для синтеза молекул АТФ:



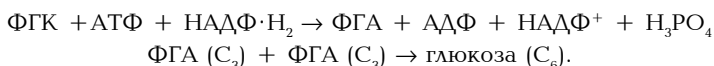
В конечном итоге в световой фазе фотосинтеза образуются АТФ, НАДФ-восстановленный и кислорода. АТФ и НАДФ·H₂ используются в темновой фазе фотосинтеза.

Темновая фаза фотосинтеза осуществляется в строме хлоропластов без непосредственного поглощения света. Темновая фаза — сложный процесс, включающий большое количество реакций, приводящих к восстановлению CO₂ до уровня органических веществ. Он идет за счет использования энергии АТФ и НАДФ·H₂, синтезированных в световую фазу. CO₂ растения поглощают из воздуха.

Темновые реакции можно осуществить следующим образом: в строме хлоропластов молекулы CO₂ при участии фермента карбоксилазы связываются с пятиуглеродным сахаром рибулезодифосфатом (акцептором CO₂) с образованием шестиуглеродного неустойчивого промежуточного вещества. Последнее разрушается, в результате чего образуются две молекулы трехуглеродной фосфоглицериновой кислоты:



Фосфоглицериновая кислота (ФГК) восстанавливается до фосфоглицеринового альдегида (ФГА, 3-углеродного сахара), причем этот процесс протекает с затратами энергии, запасенной в молекулах АТФ и НАДФ·H₂. Рибулезодифосфат в последующем преобразуется в глюкозу и другие органические вещества:



Часть образовавшегося фосфоглицеринового альдегида расходуется на восполнение молекул рибулезодифосфата, поэтому процесс фиксации углекислого газа по существу носит циклический характер (рис. 3.5). Именно поэтому превращение углекислого газа в глюкозу было названо *циклом Кальвина* (по имени американского ученого М. Кальвина, впервые установившего ход этих реакций). Этот цикл называют еще C₃-циклом (по C₃-продуктам).

Таким образом, в темновой фазе фотосинтеза энергия макроэргических связей АТФ преобразуется в химическую энергию органических веществ, по сути дела, «консервируется» в химических связях между атомами органических веществ.

Если реакции световой и темновой фаз объединить, исключив все промежуточные стадии и вещества, то можно получить суммарное уравнение процесса фотосинтеза, которое было приведено выше.

Значение фотосинтеза. Уникальность этого процесса определяется тем, что благодаря фотосинтезу существует жизнь на нашей планете. Данный процесс является основным источником первичного органического вещества и источником свободного кислорода на Земле. Из кислорода образовался и поддерживается в атмо-

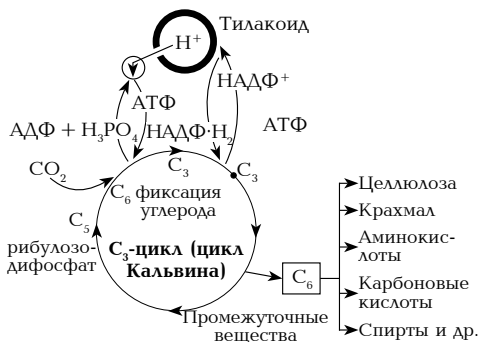


Рис. 3.5. Схема цикла Кальвина

сфере озоновый слой, защищающий живые организмы Земли от воздействия коротковолновой ультрафиолетовой радиации. Кроме того, благодаря фотосинтезу регулируется содержание CO_2 в атмосфере.

В изучение процесса фотосинтеза, раскрытие его механизма большой вклад внесли русский ученый К. А. Тимирязев, американец М. Кальвин, австралийцы М. Д. Хетч и К. Р. Слэк, а также наши белорусские ученые Т. Н. Годнев и А. А. Шлык.

БИОСИНТЕЗ БЕЛКА

Одним из важнейших процессов, происходящих в клетках живого организма, является синтез белков. Так как белки выполняют в клетке целый ряд важнейших функций, то и синтезировать необходимо тысячи различных белков, тем более что большинство из них имеют ограниченный срок функционирования. В силу этого синтез таких белков (компонентов мембран, гормонов, ферментов) не прекращается ни на минуту.

Каждый вид живых организмов имеет свой собственный, строго определенный набор белков. Белки являются основой уникальности каждого вида, хотя некоторые из них, выполняющие одну и ту же функцию в разных организмах, могут быть похожими и даже одинаковыми.

Вместе с тем особи одного вида хотя немного, но отличаются друг от друга. На Земле нет, например, двух абсолютно одинаковых людей. Индивидуальную неповторимость каждой особи определяют различия в структуре белков.

Понятие о генетическом коде. Свойства белков определяются прежде всего их *первичной* структурой, т. е. последовательностью аминокислот в молекуле белка. Информация о первичной структуре белка заключена в последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК. Следовательно, информация о строении и жизнедеятельности как каждой клетки, так и всего многоклеточного организма в целом заключена в нуклеотидной последовательности ДНК. Эта информация получила название **наследственной, или генетической, информации**. Участок молекулы ДНК, в котором содержится информация о первичной структуре одного белка, называется **геном**.

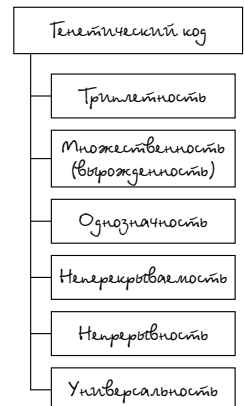
В молекуле ДНК каждое сообщение закодировано специфической последовательностью из четырех знаков-нуклеотидов — А, Г, Т, Ц, подобно тому как письменные сообщения кодируются знаками (буквами) алфавита. Единая система записи информации о первичной структуре белка в виде последовательности нуклеотидов получила название **генетического кода**.

Свойства генетического кода. 1. Код является *триплетным*, т. е. каждая аминокислота кодируется сочетанием из трех последовательно расположенных нуклеотидов. Такое сочетание из трех нуклеотидов называется *триплетом* или *кодоном*. Нетрудно подсчитать, что число возможных комбинаций из четырех нуклеотидов по три составит 64, что более чем достаточно для кодирования 20 видов аминокислот, входящих в состав белка. К настоящему времени известно, какие триплеты в ДНК соответствуют каждой из 20 видов аминокислот, входящих в состав белков (табл. 3.1).

2. Код является *множественным (вырожденным)*, т. е. одна и та же аминокислота может кодироваться несколькими триплетами (от 2 до 6).

Например, фенилаланин может кодироваться триплетом ААА или ААГ; изолейцин — ТАА, ТАГ, ТАТ; пролин — ГГА, ГГГ, ГГТ, ГГЦ; серин — АГА, АГГ, АГТ, АГЦ, ТЦА, ТЦГ.

Свойства генетического кода



Исключение составляют аминокислоты метионин и триптофан, кодируемые только одним триплетом — ТАЦ и АЦЦ в ДНК и соответственно АУГ и УГГ в РНК.

3. Код *однозначен*, т. е. каждый триплет кодирует только одну аминокислоту.

4. Код является *неперекрывающимся*, т. е. один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух соседних триплетов.

5. Код *непрерывен*, или иначе *не имеет знаков препинания*. Это значит, что если произойдет выпадение одного нуклеотида, то при считывании его место займет ближайший нуклеотид из соседнего кодона, из-за чего изменится весь порядок считывания. Вместе с тем между генами имеются триплеты (стоп-кодона), обозначающие прекращение синтеза одной полипептидной цепи (в ДНК это АТТ, АТЦ и АЦТ, а в РНК соответственно — УАА, УАГ, УГА). Стартовым кодоном является триплет ТАЦ, в иРНК — АУГ соответственно.

6. Код *универсален* для всех живых организмов: одинаковые триплеты кодируют одинаковые аминокислоты. Универсальность генетического кода свидетельствует о единстве происхождения всех живых организмов.

Таблица 3.1

Генетический код*

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	А	Г	Т	Ц	
А	Фен	Сер	Тир	Цис	А
	Фен	Сер	Тир	Цис	Г
	Лей	Сер	—	—	Т
	Лей	Сер	—	Три	Ц
Г	Лей	Про	Гис	Арг	А
	Лей	Про	Гис	Арг	Г
	Лей	Про	Глн	Арг	Т
	Лей	Про	Глн	Арг	Ц
Т	Иле	Тре	Асн	Сер	А
	Иле	Тре	Асн	Сер	Г
	Иле	Тре	Лиз	Арг	Т
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Ц
Ц	Вал	Ала	Асп	Гли	А
	Вал	Ала	Асп	Гли	Г
	Вал	Ала	Глу	Гли	Т
	Вал	Ала	Глу	Гли	Ц

СИНТЕЗ БЕЛКА НА РИБОСОМАХ — РЕАЛИЗАЦИЯ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Процесс биосинтеза белка осуществляется на рибосомах, расположенных в цитоплазме. Носителем генетической информации является ДНК. Для передачи генетической информации с ДНК, находящейся в ядре, к месту синтеза белка требуется посредник. Его роль выполняет *информационная РНК (иРНК)*, которая на основе принципа комплементарности

* Первый нуклеотид триплета берут из левого вертикального ряда, второй — из горизонтального ряда, третий — из правого вертикального.

синтезируется на одной из цепей молекулы ДНК. Информационную РНК в научной литературе часто называют матричной РНК (мРНК).

Транскрипция. Переписывание наследственной информации с ДНК на иРНК называется *транскрипцией* (лат. *транскрипцио* — переписывание). Этот процесс схематически можно описать следующим образом: определенный участок двуцепочечной ДНК раскручивается. Вдоль одной из цепочек (транскрибируемой) движется фермент РНК-полимераза, соединяя между собой свободные нуклеотиды в растущую цепь иРНК (рис. 3.6). Такая иРНК является комплементарной транскрибируемой цепи ДНК, а это значит, что порядок нуклеотидов в иРНК строго определен порядком нуклеотидов в ДНК. Так, комплементарным цитидиловому (Ц) нуклеотиду ДНК является гуаниловый (Г) нуклеотид РНК и наоборот: тимидиловому (Т) — адениловый (А), адениловому — урациловый (У) (не тимидиловый, так как в состав иРНК вместо тимина входит урацил). В результате информация о последовательности аминокислот в белке переводится с «языка ДНК» на «язык РНК». Таким образом, одна и та же информация кодируется теперь уже другими знаками (нуклеотидами РНК, подобно негативу при фотографировании). Транскрипция может происходить одновременно на нескольких генах одной хромосомы и на генах, расположенных на разных хромосомах.

Так как в одной молекуле ДНК может находиться множество генов, очень важно, чтобы РНК-полимераза начала синтез иРНК со строго определенного места ДНК, иначе в структуре иРНК будет записана неверная информация. По этой причине в начале каждого гена находится особая специфическая последовательность нуклеотидов, называемая *промотором*. РНК-полимераза «узнает» промотор, взаимодействует с ним и, таким образом, начинает синтез цепочки иРНК с нужного места. Фермент продолжает синтезировать иРНК, присоединяя к ней новые нуклеотиды, до тех пор, пока не дойдет до определенной последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК — **терминатора**. Эта последовательность нуклеотидов указывает на то, что синтез иРНК нужно прекратить.

У прокариот синтезированные молекулы иРНК сразу же могут взаимодействовать с рибосомами и участвовать в синтезе белков. У эукариот иРНК синтезируется в ядре, поэтому сначала она взаимодействует со специальными ядерными белками и переносится через ядерную мембрану в цитоплазму.

Трансляция. Процесс сборки полипептида из аминокислот на рибосомах называют трансляцией. *Трансляция* (гр. *трансляцио* — передача) — это перевод триплетной последовательности нуклеотидов молекулы иРНК в последовательность аминокислот молекулы белка (рис. 3.7).

В цитоплазме обязательно должен быть полный набор аминокислот, необходимых для синтеза белков. Эти аминокислоты образуются в результате расщепления белков, получаемых организмом с пищей, или синтезируются в самом организме.

Информационная РНК взаимодействует с малой субъединицей рибосомы тем концом, с которого начинается считывание информации. Считывание информации осуществляется в направлении от 5'-к 3'-концу иРНК. Синтез белка начинается со *стартового кодона* АУГ. Так как этот кодон кодирует аминокислоту метионин, то все белки (за исключением специальных случаев)

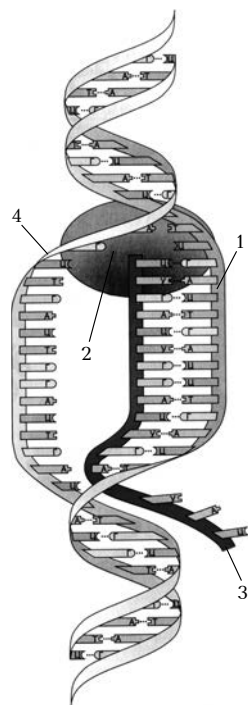


Рис. 3.6. Схема транскрипции: 1 — транскрибируемый участок ДНК; 2 — РНК-полимераза; 3 — иРНК; 4 — неактивная нить ДНК (не транскрибируется)

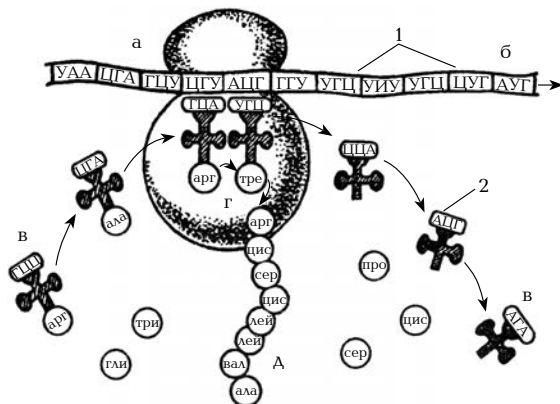
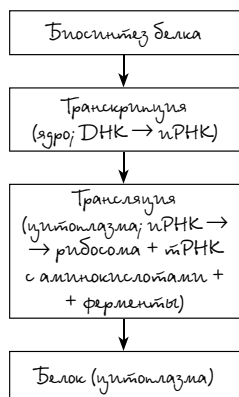


Рис. 3.7. Схема биосинтеза белка: а — рибосома; б — иРНК; в — тРНК; г — образование пептидной связи; д — растущая полипептидная цепь; 1 — кодоны; 2 — антикодон



будут начинаться с метионина. После связывания иРНК с малой субъединицей к ней присоединяется большая субъединица, которая прикрепляется к поверхности эндоплазматической сети.

Доставку аминокислот к рибосомам и выстраивание их в соответствии с кодами и РНК осуществляют транспортные РНК — главные участники синтеза белка. Благодаря определенному расположению комплементарных нуклеотидов цепочка тРНК имеет форму, напоминающую лист клевера (рис. 3.8). При этом тРНК имеет акцепторный конец, к которому присоединяется активированная энергией АТФ аминокислота. В противоположной части молекулы тРНК расположен специфический триплет (*антикодон*), ответственный за прикрепление по принципу комплементарности к определенному триплету иРНК (*кодону*).

Молекула тРНК с присоединенной к ней активированной аминокислотой своим антикодом взаимодействует с кодом иРНК. Затем в соответствии со следующим кодом иРНК к ней прикрепляется вторая тРНК с активированной аминокислотой. В рибосоме оказываются две аминокислоты, между которыми возникает пептидная связь. Первая тРНК, освободившись от аминокислоты, покидает рибосому. Далее к образованному дипептиду таким же образом пристраивается третья, четвертая и последующие аминокислоты, доставленные в рибосому своими тРНК. Процесс продолжается до тех пор, пока в рибосому не попадет один из трех *терминирующих кодонов*: УАА, УАГ или УГА, после чего синтез белка прекращается.

Все описанные реакции происходят за очень маленький промежуток времени. Подсчитано, что синтез крупной молекулы белка осуществляется приблизительно за 2 мин.

Молекула иРНК может связываться одновременно с несколькими рибосомами. Комплекс из иРНК и рибосом (от 5—6 до нескольких десятков) называется *полисомой*. Образование полисом повышает эффективность функционирования иРНК, так как позволяет одновременно осуществлять синтез нескольких идентичных полипептидных цепей.

После завершения синтеза белка рибосома распадается на две субъединицы, а иРНК под действием ферментов расщепляется на отдельные нуклеотиды. Белковая цепочка в это время оказывается полностью изолированной внутри полости ЭПС, где происходит ее дальнейшее созревание (формирование вторичной, третичной и четвертичной структур, присоединение к белковой молекуле небелковых компонентов), транспорт в комплекс Гольджи и последующее выведение за пределы клетки. Если синтез белка осуществлялся на рибосомах, не связанных с цистернами эндоплазматической сети, то синтезированные белковые молекулы транспортируются в нужную часть клетки, где принимают соответствующую конформацию и используются на нужды клетки.

Таким образом, роль нуклеиновых кислот в биосинтезе белка заключается в преобразовании генетической информации, представленной в виде последовательности нуклеотидов ДНК, в структуру молекулы иРНК, а затем в последовательность аминокислот в молекуле белка. Реакции синтеза иРНК (транскрипция) и белка (трансляция) осуществляются по матрицам (ДНК и иРНК соответственно), поэтому они получили название *реакций матричного синтеза*.

Каждый этап биосинтеза белка катализируется соответствующими ферментами и снабжается энергией за счет расщепления АТФ.

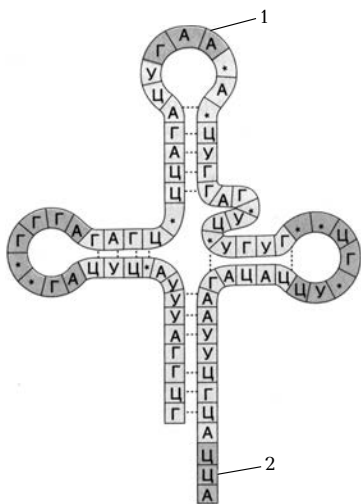


Рис. 3.8. Схема организации тРНК: 1 — антикодон; 2 — акцепторный конец

ГЛАВА 4

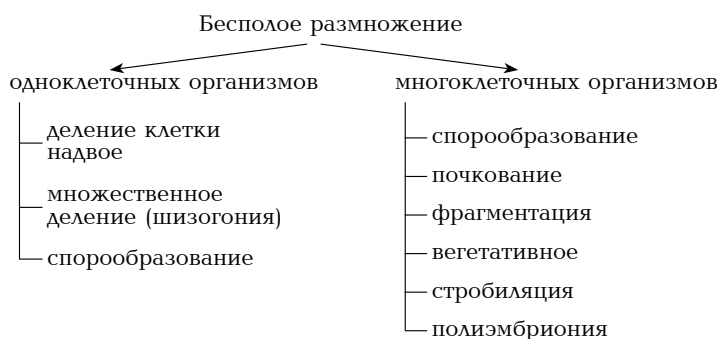
Размножение и индивидуальное развитие организмов

ТИПЫ РАЗМНОЖЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ

Размножение — свойство живых организмов воспроизводить себе подобных. При размножении происходит передача наследственной информации от родителей к потомкам, что обеспечивает воспроизведение признаков не только данного вида, но и конкретных родительских особей. Следовательно, размножение поддерживает длительное существование вида, сохраняя при этом преемственность между родителями и их потомством в ряду многих поколений.

Различают два типа размножения: бесполое и половое. Бесполое размножение осуществляется без участия половых клеток — гамет. Половое размножение связано с образованием половых клеток и их последующим слиянием.

Бесполое размножение. Существует несколько способов бесполого размножения.



Бактерии и многие протисты (амебы, эвглены, инфузории и др.) размножаются *делением клетки надвое*. После деления дочерние клетки растут и, достигнув величины материнского организма, снова делятся.

У многих организмов для воспроизводства потомства образуются специализированные клетки — *споры*, состоящие из небольшого количества цитоплазмы с минимальным запасом питательных веществ и ядра. В благоприятных условиях споры прорастают и дают начало новому организму.

Споры возникают путем деления клеток-предшественниц митозом или мейозом. Это происходит в обычных вегетативных клетках материнского организма или специальных органах — *спорангиях*. Главное достоинство спор — возможность образования большого числа потомства и быстрого расселения организмов.

Спорообразование характерно для многих протистов, грибов и растений (мхи, хвощи, плауны, папоротники).

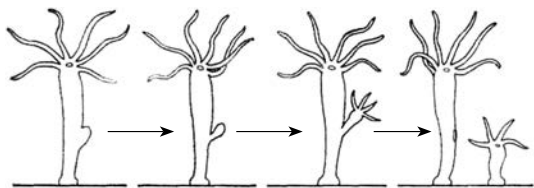


Рис. 4.1. Почкование у гидры

Почкование (рис. 4.1) заключается в том, что новая особь образуется в виде небольшого выроста (почки) на теле родительской особи, а затем отделяется от нее, превращаясь в самостоятельный организм. Если дочерние особи не отделяются от материнской, то возникают колонии (коралловые полипы). Почкование характерно для кишечнополостных.

У грибов, водорослей, лишайников размножение может осуществляться фрагментами (участками) гиф и частями слоевищ соответственно. Такой способ размножения называется *фрагментацией*. В основе фрагментации лежит явление *регенерации* — способность организмов восстанавливать утраченные или поврежденные ткани и органы, а также восстанавливать целый организм из его части. Фрагментация наблюдается также у кишечнополостных, губок, плоских и некоторых кольчатых червей.

Вегетативное размножение (рис. 4.2) представляет собой образование новых особей из вегетативных органов. Вегетативное размножение, как и фрагментация, основано на регенерации. Этот способ размножения широко распространен в природе, но наиболее разнообразен он у цветковых растений. Новые особи у них могут формироваться из стебля (элодея, ряска), листа (сердечник луговой), корня (одуванчик). Вегетативное размножение осуществляется также при помощи видоизмененных побегов: клубней (картофель, топинамбур), луковиц (лук, чеснок, тюльпан, нарцисс), клубнелуковиц (гладиолус, шафран), корневищ (пырей, ландыш, крапива, иван-чай), усов (земляника, костяника, лютик ползучий).

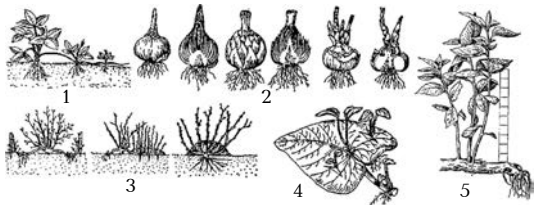


Рис. 4.2. Примеры вегетативного размножения у растений: 1 — усами (земляника); 2 — луковицами (слева направо — гиацинт, лилия, крокус); 3 — отводками кустарников (слева направо — горизонтальными, вертикальными, дугообразными); 4 — листовыми черенками (бегония, новые растения образовались в местах надрезов жилок листа); 5 — корневыми черенками (яблоня; сформировавшиеся на верхнем конце черенка придаточные почки образовали побеги, на нижнем конце развились корни)

У некоторых цветковых растений вегетативное размножение корневыми отпрысками, корневой порослью, стелющимися побегами, корневищами и др. может даже преобладать над половым (осина, ива, слива, вишня, малина и др.). Примером растения, размножающегося только вегетативно, является элодея канадская — двудомное растение, обитающее в пресных водоемах. В Европу из Северной Америки были занесены только женские особи. Однако и здесь элодея эффективно размножается вегетативным способом и так быстро осваивает новые водоемы, что ее назвали «водяной чумой».

Вегетативное размножение широко используется в практике сельского хозяйства. Многие кустарники размножают отводками (виноград, крыжовник, смородина). Многолетние травы размножают корневищами (флоксы), корневыми шишками (пион). В садоводстве плодовые растения размножают черенками и с помощью прививок. Прививки позволяют быстро получить большое количество растений, сохраняя ценные сортовые признаки родительских форм. Прививаемые растения могут получить при этом такие ценные свойства подвоя, как морозоустойчивость, устойчивость к грибным и бактериальным болезням, неприхотливость к плодородию почвы и др.

Одной из форм бесполого размножения является *стробилизация* (рис. 4.3), свойственная некоторым кишечнополостным. При этом полип интенсивно

растет, а затем в верхней части делится поперечными перетяжками на дочерние особи. В этом случае полип напоминает стопку тарелок. Образовавшиеся дочерние особи — медузы — отрываются от материнской и начинают самостоятельное существование.

У многих животных наблюдается бесполое размножение на основе полового процесса — *полиэмбриония* — развитие нескольких зародышей (близнецов) из одной зиготы. При дроблении зиготы иногда наблюдается разобщение бластомеров, из которых впоследствии развиваются самостоятельные организмы (от 2 до 8). Таким путем образуются однояйцевые близнецы у человека и других млекопитающих (например, у южноамериканского броненосца). Потомки в данном случае всегда одного пола. Полиэмбриония также наблюдается у растений. Это приводит к образованию нескольких зародышей в одном семени.

При любой форме бесполого размножения происходит увеличение численности особей данного вида без повышения их генетического разнообразия: все особи являются копией материнского организма — клонами. Эта особенность широко используется человеком для сохранения генетически чистых линий в селекции и практике садоводства и, как следствие, получения однородного, с хорошими признаками потомства у плодово-ягодных, декоративных и других групп растений. Новые признаки у таких организмов появляются только в результате мутаций.

Достоинство бесполого размножения заключается в его простоте и эффективности: нет необходимости в поиске партнера, потомство может оставить практически любая особь, удачное сочетание генов не теряется и т. п.

Половое размножение. Такой тип размножения характеризуется наличием в цикле развития полового процесса, связанного с образованием мужских и женских половых клеток (гамет) и последующим их слиянием — *оплодотворением*. Гаметы у большинства организмов образуются с перекомбинированными родительскими хромосомами (вспомните, как осуществляется мейоз). Слияние генетически различных гамет приводит к образованию диплоидной *зиготы*, из которой развивается дочерний организм с новой комбинацией наследственных признаков, принадлежащих обоим родителям. Это повышает возможность организмов приспосабливаться к изменяющимся условиям среды, что имеет первостепенное значение в эволюции органического мира. В этом заключается преимущество полового размножения над бесполом.

Различают два типа полового процесса — конъюгацию и копуляцию. При *конъюгации* происходит слияние содержимого (протопластов) двух неспециализированных клеток (у некоторых водорослей и грибов) или обмен генетическим материалом между особями (у некоторых бактерий и инфузорий). При конъюгации у бактерий и инфузорий, в отличие от водорослей и грибов, не увеличивается число особей. Однако за счет обмена и перекомбинации генетического материала двух клеток обеспечивается повышение их наследственной изменчивости.

Копуляция (гаметогамия) — слияние мужской и женской половых клеток с образованием зиготы. При этом гаплоидные ядра гамет образуют диплоидное ядро зиготы.

Строение половых клеток. *Сперматозоиды* высших животных имеют головку, шейку и длинный хвост, служащий для активного передвижения (рис. 4.4). Именно такое строение имеют сперматозоиды человека. Головка содержит гаплоидное ядро и незначительное количество цитоплазмы с органоидами. На переднем конце головки расположена *акросома*, представляющая собой видоизмененный аппарат Гольджи. В акросоме содержатся гидролитические ферменты, растворяющие оболочку яйцеклетки при оплодотворении. В шейке находятся две

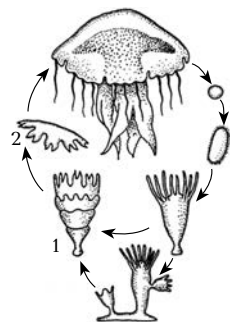


Рис. 4.3. Схема жизненного цикла сцифоидной медузы (цифрами 1, 2 обозначен процесс стробилиции)

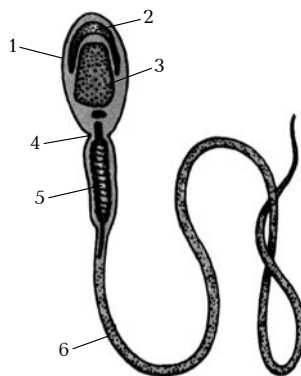


Рис. 4.4. Строение сперматозоида млекопитающих: 1 — головка; 2 — акросома; 3 — ядро; 4 — шейка; 5 — митохондрии; 6 — жгутик

центриоли и митохондрии. Последние генерируют энергию для движения жгутика и осуществления метаболической активности сперматозоида.

Сперматозоиды могут длительное время сохранять свою жизнеспособность вне организма при их замораживании. Это свойство широко применяется в сельском хозяйстве, в частности при разведении крупного рогатого скота методом искусственного осеменения. Сперму элитных пород животных собирают и хранят в сосудах с жидким азотом. После размораживания ее используют для осеменения и получения высокопродуктивного потомства.

Яйцеклетки чаще всего имеют сферическую форму (рис. 4.5). Они обычно значительно крупнее соматических клеток. Яйцеклетка человека, например, имеет в диаметре около 100 мкм. Особенно больших размеров достигают яйцеклетки животных, эмбриональное развитие которых происходит вне тела матери (птицы, рептилии, амфибии и рыбы). Так, у курицы диаметр яйцеклетки (без белковой оболочки) составляет свыше 30 мм, у акулообразных — 50—70 мм, а у страуса — 80 мм.

Яйцеклетки покрыты **оболочками**. По происхождению оболочки делят на первичные, вторичные и третичные. Первичная оболочка яйцеклетки является производной цитоплазмы и называется **желточной оболочкой**. Ее наличие характерно для яйцеклеток всех животных. Вторичные оболочки образуются за счет деятельности клеток, питающих яйцеклетку. Они характерны, например, для членистоногих (хитиновая оболочка). Третичные оболочки возникают в результате деятельности желез половых путей. К третичным оболочкам относятся скорлуповая, подскорлуповая и белковая оболочки яиц птиц и пресмыкающихся, студенистая оболочка яйцеклеток земноводных.

Оболочки выполняют защитные функции, обеспечивают обмен веществ с окружающей средой, а у плацентарных служат для внедрения зародыша в стенку матки.

Гаметогенез. Процесс образования и развития гамет называется **гаметогенезом**. У многоклеточных водорослей, многих грибов и споровых растений формирование гамет происходит в специальных органах полового размножения. Женские гаметы образуются в **архегониях**, мужские — в **антеридиях**, а у некоторых водорослей — в вегетативных клетках. У большинства животных гаметогенез протекает в половых железах.

В природе есть немало видов, у которых один и тот же организм может образовывать как мужские, так и женские половые клетки. Такие организмы называются **гермафродитами** (в греческой мифологии Гермафродитос — дитя Гермеса и Афродиты — обоеполое существо, несущее в себе и женское и мужское начало). Гермафродитизм встречается у многих беспозвоночных животных (кишечнополостные, плоские и кольчатые черви, моллюски) и у растений.

Гермафродитизм развивался как приспособление к сидячему, малоподвижному или паразитическому образу жизни. Одним из его преимуществ является возможность самооплодотворения при наличии только одной особи. Однако у большинства гермафродитных видов происходит перекрестное оплодотворение между разными особями. Они имеют механизмы, препятствующие самооплодотворению. Так, например, перекрестное оплодотворение у морских ракообразных и некоторых моллюсков обеспечивается неодновременным созреванием мужских и женских половых желез. У ресничных и дождевых червей своеобразное строение полового аппарата предотвращает поступление семени в женские органы той же особи.

У раздельнополых организмов сперматозоиды и яйцеклетки обычно формируются особями мужского и женского пола соответственно.

Образование половых клеток у высших животных. Процесс формирования мужских половых клеток называется **сперматогенезом**, женских — **оогенезом**.

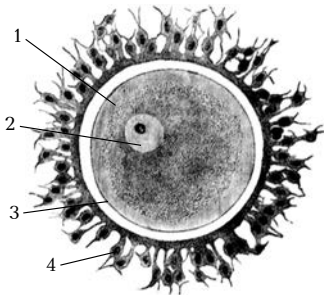


Рис. 4.5. Строение яйцеклетки млекопитающих: 1 — цитоплазма; 2 — ядро; 3 — оболочка; 4 — фолликулярные клетки

незом. Сперматогенез происходит в мужских половых железах — *семенниках*. В семенниках высших позвоночных животных имеются *извитые семенные каналцы*, в стенках которых находятся клетки на разных стадиях развития сперматозоидов. Процесс образования и созревания сперматозоидов делится на четыре периода (стадии): размножение, рост, созревание и формирование.

В *период размножения* первичные половые клетки с диплоидным набором хромосом (*сперматогонии*) интенсивно делятся путем митоза, в результате чего их количество резко возрастает. У самцов млекопитающих (в том числе и человека) этот процесс начинается с наступлением половой зрелости и протекает до глубокой старости.

В *период роста* деление незрелых мужских гамет прекращается и они начинают расти. При этом их размеры увеличиваются незначительно. На стадии роста в клетках происходит репликация наследственного материала. Образуются *сперматоциты 1-го порядка* (рис. 4.6).

В *период созревания* первичные половые клетки (сперматоциты 1-го порядка) делятся путем мейоза. В результате первого мейотического деления образуются два гаплоидных *сперматоцита 2-го порядка*, в ходе второго мейотического деления — четыре гаплоидные клетки — *сперматиды*.

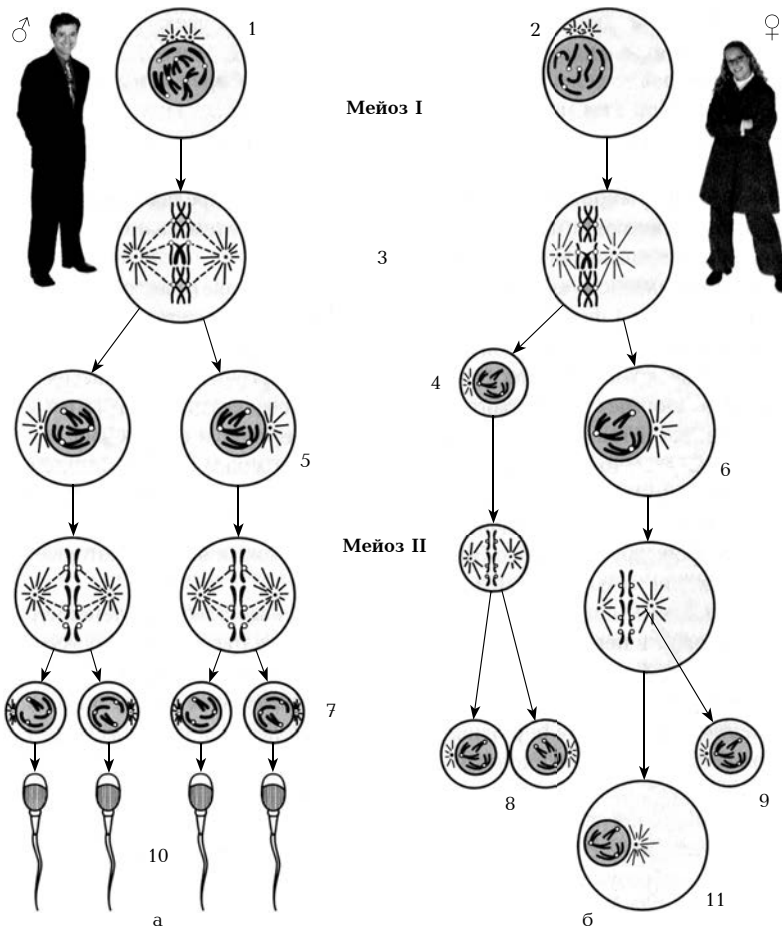
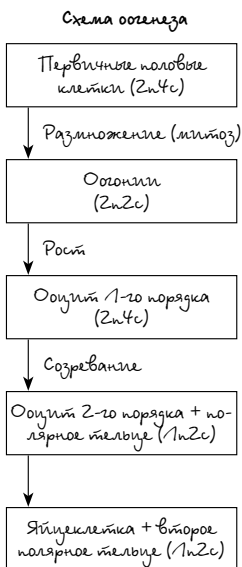
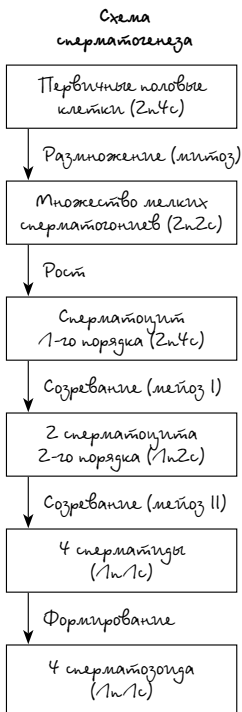


Рис. 4.6. Схема сперматогенеза (а) и оогенеза (б) у человека: 1 — сперматоцит 1-го порядка 2n; 2 — ооцит 1-го порядка 2n; 3 — конъюгация гомологичных хромосом; 4 — первое полярное тельце; 5 — сперматоцит 2-го порядка n; 6 — ооцит 2-го порядка n; 7 — сперматиды n; 8 — полярные тельца n; 9 — второе полярное тельце; 10 — сперматозоиды n; 11 — яйцеклетка



В период формирования сперматиды превращаются в зрелые сперматозоиды, которые попадают в просвет семенного канала, а затем выносятся из семенников по семявыносящим путям.

Продолжительность сперматогенеза у человека составляет до 80 суток. В семенниках формируется огромное количество сперматозоидов (например, у человека в 1 мл семенной жидкости их содержится до 100 млн).

В отличие от образования сперматозоидов, которое начинается у млекопитающих, в том числе и у человека, только при половом созревании, формирование яйцеклеток (оогенез) в женском организме начинается еще до рождения. Оогенез происходит в женских половых железах — яичниках и подразделяется на три периода (стадии): размножение, рост и созревание.

В период размножения диплоидные первичные половые клетки оогонии интенсивно делятся путем митоза, в результате чего увеличивается их количество. Образование многочисленных первичных половых клеток происходит на стадии эмбриона. К моменту рождения в дочернем организме формируется около 30 тыс. первичных половых клеток, которые сохраняются долгие годы без изменения.

С наступлением половой зрелости отдельные первичные половые клетки периодически вступают в **период роста**, который может продолжаться несколько месяцев. За это время их объем значительно увеличивается в основном за счет как синтеза белка, так и активного транспорта веществ из окружающих их фолликулярных клеток и крови. На стадии роста в будущих половых клетках (ооцитах) происходит репликация ДНК.

В период созревания увеличившиеся в размерах первичные половые клетки (ооциты 1-го порядка) делятся путем мейоза. После первого мейотического деления образуется одна крупная гаплоидная клетка (ооцит 2-го порядка) и одна маленькая, называемая **направительным тельцем** (**полярным тельцем**). Ооцит 2-го порядка выходит из яичника в брюшную полость и далее попадает в маточную трубу. Данный процесс называется **овуляцией**. В маточной трубе после оплодотворения эта клетка совершает второе мейотическое деление, образуя крупную яйцеклетку и второе направительное тельце. Первое направительное тельце, как правило, тоже делится.

Таким образом, в отличие от сперматогенеза, где в ходе мейоза образуются четыре равноценные друг другу гаплоидные клетки, при оогенезе развивается одна крупная яйцеклетка и три мелких направительных тельца. Биологический смысл неравномерного деления заключается в сохранении в яйцеклетке максимального количества питательных веществ в виде желтка, необходимых для развития будущего зародыша.

Осеменение и оплодотворение у животных. Процесс слияния мужской и женской половых клеток называется **оплодотворением**. Однако для того, чтобы оно произошло, сперматозоиду необходимо встретиться с яйцеклеткой. Процесс сближения мужских и женских половых клеток у животных называется **осеменением**. Различают наружное и внутреннее осеменение.

При **наружном осеменении** сперматозоиды и яйцеклетки попадают в воду, где и происходит их слияние. Наружное осеменение характерно для водных животных (многих беспозвоночных, рыб, амфибий). При таком осеменении необходимо большое количество гамет (например, треска выметывает около 10 млн икринок), так как большая часть их гибнет в неблагоприятных условиях среды. Встрече гамет содействует выработка ими особых веществ, усиливающих движение сперматозоидов и продлевающих период их подвижности.

Внутреннее осеменение характерно для обитателей суши, где отсутствуют условия для сохранения и встречи гамет во внешней среде. При таком типе осеменения сперматозоиды вводятся в половые пути самки. У самцов для этого обычно имеются совокупительные органы. В этом случае вероятность

осеменения очень высока и, как следствие, количество яйцеклеток у таких животных резко уменьшается. Внутреннее осеменение характерно для всех наземных позвоночных (рептилий, птиц, млекопитающих), а также для многих беспозвоночных (круглых червей, пауков и насекомых).

При встрече сперматозоида с яйцеклеткой происходит оплодотворение. Этот процесс состоит из нескольких этапов: проникновения сперматозоида в яйцеклетку, слияния гаплоидных ядер обеих гамет с образованием диплоидной клетки — зиготы и активации ее к дроблению и дальнейшему развитию.

Проникновение сперматозоида в яйцеклетку вызывает образование *оболочки оплодотворения*, которая препятствует проникновению других сперматозоидов в яйцеклетку.

Проникшее в цитоплазму яйцеклетки ядро сперматозоида набухает, достигает величины ядра яйцеклетки. Ядра сближаются и сливаются. Этот момент и является собственно *оплодотворением*. В результате образуется зигота с диплоидным набором хромосом. В ядре зиготы все хромосомы вновь становятся парными: в каждой паре гомологичных хромосом одна из них — отцовская, другая — материнская. Следовательно, диплоидный набор хромосом, характерный для соматических клеток каждого вида организма, восстанавливается именно при оплодотворении.

Двойное оплодотворение у цветковых растений. Оплодотворению у цветковых растений предшествует формирование мужского и женского гаметофитов — полового поколения в жизненном цикле растений (рис. 4.7).

Мужской гаметофит образуется следующим образом: в пылевых камерах (микроспорангиях) пыльников тычинок есть особые диплоидные клетки — материнские клетки микроспор, которые претерпевают мейоз. В его результате из каждой клетки образуется по четыре *микроспоры*. Затем в пыльнике каждая микроспора превращается в *пыльцевое зерно (пыльцу)* — мужской гаметофит. Он состоит из двух клеток: большой (вегетативной) и малой (генеративной), — покрытых двойной оболочкой. Позднее генеративная клетка делится митотически с образованием двух неподвижных мужских половых клеток — *спермиев*.

Образование *женского гаметофита* происходит в семязачатке, находящемся внутри завязи пестика. *Семязачаток, или семяпочка*, — это *мegasпорангий*, защищенный покровами. Покровы окружают семязачаток со всех сторон, но на верхушке не срастаются и образуют узкий канал — *пыльцевход*. В семязачатке, вблизи пыльцевхода, развивается одна диплоидная клетка, которая является материнской клеткой мегаспор. Она делится путем мейоза, давая четыре гаплоидные *мегаспоры*. Ядро одной из мегаспор (остальные три разрушаются) претерпевает три последовательных митотических деления. После первого деления образуются два ядра, которые перемещаются к противоположным полюсам клетки, где осуществляются два последующих деления.

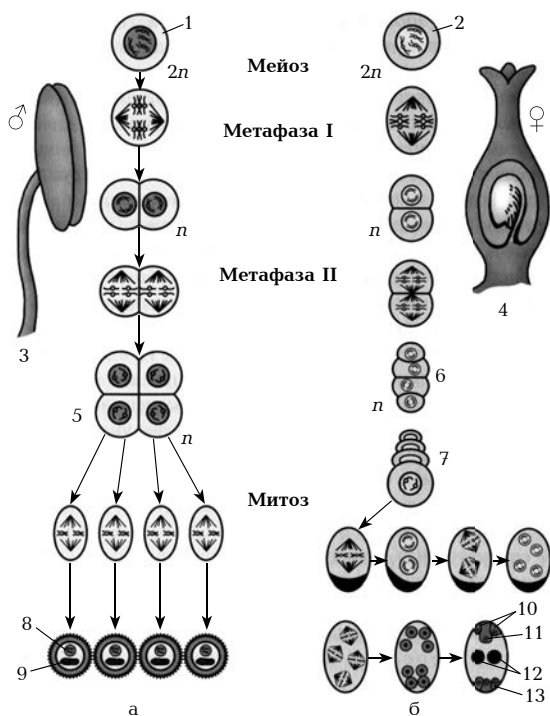


Рис. 4.7. Образование пыльцевых зерен (а) и зародышевого мешка (б) у цветковых растений: 1 — материнская клетка микроспоры; 2 — материнская клетка мегаспоры; 3 — тычинка; 4 — пестик; 5 — тетрада микроспор; 6 — тетрада мегаспор; 7 — три мегаспоры дегенерируют; 8 — ядро вегетативной клетки; 9 — генеративная клетка; 10 — синергиды; 11 — яйцеклетка; 12 — полярные ядра; 13 — антиподы

В результате на каждом из полюсов образуется по четыре ядра. Три ядра у каждого полюса обособляются в клетки. На полюсе, который находится ближе к пыльцевходу, одна из клеток становится женской гаметой — *яйцеклеткой*, две другие — вспомогательными клетками — *синергидами*. Три клетки на противоположном полюсе называются *антиподами*. Два оставшихся на полюсах клетки ядра (полярные ядра) мигрируют к центру и спустя некоторое время сливаются, образуя диплоидное ядро *центральной клетки*. Так формируется *зародышевый мешок*, который представляет собой женский гаметофит с яйцеклеткой.

После созревания пыльцы пыльники тычинок лопаются и пыльца переносится на рыльце пестика — происходит *опыление*. Попав на рыльце пестика, пыльцевое зерно набухает и начинает прорастать (рис. 4.8). Из вегетативной клетки развивается длинная пыльцевая трубка, которая по тканям столбика дорастает до завязи и далее — до семязачатка. Из генеративной клетки к этому моменту образуются два спермия, которые попадают в пыльцевую трубку.

Пыльцевая трубка входит в семязачаток через пыльцевход. Кончик трубки разрывается, спермии освобождаются и проникают в зародышевый мешок.

Один из спермиев сливается с яйцеклеткой. В результате образуется зигота, из которой развивается зародыш нового организма. Другой спермий сливается с диплоидным ядром центральной клетки зародышевого мешка, образуя триплоидную клетку. Впоследствии в результате деления этой клетки формируется питательная ткань — *эндосперм*. В нем содержится запас питательных веществ, необходимых для роста и развития зародышка.

Слияние одного спермия с яйцеклеткой, а другого — с центральной диплоидной клеткой — *двойное оплодотворение* — представляет собой характерную особенность цветковых растений. Этот способ оплодотворения был открыт в 1898 г. русским цитологом и эмбриологом С. Г. Навашниным.

Благодаря двойному оплодотворению происходит быстрое образование питательной ткани. Кроме того, ускоряется весь процесс формирования семени.

После оплодотворения семязачаток разрастается и превращается в семя, а в результате разрастания завязи пестика формируется плод. Стенки завязи становятся стенками плода — *околоплодником*, внутри которого находятся семена.

Партеногенез. Особую форму полового размножения представляет собой *партеногенез*, или *девственное размножение*, — развитие организма из неоплодотворенной яйцеклетки. Эта форма размножения характерна главным образом для видов, обладающих коротким жизненным циклом.

Партеногенез может быть гаплоидным и диплоидным.

При *гаплоидном (генеративном) партеногенезе* новый организм развивается из гаплоидной яйцеклетки. Получаемые при этом особи могут быть только мужскими, только женскими или теми и другими. Это зависит от хромосомного определения пола. Например, у пчел, паразитических ос, муравьев самцы появляются в результате партеногенеза, в то время как из оплодотворенных яиц — диплоидные самки, что приводит к возникновению различных каст организмов. Такой механизм размножения у общественных насекомых позволяет регулировать численность потомков разного пола.

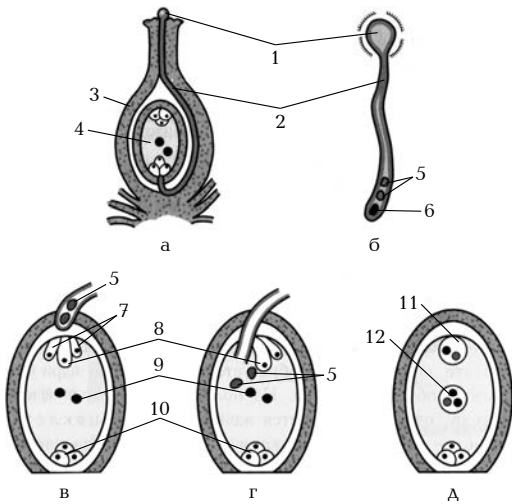


Рис. 4.8. Двойное оплодотворение: а — продольный разрез пестика; б — прорастание пыльцевого зерна; в — проникновение пыльцевой трубки в зародышевый мешок; г — излияние содержимого пыльцевой трубки (двух спермиев) в зародышевый мешок; д — зародышевый мешок после оплодотворения; 1 — прорастающее пыльцевое зерно; 2 — пыльцевая трубка; 3 — завязь; 4 — зрелый зародышевый мешок; 5 — спермии; 6 — вегетативное ядро; 7 — синергиды; 8 — яйцеклетка; 9 — полярные ядра; 10 — антиподы; 11 — зигота; 12 — триплоидное ядро

У тлей, дафний, коловраток, некоторых ящериц наблюдается *гиплоидный (соматический) партеногенез*, при котором самки формируют диплоидные яйцеклетки. В благоприятных условиях у дафний, например, не происходит мейоза: диплоидные яйцеклетки развиваются без оплодотворения и дают начало самкам. У скальных ящериц перед мейозом происходит увеличение числа хромосом в клетках половых желез. Далее клетки проходят нормальный цикл мейоза. В результате образуются диплоидные яйцеклетки, которые без оплодотворения дают начало новому поколению, состоящему только из самок. Это позволяет поддерживать численность особей в условиях, когда затруднена встреча особей разного пола.

Естественный партеногенез встречается у птиц. У одной из пород индеек происходит развитие особей из неоплодотворенных яиц, причем из них появляются только самцы.

ОНТОГЕНЕЗ

Понятие об онтогенезе. Развитие организма от начала его существования до конца жизни называется *индивидуальным развитием*, или *онтогенезом*. У одноклеточных протистов и бактерий онтогенез практически совпадает с клеточным циклом. Он начинается с возникновения организма вследствие деления материнской клетки, а заканчивается очередным делением этого организма или его смертью. В ходе индивидуального развития постепенно реализуется наследственная информация, полученная от родителей.

Типы онтогенеза животных. У животных выделяют три типа онтогенеза: личиночный, яйцекладный и внутриутробный.

Личиночный тип развития характерен для многих беспозвоночных (кишечнополостные, двусторчатые моллюски, ракообразные, насекомые) и позвоночных (рыбы и амфибии). У этих животных после раннего выхода из яйцевых оболочек организм некоторое время живет в форме личинки, существенно отличающейся по внешнему виду от взрослой формы. В конце личиночной стадии обычно происходит *метаморфоз* — превращение личинки во взрослую особь (рис. 4.9).

У амфибий из икринки развивается личинка (головастик), которая резко отличается от взрослых животных не только по строению, но и по образу жизни и среде обитания. У головастика, как и у рыб, имеются жабры, орган боковой линии, хвост, двухкамерное сердце, один круг кровообращения. По достижении личинкой определенного уровня развития головастик превращается в лягушку.

Наличие личиночной стадии в развитии земноводных и других животных позволяет им жить в разных средах и использовать разные источники пищи. Так, головастик живет в воде и питается растительной пищей, а лягушка ведет в основном наземный образ жизни и питается животной пищей. Такое явление наблюдается и у многих насекомых (стрекозы, комары).

Смена среды обитания и, как следствие, смена образа жизни животного при переходе его от личиночной стадии к взрослому организму снижает внутривидовую конкуренцию. Кроме того, у некоторых малоподвижных или прикрепленных животных (коралловые полипы, устрицы, мидии и др.) свободноплавающая личинка способствует расселению вида, расширению его ареала. Это позволяет избежать перенаселения, которое повлекло бы за собой усиление конкуренции за пищу и другие ресурсы, угрожающей выживанию вида.



Рис. 4.9. Майский жук, его личинка и куколка

Яйцекладный тип онтогенеза известен у пресмыкающихся, птиц и яйцекладущих млекопитающих (утконос и ехидна), яйцеклетки которых богаты желтком. Зародыш таких видов развивается внутри яйца. Личиночная стадия у них отсутствует.

Внутриутробный тип развития свойствен большинству млекопитающих, включая и человека. При этом развивающийся зародыш задерживается в материнском организме, где, благодаря образованию плаценты, потребности растущего эмбриона (питание, дыхание, выделение и др.) обеспечиваются организмом матери. Внутриутробное развитие оканчивается процессом деторождения.

В онтогенезе выделяют два периода — эмбриональный и постэмбриональный.

Эмбриональный период развития. *Эмбриональное, или зародышевое, развитие* охватывает промежуток времени от первого деления зиготы до выхода из яйца или рождения молодой особи (у животных) или до прорастания семян (у растений).

Эмбриональное развитие большинства животных проходит по единому плану и включает три основных этапа: дробление, гастрюляцию и органогенез.

Рассмотрим эмбриональное развитие на примере примитивного хордового животного — ланцетника. Через некоторое время после оплодотворения зигота начинает делиться путем митоза. Образующиеся при этом многочисленные клетки называются *бластомерами*. При делении бластомеры не расходятся и не увеличиваются в размерах. С каждым последующим делением они становятся все мельче и мельче. Деление, приводящее к увеличению числа клеток без их роста, называется *дроблением* (рис. 4.10). В результате дробления зиготы зародыш становится многоклеточным, сохраняя при этом примерно тот же объем. Дробление — строго координированный процесс, находящийся под генетическим контролем.

Этот процесс завершается образованием однослойного многоклеточного зародыша — *бластулы*. В типичном случае она напоминает полный шарик со стенкой из одного ряда мелких бластомеров (*бластодерма*) и центральной полостью, заполненной жидкостью (*бластоцелем*).

В ходе дальнейшего развития бластоцель превращается в *первичную полость тела*, сохраняющуюся во взрослом состоянии у круглых червей.

После дробления идет процесс *гастрюляции*, который у ланцетника осуществляется путем впячивания части бластодермы в бластоцель. В результате этих перемещений клеточного материала образуется *гастрола* — чашевидный зародыш, состоящий из двух слоев, или *зародышевых листков*: наружного — *эктодермы* и внутреннего — *энтодермы*. Полость, ограниченная энтодермой, называется *первичной кишкой*. Она связана с внешней средой через отверстие, которое называется *первичным ртом*, или *бластопором*. У червей, моллюсков и членистоногих бластопор в дальнейшем превращается в рот. Эти животные относятся к группе *первичноротых*. У иглокожих и хордовых на месте первичного рта

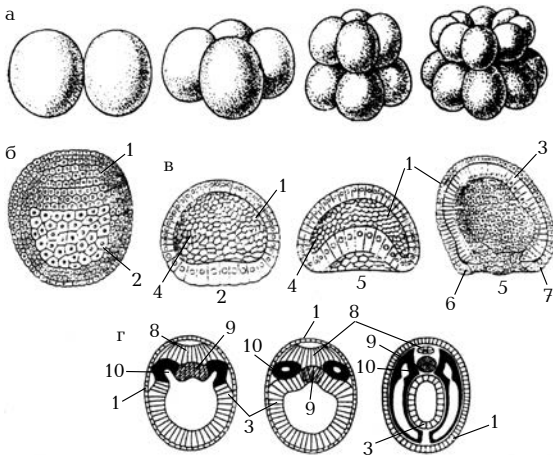


Рис. 4.10. Начальные стадии развития ланцетника: а — дробление (стадия двух, четырех, восьми, шестнадцати бластомеров); б — бластула; в — гастрюляция; г — схематический поперечный разрез через зародыш ланцетника; 1 — эктодерма; 2 — вегетативный полюс бластулы; 3 — энтодерма; 4 — бластоцель; 5 — рот гастрюлы (бластопор); 6, 7 — спинная и брюшная губы бластопора; 8 — образование нервной трубки; 9 — образование хорды; 10 — образование мезодермы

зародыша образуется анальное отверстие, а ротовое отверстие прорывается на противоположной стороне. Их называют *вторичноротыми* животными.

Кишечнополостные заканчивают свое развитие на стадии двух зародышевых листков. У остальных животных в процессе гастрюляции или после ее завершения образуется еще и третий зародышевый листок — *мезодерма*. У хордовых животных она формируется в виде парных карманообразных выпячиваний эпителия первичной кишки в бластоцель. В итоге от первичной кишки отщипываются замкнутые пузырьки, или мешочки, с полостью внутри. Они и представляют собой зачатки мезодермы, а полость внутри пузырьков — *вторичную полость тела*.

После завершения гастрюляции у зародыша начинается процесс образования осевых органов — *нервной трубки, хорды и пищеварительной (кишечной) трубки*.

Из эктодермы образуется нервная пластинка. Ее боковые края приподнимаются, а центральная часть опускается, образуя нервный желобок. Его края смыкаются, и желобок превращается в лежащую под эктодермой *нервную трубку* — зачаток центральной нервной системы.

Одновременно с мезодермой из энтодермы образуется *хорда* — гибкий скелетный тяж, расположенный у эмбрионов всех хордовых на спинной стороне. Впоследствии хорда у позвоночных животных замещается позвоночником, и только у некоторых низших позвоночных (осетровые, кистеперые и двоякодышащие рыбы) она сохраняется в течение всей жизни. Остальная энтодерма дает начало пищеварительной трубке и называется кишечной энтодермой.

Осевой комплекс органов зародыша определяет двустороннюю симметрию тела. Стадия, на которой осуществляется закладка осевых органов, называется *нейрулой*.

Таким образом, уже на ранних стадиях эмбрионального периода онтогенеза из внешне одинаковых бластомеров развиваются различные по строению и функциям ткани, органы и системы органов. Этот процесс получил название *дифференцировки клеток*. Он обуславливается тем, что в различных клетках зародыша активируются различные, строго определенные группы генов. Это приводит к различиям в наборе белков, функционирующих в клетках, и, следовательно, к различиям в химических реакциях, которые в них протекают, и в строении структур, составляющих бластомеры. Например, в клетках эпителия синтезируется кератин, в эритроцитах — гемоглобин, в клетках островковой ткани поджелудочной железы — инсулин и т. д.

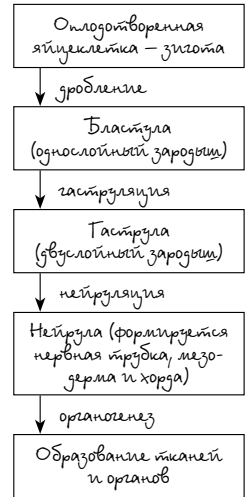
Дальнейшая дифференцировка клеток каждого зародышевого листка приводит к образованию тканей и органов, т. е. к *органогенезу*.

Из *ектодермы* образуются нервная ткань, органы чувств, покровный эпителий с его железами и производными структурами (волосы, перья, когти, копыта и т. п.).

Из *энтодермы* формируются эпителий кишечника, печень, поджелудочная железа, жабры, легкие, плавательный пузырь, щитовидная железа.

Из *мезодермы* развиваются все виды мышечной и соединительной тканей, кровеносная, выделительная и половая системы.

Особенности эмбриогенеза позвоночных. Эмбриональное развитие организмов с разным типом онтогенеза протекает в разных условиях. При этом необходимая связь зародыша со средой обеспечивается специальными, временно функционирующими внезародышевыми органами, называемыми *провизорными*. Для всех позвоночных, яйца которых богаты желтком (рыбы, рептилии, птицы), характерен такой провизорный орган, как *желточный мешок*. В нем содержатся питательные вещества желтка (белки, углеводы, жиры и др.) для развивающегося эмбриона. Желточный мешок — это и первый кровеносный орган зародыша.



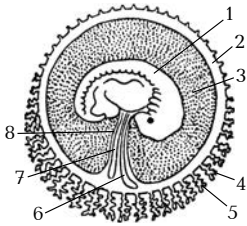


Рис. 4.11. Схема расположения зародышевых оболочек: 1 — зародыш; 2 — амнион и его полость (3), заполненная амниотической жидкостью; 4 — хорион с ворсинками, образующими детское место (5); 6 — пупочный или желточный пузырь; 7 — аллантоис; 8 — пуповина

Важной особенностью эмбрионального развития *амниот* — настоящих наземных позвоночных (пресмыкающихся, птиц и млекопитающих) — является развитие трех зародышевых оболочек: амниона, хориона и аллантоиса (рис. 4.11). Эти оболочки функционируют только в течение эмбрионального периода и обеспечивают нормальные условия для развития зародыша.

Амнион — внутренняя зародышевая оболочка — представляет собой наполненный жидкостью мешок, окружающий зародыш и защищающий его от механических повреждений и высыхания. Амниотическая жидкость представляет собой водный раствор белков, сахаров, минеральных солей, содержащий также гормоны и мочевины. В акушерской практике амниотическую жидкость, отходящую при родах, называют *водами*.

Хорион, или *ворсинчатая оболочка*, выполняет функцию наружной зародышевой оболочки. Она названа так из-за наличия на ее поверхности множества пальцеобразных выростов — *ворсинок*. Ворсинки хориона врастают в слизистую оболочку матки — мешковидного органа материнского организма, присущего только млекопитающим.

Аллантоис представляет собой мешок, развивающийся как вырост заднего отдела кишечной трубки зародыша. У пресмыкающихся и птиц в нем накапливаются продукты жизнедеятельности зародыша до вылупления из яйца. У млекопитающих и человека аллантоис разрастается и соединяется с хорионом, образуя богатую кровеносными сосудами структуру — *хориоаллантоис*. Последний участвует в формировании детского места, или плаценты, — органа, более эффективно осуществляющего обмен между зародышем и материнским организмом.

Взаимовлияние частей развивающегося зародыша. Процесс дифференцировки клеток в значительной степени обусловлен влиянием друг на друга частей развивающегося зародыша. При изучении развития оплодотворенной яйцеклетки лягушки было установлено, что строго определенные клетки, занимающие соответствующее место в бластуле, дают начало строго определенным зачаткам органов. Прослежено, из каких групп клеток эктодермы, энтодермы и мезодермы формируются те или иные органы. Есть участки, которые способны влиять на развитие соседних органов. Сведения о таком взаимном влиянии были получены в результате пересадки участков одного зародыша другому.

На стадии ранней гаструлы брался участок хорды с зачатком мезодермы у одного зародыша лягушки и пересаживался под эктодерму другого зародыша. В месте контакта пересаженного участка хорды и зачатка мезодермы с эктодермой у другого зародыша возникала дополнительная нервная трубка, а из пересаженного участка развивались хорда и мезодерма. В других опытах из пересаженного участка хорды и мезодермы возникал комплекс осевых органов. Если на стадии ранней гаструлы у зародыша полностью удалить зачаток хорды, то нервная трубка не развивается. И хорда, в свою очередь, для развития нуждается во влиянии зачатка нервной трубки. Следовательно, в процессе эмбриогенеза один зачаток влияет на другой, определяя путь его развития. Такое влияние называется *эмбриональной индукцией*.

Эмбриональная индукция (лат. *inductus* — побуждение) является важнейшим фактором развития всех многоклеточных животных. Она реализуется на уровне как ткани, так и отдельных клеток.

У позвоночных принцип эмбриональной индукции лежит в основе формирования практически всех органов, независимо от их принадлежности к тому или иному зародышевому листку. Так, печень, легкие, поджелудочная железа и слюнные железы возникают в результате индуктивных взаимодействий между зародышевой соединительной тканью и энтодермальным эпителием. Более того, клетки, пересаженные со спинной стороны (области нервной

системы) на брюшную сторону зародыша, становились клетками покровов, а клетки, пересеженные с брюшной стороны на спинную, — нервными. Следовательно, во время эмбрионального развития животных осуществляется не односторонняя индукция, а взаимодействие частей развивающегося зародыша.

ПОСТЭМБРИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ

После появления организма на свет начинается его постэмбриональное, или послезародышевое, развитие, которое у разных видов организмов протекает от нескольких дней до сотен лет. Оно подразделяется на три периода — *ювенильный*, *период зрелости* и *период старения*, заканчивающийся смертью.

Ювенильный период (лат. *juventus* — юный) продолжается до полового созревания. Для этого периода характерно *прямое* либо *непрямое* развитие.

При *прямом развитии* из яйца или из тела матери выходит особь, похожая на взрослую, но значительно меньших размеров (пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие). Постэмбриональное развитие сводится в основном к их росту и половому созреванию.

Непрямое развитие бывает неполным (только с личиночной стадией) и полным (с личиночной стадией и куколкой). Полный метаморфоз свойствен насекомым, личинки (гусеницы) которых непохожи на взрослых особей. Личинки усиленно питаются, растут, затем превращаются в неподвижную куколку (бабочки, жуки, пчелы, муравьи и др.). В стадии покоящейся куколки личиночные органы подвергаются полному распаду, после чего разрушенное вещество используется как питательный материал для развития органов взрослого насекомого (рис. 4.12).

У насекомых с неполным превращением стадия куколки отсутствует. У них личинка после каждой очередной линьки растет и все больше становится похожей на взрослое насекомое (стрекозы, кузнечики, медведки и др.).

Период зрелости у большинства позвоночных животных занимает, как правило, большую часть жизни. Главным событием этого периода является образование потомства.

Старение, свойственное всем живым организмам, характеризуется постепенным затуханием основных функций и в конечном итоге заканчивается смертью.

Генетический контроль процессов развития. Весь процесс индивидуального развития организма регулируется генетической программой. При этом геном всех клеток в большинстве случаев остается в ходе развития одинаковым. Однако в ходе онтогенеза работают не все гены одновременно. Происходит последовательная реализация генетической программы: одни гены включаются, проявление других подавляется.

Управление развитием организма осуществляется с помощью множества взаимодействующих генов, влияющих друг на друга через свои продукты — белки. Число включенных генов резко снижается со стадии зиготы и до стадии зрелых тканевых клеток. Например, у морских ежей на стадии зиготы белки считываются примерно с 24 000 разных иРНК, на стадии гаструлы — с 11 000, а в клетках разных тканей взрослого животного — всего

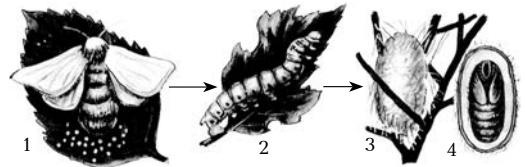


Рис. 4.12. Этапы развития тутового шелкопряда: 1 — бабочка откладывает яйца; 2 — гусеница; 3 — кокон; 4 — куколка в коконе

с 2000—4000. Следовательно, большинство видов белков нужно не для функционирования клеток взрослого организма, а для его развития.

На процесс развития могут влиять самые разные гены, поскольку практически все процессы в организме взаимосвязаны. Примером такого действия генов могут служить последствия замены у человека всего одной аминокислоты в бета-цепи молекулы гемоглобина (глутаминовая кислота → валин). Это приводит к развитию серповидноклеточной анемии. Здесь первичный дефект гена — деформирование эритроцитов — косвенно влияет на другие признаки, в том числе связанные с развитием (например, на форму черепа), а также ведет к нарушению кровообращения и появлению анемии, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на развитие организма в целом.

Установлено существование специальных генов, которые контролируют развитие. Например, выявлены гены, отвечающие за становление плана строения животных. У дрозофилы еще до появления границ между клетками закладываются оси тела и наносится «разметка» будущих границ сегментов (и даже их частей). Развитие плана строения насекомого регулируется несколькими группами генов, которые последовательно включают друг друга.

Понятие о жизненном цикле. *Жизненный цикл*, или *цикл развития*, — совокупность всех стадий развития организма, пройдя которые он достигает зрелости и способен дать начало следующему поколению. Длительность жизненных циклов определяется числом поколений, развивающихся в течение года, или числом лет, на протяжении которых осуществляется один жизненный цикл.

Различают два типа жизненных циклов — простой и сложный. *Простой жизненный цикл* характерен для животных с прямым постэмбриональным развитием особей (многие беспозвоночные и большинство позвоночных).

Сложный цикл развития осуществляется с метаморфозом или с чередованием поколений. При развитии с метаморфозом жизненный цикл прослеживается в течение развития одной особи (например, у бабочки: яйцо — личинка — куколка — взрослая особь). При развитии со сменой поколений или сменой способов размножения (бесполого и полового) жизненный цикл прослеживается на нескольких особях разных поколений до появления исходной формы. Например, у некоторых водорослей и растений типична смена гаметофита и спорофита.

ГЛАВА 5

Бактерии

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ФОРМЫ И СТРОЕНИЕ БАКТЕРИЙ

Распространение бактерий. Бактерии встречаются практически везде: в воде, почве, воздухе, тканях растений и телах животных и человека. В ротовой полости человека, например, постоянно находится больше бактерий, чем живет людей на Земле. Бактерии живут там, где они находят достаточно пищи, влаги и благоприятную температуру (от 15 до 35 °С). Некоторые виды бактерий способны обитать в горячих источниках с температурой от 60 до 90 °С. Другие живут в концентрированных соляных растворах, содержащих от 120 до 300 г соли на 1 л (морская вода содержит приблизительно 20—35 г соли на 1 л).

Большинству из них необходим кислород. Однако есть бактерии, которые существуют и в бескислородной среде.

В разных местах встречается различное количество бактерий. Меньше всего их в воздухе, особенно в природных условиях. Однако в местах скопления людей, например в кинотеатрах, на вокзалах, в классах, их значительно больше. Вот почему необходимо часто проветривать помещения. В водах рек, особенно вблизи больших городов, бактерий может быть до 400 тыс. в 1 мм³, поэтому нельзя пить сырую воду из открытых водоемов.

Еще больше бактерий в почве — до 100 млн в 1 г гумуса — плодородного слоя почвы. Очень много бактерий в воде морей и океанов.

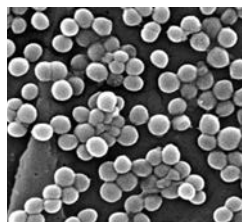
Таким образом, бактерии обитают повсеместно. Некоторые группы бактерий способны выживать там, где не может существовать ни один другой живой организм.

Многообразие форм и строение бактерий. Бактерии очень малы — от 0,2 до 10 мкм в длину. Самые большие из них можно распознать под световым микроскопом с тысячекратным увеличением, а для самых маленьких (0,2 мкм) требуется электронный микроскоп. Правда, есть и исключения. Клетки некоторых нитчатых серобактерий имеют диаметр около 50 мкм, а клетки некоторых спирохет — длину 250 мкм.

Для бактерий характерны две основные формы клеток: шаровидная (кокки) и палочковидная (бациллы). Изогнутые в виде запятой палочковидные бактерии называются вибрионами, завитые в спираль — спириллами.

Некоторые бактерии располагаются вплотную друг к другу, формируя характерные объединения. Две шаровидные бактерии, заключенные в общую слизистую капсулу, называются диплококком, цепочки из кокков называются стрептококками; грозди кокков (наподобие виноградной грозди) — стафилококками. Среди бактерий есть жгутиковые формы, имеющие один или несколько жгутиков.

Поверхностный аппарат клеток бактерий состоит из клеточной оболочки, цитоплазматической мембраны, а некоторые группы бактерий сверху этих



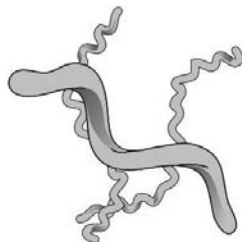
Кокки



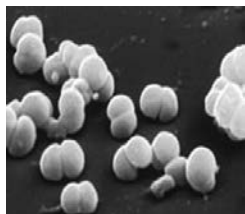
Клещевидная палочка



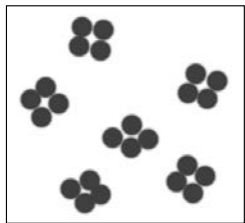
Холерный вибрион



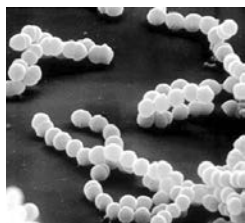
Спирилла



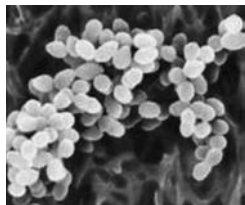
Диплококки



Тетрадококки



Стрептококки



Стафилококки

структур имеют еще дополнительную наружную мембрану и слизистую капсулу.

Клеточная оболочка бактерий существенно отличается по строению от оболочек клеток растений и грибов. В ней есть особая жесткая решетка, состоящая из полисахарида муреина (пептидогликана). Клеточная оболочка выполняет защитную и опорную функции, а также придает бактерии постоянную, характерную для нее форму.

По строению клеточной оболочки бактерии подразделяются на две группы — *грамположительные* (окрашиваются по Граму в фиолетовый цвет) и *грамотрицательные* (обесцвечиваются при отмывке красителя, поэтому при окраске по Граму приобретают розовый цвет).

У грамположительных бактерий муреиновая сеть многослойная. Кроме того, в нее встроены другие вещества, главным образом белки и полисахариды.

У грамотрицательных бактерий клеточная оболочка тоньше, чем у грамположительных, но устроена она сложнее (рис. 5.1). У этих бактерий снаружи от муреинового слоя расположен дополнительный слой клеточной оболочки — наружная мембрана, состоящая из фосфолипидов и белков. Наличие наружной мембраны у грамотрицательных бактерий значительно расширяет круг функций поверхностного аппарата. Так, она осуществляет регуляцию транспорта веществ и ионов, необходимых клетке, препятствует проникновению в клетку токсичных веществ. Это делает грамотрицательные бактерии более устойчивыми по сравнению с грамположительными к действию некоторых ядов, химических веществ, ферментов, антибиотиков.

Снаружи клеточная оболочка часто бывает окружена слизистым чехлом, или капсулой, которая также выполняет защитную функцию.

Цитоплазматическая мембрана бактерий образует впячивания внутрь клетки — *мезосомы*, которые имеют вид закрученных в спираль или клубок образований. Считают, что мезосомы могут принимать участие в образовании поперечных перегородок при делении клеток, служить местом прикрепления бактериальной хромосомы.

Под цитоплазматической мембраной расположена полужидкая цитоплазма.

Прокариоты, как следует из их названия, не имеют оформленного ядра. Их ядерное вещество представлено, как правило, единственной кольцевой молекулой ДНК, которая условно называется **бактериальной хромосомой**. Молекула ДНК находится непосредственно в цитоплазме (рис. 5.2). ДНК-содержащая зона клетки прокариот, не ограниченная мембраной, называется **нуклеоидом**. Помимо крупной кольцевой молекулы ДНК в бактериальных клетках могут содержаться маленькие кольцевые молекулы ДНК — *плазмиды*, способные к самостоятельной репликации. Информация, содержащаяся в плазмидах, не является необходимой для клеток, но может придавать клетке полезные свойства: устойчивость к антибиотикам, тяжелым металлам, способность расщеплять или синтезировать различные вещества, способность к конъюгации (*F*-, половые плазмиды). Плазмиды могут перемещаться из одной клетки в другую и встраиваться в основную молекулу ДНК.

Бактериальные клетки не имеют также большинства органоидов и структур, характерных для клеток эукариот, — митохондрий, пластид, эндоплазматической сети, комплекса Гольджи, лизосом, клеточного центра, цитоскелета. В то же время в их цитоплазме располагаются многочисленные рибосомы. У некоторых бактерий — обитателей водоемов или капилляров почвы, заполненных водой, имеются

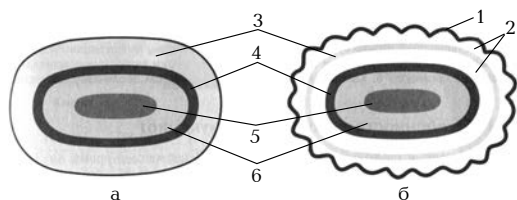


Рис. 5.1. Клеточная оболочка бактерий: а — грамположительная бактерия; б — грамотрицательная бактерия; 1 — наружная мембрана; 2 — периплазматическое пространство; 3 — муреин; 4 — цитоплазматическая мембрана; 5 — ДНК; 6 — цитоплазма

особые *газовые вакуоли*. Изменяя в них объем газов, эти бактерии могут перемещаться в толще водной среды (всплывать, погружаться) с минимальными затратами энергии. В клетках цианобактерий обнаружены округлые замкнутые мембранные структуры — **хроматофоры** (гр. *хрома* — краска и *форос* — несущий), в которых расположены фотосинтезирующие пигменты. Хроматофоры являются производными цитоплазматической мембраны.

У некоторых палочковидных бактерий имеются органоиды движения — один, несколько или много **жгутиков**. Жгутики могут быть длиннее самой клетки в несколько раз, однако они очень тонкие — диаметром 10—25 нм, поэтому в световой микроскоп они не видны.

В отличие от эукариот, большинство из которых являются **аэробами**, т. е. используют в энергетическом обмене кислород, многие прокариоты являются **анаэробами**, и кислород для них вреден. Некоторые бактерии, называемые азотфиксирующими, способны усваивать азот воздуха, чего эукариоты делать не могут.

В неблагоприятных условиях (холод, жара, засуха и т. д.) многие бактерии способны образовывать **споры**. При спорообразовании вокруг участка цитоплазмы с бактериальной хромосомой формируется плотная защитная оболочка. Внутри бактериальной клетки обычно образуется одна спора. В спорах содержится всего 15 % воды, поэтому они устойчивы к действию высоких температур (в некоторых случаях могут выдерживать длительное кипячение), ионизирующего излучения, химических веществ и других факторов. Споры могут десятилетиями находиться в неактивном состоянии, а в благоприятных условиях прорасти в активные бактерии.

Большинство прокариот — одноклеточные организмы, но среди них есть и колониальные, и многоклеточные формы.

Движение бактерий. Бактерии реагируют на определенные раздражители, многие из них способны передвигаться. Движение многих палочковидных бактерий осуществляется с помощью жгутиков. Безжгутиковые бактерии перемещаются благодаря выбрасыванию слизи или вращению вокруг своей оси — скольжению. Большинство же бактерий передвигаются пассивно, с помощью потоков воздуха, течения воды. Так осуществляется их распространение.

Питание бактерий. Бактерии поглощают питательные вещества всей поверхностью тела. Большинство бактерий являются **гетеротрофами**, т. е. пищей им служат готовые органические вещества отмерших (для сапротрофных бактерий) или живых организмов (бактерии-паразиты). Сапротрофные бактерии (гр. *сапрос* — гнилой и *трофос* — питание) синтезируют белки-ферменты, которые выделяются во внешнюю среду. В ней ферменты расщепляют сложные органические вещества (белки, жиры, целлюлозу) до более простых, которые затем усваиваются бактериями.

Ненужные и избыточные вещества бактерии выделяют в окружающую среду. Если при этом средой их обитания оказываются продукты питания, то мы вместе с пищей поглощаем и продукты жизнедеятельности бактерий. Эти вещества могут быть ядовитыми и отравлять наш организм.

Есть бактерии, которые не нуждаются в готовых органических веществах. Такие бактерии сами образуют их из неорганических веществ. Они являются **автотрофами**. Автотрофные бактерии подразделяются на **фототрофные** и **хемотрофные**. Фототрофные бактерии осуществляют фотосинтез. В их клетках имеются трубчатые или пластинчатые впячивания цитоплазматической мембраны, в которые встроены молекулы хлорофилла и других пигментов. Такие мембранные образования улавливают солнечную энергию,

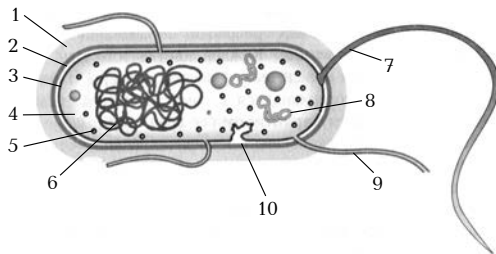


Рис. 5.2. Схема строения прокариотической клетки: 1 — слизистая капсула; 2 — клеточная оболочка; 3 — цитоплазматическая мембрана; 4 — цитоплазма; 5 — рибосома; 6 — кольцевая молекула ДНК; 7 — жгутик; 8 — плазмиды; 9 — отросток; 10 — мезосома

которая и преобразуется в энергию АТФ. За счет энергии АТФ и происходит синтез органических веществ из неорганических (фотосинтез).

Хемотротфные бактерии осуществляют хемосинтез. Они окисляют неорганические соединения, а образующуюся при этом химическую энергию используют для создания органических веществ.

Размножение бактерий. Воспроизведение и размножение бактерий происходит путем деления клетки надвое. Достигнув размеров первоначальной бактерии, они снова делятся. Такая форма бесполого размножения называется *простым бинарным делением*.

При благоприятных условиях (достаточном питании, влажности и температуре от 10 до 30 °С) бактериальные клетки могут делиться каждые 20 мин. После деления бактерии могут оставаться связанными друг с другом и образовывать скопления клеток, простые и разветвленные цепочки. Для колоний разных бактерий характерна определенная форма и окраска.

Быстрое размножение бактерий можно затормозить или предотвратить, создавая неблагоприятные для их жизни условия, например сильно понижая или, наоборот, повышая температуру, удаляя влагу (путем сушки), либо посредством копчения или соления. Эти меры применяются при хранении продуктов питания, семян растений, зерна и др. (например, в холодильниках, холодильных камерах, на складах). Размножение бактерий можно ограничить, воздействуя на них и ультрафиолетом.

У бактерий нет полового размножения, но им присущ половой процесс, при котором бактерии обмениваются генетическим материалом, т. е. происходит генетическая рекомбинация — важнейшее событие полового размножения.

У бактерий известны три способа генетической рекомбинации: трансформация, конъюгация и трансдукция. При *трансформации* происходит перенос части генетического материала от мертвой бактерии к живой без их непосредственного контакта. Из мертвой клетки (клетки-донора) выходит небольшой фрагмент ДНК, который захватывается живой клеткой (клеткой-реципиентом) и включается в состав ее ДНК, замещая в ней похожий фрагмент. *Конъюгация* — это перенос ДНК между клетками, непосредственно контактирующими друг с другом. При этом может обмениваться значительная часть ДНК. При *трансдукции* небольшой двухцепочечный фрагмент ДНК (часто плазмиды) попадает из клетки-донора в клетку-реципиент вместе с бактериофагом. Результатом полового процесса у бактерий является передача таких свойств, как устойчивость к антибиотикам, дезинфицирующим средствам и т. п.

Значение бактерий. Гетеротрофные сапротрофные бактерии являются редуцентами, т. е. активно участвуют в разложении органических веществ отмерших организмов, замыкая цепь биологического круговорота. Отмершие живые организмы или их части (например, листья растений) бактерии разлагают до неорганических веществ (воды, углекислого газа, минеральных веществ). Растения в процессе фотосинтеза из неорганических снова создают органические вещества.

Без бактерий происходило бы накопление отмерших организмов или их частей, например листья в лесу, погибших живых существ. В результате деятельности бактерий в почве образуется перегной (гумус), который повышает ее плодородие.

Бактерии участвуют в биологическом круговороте ряда важнейших химических элементов — серы, железа и многих других. Наиболее важно участие бактерий в биологическом круговороте азота. Никакие эукариотические организмы не способны усваивать атмосферный азот, хотя его содержание в воздухе составляет 78 % и он является одним из органогенных

элементов, поскольку входит в состав всех белков и нуклеиновых кислот. Азотфиксирующие бактерии (в частности, клубеньковые бактерии бобовых растений) способны усваивать азот непосредственно из воздуха, переводя его в соединения, которые уже могут быть использованы эукариотическими организмами, в первую очередь растениями. От растений они получают в качестве «ответной услуги» необходимые для их жизни вещества, например углеводы. Если такие растения перепахать вместе с корнями, то почва обогатится азотом. По этой причине клубеньковые бактерии имеют большое значение при экологическом (без использования минеральных удобрений) ведении сельского хозяйства. Такую совместную жизнь двух организмов, приносящую им взаимную пользу, называют *мутуализмом* (частный случай симбиоза).

Бактерии играют важную роль в качестве симбионтов (например, симбионты микрофлоры кишечника жвачных парнокопытных позволяют этим животным усваивать целлюлозу).

Способность бактерий осуществлять процесс брожения давно и успешно используется человеком. Особенно важным является молочнокислое брожение, осуществляемое большой группой молочнокислых бактерий. Они широко используются при получении молочнокислых продуктов, а также для консервации растительных продуктов (квашение капусты, засолка огурцов, силосование кормов). Образующаяся молочная кислота препятствует развитию гнилостных бактерий в консервируемых продуктах, обеспечивая их сохранность.

Бактерии являются важным объектом биотехнологии — с их помощью получают различное сырье для химической промышленности без использования высоких температур и давления, в частности многие сахара, органические кислоты, полимеры, спирты и др. Некоторые виды микроорганизмов служат источником пищевого белка (на корм скоту). При этом бактерии выращивают на различных отходах (нефтепродуктах, бумаге и др.).

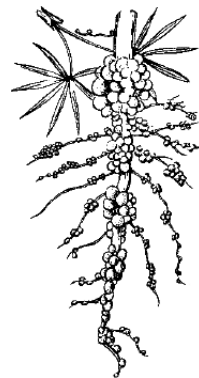
Бактерии широко применяются (в первую очередь кишечная палочка) в генной инженерии. Например, ген, отвечающий за синтез инсулина у животных, был клонирован и перенесен в кишечную палочку. В результате этого последняя приобрела способность синтезировать инсулин и выделять его в среду. Это позволило получать этот гормон в больших количествах. С помощью микроорганизмов ведутся работы по производству интерферона — белка, необходимого при борьбе с вирусными заболеваниями.

Микроорганизмы используют при очистке сточных вод. Бытовые, промышленные и сельскохозяйственные сточные воды очень сильно загрязнены различными веществами. Среди них есть и органические вещества, которые наносят вред окружающей среде, в частности водоемам, если попадают в них со стоками. Именно перед тем как попасть в озера, реки и моря, сточные воды должны быть очищены. Очистка вод производится в очистных сооружениях, где стоки проходят несколько стадий очистки, в том числе биологическую. На этой стадии органические вещества разлагаются бактериями. Таким образом, бактерии благодаря своей деятельности обеспечивают очищение среды обитания и сохранение условий для существования других организмов.

Человек живет в симбиозе с бактериями. В толстом кишечнике человека обитают миллионы различных бактерий. Они участвуют в разложении определенных веществ, производят витамины и защищают человека от болезнетворных бактерий.

Бактерии также используются для биологической борьбы с вредителями сельского хозяйства.

Вместе с тем необходимо отметить, что бактерии могут приносить человеку и ощутимый вред, вызывая порчу пищевых продуктов. Поселяясь на



Клубеньковые бактерии
на корнях люпина

продуктах питания, они разлагают их, одновременно выделяя специфические вещества. При этом продукты питания приобретают неприятный запах и вкус. Вы, вероятно, знаете, как пахнет сваренное несколько дней назад яйцо, если его хранили при комнатной температуре. Чтобы предотвратить порчу продуктов питания, их сушат, солят, засахаривают, маринуют, консервируют, хранят в холодильниках. Используемые при этом вещества-консерванты (соль, сахар, уксус) и низкие температуры хранения, обезвоживание снижают активность бактерий, тормозят их рост и размножение.

Существенный вред человеку наносят болезнетворные бактерии. Наиболее распространенными бактериальными болезнями являются столбняк, туберкулез, чума, холера, коклюш, дифтерия, скарлатина, тиф, венерические болезни (сифилис и гонорея), а также воспаление легких и многие другие.

У крупного рогатого скота, овец и лошадей бактерии вызывают сибирскую язву, сальмонеллез, некробактериоз.

Поражают бактерии и растения, вызывая так называемые *бактериозы* (увядание, пятнистость, гниение стеблей и др.). Бактериозы часто встречаются у сельскохозяйственных растений и значительно снижают урожай. Следует учитывать, что некоторые симбиотические микроорганизмы при изменении условий среды могут переходить к паразитизму и вызывать заболевания.

Важнейшим условием предохранения человека от инфекционных заболеваний является здоровый образ жизни (закаливание, двигательная активность, здоровое питание), который укрепляет защитные силы организма. Кроме того, необходимо поддерживать максимальную чистоту и выполнять специальные гигиенические мероприятия. Важно ежедневно чистить зубы и мыть руки перед едой. Лица, заболевшие заразными болезнями, должны изолироваться даже внутри больниц (в изоляторах), чтобы предотвратить распространение инфекции.

В борьбе с болезнями, вызываемыми бактериями, важную роль играют антибиотики. Речь идет о веществах, вырабатываемых некоторыми грибами (например, плесневым грибом пенициллом синтезируется пенициллин), а также бактериями, которые препятствуют росту болезнетворных бактерий. Антибиотик пенициллин был открыт в 1929 г. шотландцем Александром Флемингом (1881—1955), получившим в 1945 г. за это открытие Нобелевскую премию. Пенициллин, например, препятствует образованию клеточных стенок бактерий, что сдерживает их рост. Необходимо знать, что антибиотики нельзя применять слишком часто, иначе появляются расы бактерий, нечувствительные к ним.

Важным способом борьбы с заболеваниями, вызываемыми бактериями, помимо использования лекарственных препаратов, является вакцинация, т. е. предохранительная прививка ослабленной культурой бактерий — вакциной. Этот способ был открыт Л. Пастером. С целью предотвращения инфекционных заболеваний в нашей стране установлен комплекс оздоровительных мероприятий, санитарный контроль за продуктами питания и водой. Для предупреждения таких опасных заболеваний, как туберкулез, коклюш, тиф, дифтерия, скарлатина, и некоторых других проводят профилактические прививки, которые вызывают устойчивую невосприимчивость к заболеваниям.

Меры борьбы с бактериями. 1. Висушивание. Процесс высушивания некоторых продуктов, фруктов, овощей способствует гибели многих бактерий, а деятельность других сильно замедляет. Однако споры бактерий, а также некоторые неспорообразующие стафилококки и молочнокислые бактерии способны сохраняться в высушенном состоянии несколько лет.

2. Пастеризация. Нагревание продуктов питания до температуры 60—70 °С в течение 10—20 мин обеспечивает гибель большинства видов бакте-

рий. Однако споры некоторых молочнокислых и болезнетворных бактерий при этом сохраняются.

3. *Стерилизация.* Освобождение от всех бактерий и практически всех спор осуществляется посредством стерилизации открытым пламенем, сухим жаром (150—170 °C) или паром под давлением 0,1—0,2 МПа при температуре 120—130 °C.

4. *Охлаждение и замораживание.* Хранение продуктов при низкой температуре способствует снижению или приостановке жизнедеятельности бактерий.

5. *Повышенные концентрации солей или сахаров в среде.* Данный процесс ведет к нарушению обмена веществ и в конечном счете к гибели бактерий.

6. *Повышенная кислотность среды.* Губительно действует на большинство бактерий.

7. *Действие ультрафиолетовых лучей.* За несколько часов их действие убивает все бактерии, кроме автотрофных.

8. *Действие солей тяжелых металлов и других химических веществ.* Для большинства бактерий сильными ядами являются соли ртути, меди, серебра, а также хлор, йод, пероксид водорода, перманганат калия и другие окислители. Из органических веществ наиболее токсичны фенолы, формалин, спирт. Растворы этих веществ используют для дезинфекции, т. е. для уничтожения патогенных (болезнетворных) бактерий.

ЦИАНОБАКТЕРИИ

Среди бактерий особое место занимают *цианобактерии* (гр. *цианос* — синий и *бактерия*) — группа фототрофных прокариотических организмов. Эти бактерии содержат хлорофилл и на свету способны осуществлять фотосинтез, т. е. из углекислого газа и воды создавать органические вещества, выделяя при этом в атмосферу кислород.

Цианобактерии очень древние организмы. Возникли они, вероятно, около 3 млрд лет назад. Это колониальные и многоклеточные, реже одноклеточные организмы разнообразной окраски (сине-зеленой, оливковой, темно-зеленой, светло-золотистой, изумрудной, голубой, фиолетовой, темно-синей). Она обусловлена пигментами, которые содержатся в клетках в разных сочетаниях: фукоцианином (сине-зеленого цвета), хлорофиллом, каротиноидами и фукоэритрином (красного цвета). Благодаря своей окраске цианобактерии придают определенный цвет среде, в которой они обитают, особенно при массовом размножении.

Цианобактерии в основном населяют пресные водоемы, некоторые живут на влажной почве, в основании стволов деревьев. Небольшое количество видов обитает в морях. Некоторые из них приспособились жить в очень неблагоприятных условиях: в горячих источниках, замерзших озерах Антарктики.

Цианобактерии, обитающие в поверхностном слое пресных и морских водоемов, в своих клетках имеют специальные структуры — *газовые вакуоли* (лат. *вакуус* — пустой). Вакуоли регулируют плавучесть организмов и позволяют им оставаться в толще воды либо опускаться на дно. Когда цианобактерии теряют способность регулировать свою плавучесть, например при резких перепадах температуры или нарушениях кислородного обмена, они всплывают на поверхность. Если этому предшествовало массовое размножение, всплывшие цианобактерии окрашивают воду в определенный цвет. Это

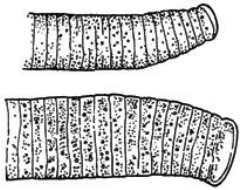


Рис. 5.3. Осциллятория

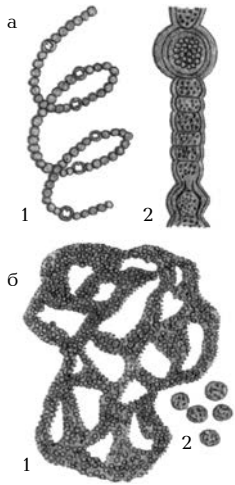


Рис. 5.4. Цианобактерии: а — анабена (1 — общий вид; 2 — фрагмент нити); б — микроцистис (1 — общий вид колонии; 2 — отдельные клетки)

явление называется «цветением» воды. При этом некоторые цианобактерии выделяют химические вещества, токсичные для других организмов и тем самым вызывающие их массовую гибель. Часто можно наблюдать, как теплым летом небольшие водоемы приобретают голубовато-зеленую окраску, — это значит, что в них быстро размножаются цианобактерии.

Многие представители нитчатых цианобактерий способны фиксировать атмосферный азот. В Азии рис довольно долго можно выращивать на одном и том же участке без применения удобрений за счет развития азотфиксирующих цианобактерий. Благодаря своей способности фиксировать азот из воздуха, цианобактерии могут заселять голые поверхности скал и бедные почвы.

Цианобактерии могут вступать в симбиоз с другими организмами — протистами, мхами, грибами.

Размножение одноклеточных форм осуществляется путем деления материнской клетки на две дочерние, а колониальных — распадом колонии на более мелкие части. Большинство нитчатых цианобактерий размножаются делением нити на отдельные фрагменты.

Существует около 2 тыс. видов цианобактерий. В водоемах Беларуси обычно распространены роды микроцистис, осциллятория, анабена, носток и др.

Осциллятория представляет собой длинные нити сине-зеленого цвета, состоящие из клеток цилиндрической формы (см. рис. 5.3). Распространена в стоячих водоемах с загрязненной водой. В зимнее время обитает на дне и подводных предметах, образуя на них почти черный скользкий налет. В летние теплые дни, интенсивно размножаясь, она превращается в большие слизистые скопления тины, которые поднимаются на поверхность воды, увлекаемые выделяющимися пузырьками газов. Нити часто образуют толстые кожистые лепешки на поверхности стоячих водоемов.

Микроцистис — микроскопические, как правило, бесформенные комочки слизи, в которую погружены беспорядочно расположенные мелкие шаровидные клетки (рис. 5.4). Очень часто клетки кажутся черными из-за обилия в них газовых вакуолей, благодаря которым колонии всплывают на поверхность. Микроцистис распространен в пресных водоемах, где, развиваясь в массе, вызывает «цветение» воды.

Анабена — нитчатая колониальная цианобактерия, имеющая форму спирали или кольца (см. рис. 5.4). Клетки ее все одинаковые — округлые и бочковидные.

Носток встречается в небольших прудах. Некоторые его виды обитают на поверхности влажной почвы. Носток образует слизистые или студенистые колонии разных размеров и форм: от микроскопически мелких до крупных, достигающих величины сливы; от сферических до эллипсоидных и др. Слизь содержит массу извитых нитей. Нити похожи на нити анабены (см. рис. 5.4). Некоторые виды ностока являются съедобными.

Цианобактерии играют важную роль в природе. Вместе с другими бактериями они обогащают почву органическими веществами и азотом, а также водоемы и воздух — кислородом. Водные формы бактерий служат кормом для мелких животных и рыб. Некоторые цианобактерии используются в качестве «поставщиков» ценных веществ, которые они продуцируют в процессе жизнедеятельности (белки, углеводы, жиры, витамины, пигменты и др.). Отдельные виды используются в пищу.

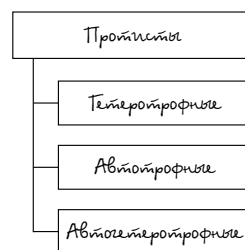
ГЛАВА 6

Протисты

В природе существует множество организмов, которые устроены сложнее, чем бактерии. Это **протисты** (гр. *протистос* — самый первый, просто устроенный). Принципиально такие организмы отличаются от бактерий тем, что в их клетках имеются оформленное ядро и разнообразные органоиды. Они, как и бактерии, бывают одноклеточными, колониальными и многоклеточными. При этом тело многоклеточных протистов состоит из сходных клеток. Оно не дифференцировано на ткани и органы, и все части тела выполняют одинаковые функции. Иными словами, протисты — это ядерные организмы с клеточным уровнем организации.

Протисты — неоднородная группа организмов. Они различаются по величине и форме тела. Одни из них имеют микроскопические размеры, другие достигают десятков метров в длину. Протисты живут в пресных и морских водоемах, во влажной почве и на коре деревьев. Многие протисты способны передвигаться с помощью ресничек или жгутиков.

По типу питания протисты разделяются на три группы: гетеротрофные, автотрофные и автогетеротрофные. Гетеротрофные протисты традиционно называют простейшими. Автотрофные и автогетеротрофные протисты способны к фотосинтезу, и их традиционно называют водорослями.



ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ ГЕТЕРОТРОФНЫЕ ПРОТИСТЫ — ПРОСТЕЙШИЕ

Простейшие — широко распространенная группа организмов, насчитывающая более 50 000 видов. В основном они обитают в морских и пресных водоемах; некоторые встречаются в почве.

Все простейшие характеризуются рядом общих признаков:

- 1) состоят из одной клетки;
- 2) по типу питания — гетеротрофы;
- 3) им свойственны бесполое размножение путем деления, а также разнообразные формы полового процесса. Ядро делится митозом (у инфузорий микронуклеус делится мейозом);
- 4) многие способны образовывать цисту — покоящуюся форму для переживания неблагоприятных условий;
- 5) реакция на внешнее раздражение осуществляется в форме движений — таксисов;
- 6) выделение продуктов жизнедеятельности осуществляется всей поверхностью тела, частично — с помощью сократительных вакуолей. Главной функцией сократительных вакуолей у пресноводных протистов является выведение из организма избытка воды, что необходимо для поддержания нормального осмотического давления в клетке.

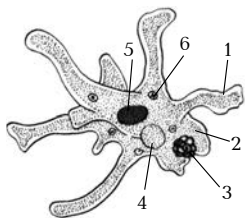


Рис. 6.1. Строение амебы: 1 — эктоплазма; 2 — эндоплазма; 3 — непереваренные частицы, выбрасываемые наружу; 4 — сократительная вакуоль; 5 — ядро; 6 — пищеварительная вакуоль

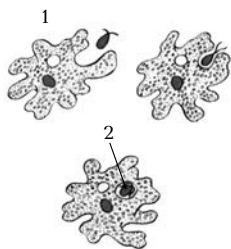


Рис. 6.2. Схема питания амебы: 1 — захват пищевой частицы; 2 — пищеварительная вакуоль

Познакомимся более подробно с некоторыми представителями простейших.

Среди гетеротрофных протистов в условиях Беларуси обычны амеба обыкновенная и инфузория-туфелька.

Амеба обыкновенная. Ее можно встретить в небольших мелких прудах и других стоячих водоемах с илистым дном. Амеба обыкновенная имеет вид маленького (0,2—0,5 мм) бесцветного комочка, постоянно меняющего свою форму (рис. 6.1).

Тело амебы, как и других простейших, представляет собой одну клетку, которая состоит из вязкой густой цитоплазмы и ядра. Клетка ограничена цитоплазматической мембраной. В цитоплазму входят различные органоиды — митохондрии, рибосомы, комплекс Гольджи, эндоплазматический ретикулум, лизосомы. Цитоплазма амебы подразделяется на два слоя: наружный — прозрачный, более вязкий (эктоплазма) и внутренний — зернистый, более жидкий (эндоплазма). При этом цитоплазма может переходить из одного состояния в другое, т. е. из вязкого в жидкое и наоборот. Благодаря такому свойству цитоплазма находится в постоянном движении. Если ток цитоплазмы устремляется в одном направлении к поверхности клетки, то в этом месте на теле амебы появляется выпячивание — *ложноножка*. Ложноножка увеличивается, изменяет свою конфигурацию, и амеба таким способом передвигается, т. е. медленно перетекает с одного места на другое.

Питание. В процессе движения амеба наталкивается на мелкие пищевые частицы (бактерии, другие протисты), охватывает их ложноножками и втягивает внутрь клетки в мембранной упаковке (рис. 6.2). С образовавшимся пузырьком с пищей сливаются лизосомы, содержащие пищеварительные ферменты, и формируется *пищеварительная вакуоль*, где пища переваривается. Продукты переваривания из вакуоли поступают в цитоплазму и используются на построение тела амебы и высвобождение энергии. Непереваренные остатки пищи выбрасываются наружу экзоцитозом в любом месте клетки.

Дыхание. Поглощение кислорода и **выделение** углекислого газа осуществляется у амебы всей поверхностью тела.

Выделение избытка воды и некоторых продуктов жизнедеятельности из организма амебы происходит через *сократительную вакуоль*. Она представляет собой мембранный пузырек, постепенно заполняющийся водой с растворенными в ней углекислым газом и другими вредными веществами. При сокращениях вакуоли, которые происходят каждые 1—5 мин, ее содержимое выводится наружу.

Обмен веществ. Из окружающей среды в организм амебы поступают вода, пища, кислород. В процессе жизнедеятельности амебы пища переваривается. При этом сложные органические вещества (белки, сахара, жиры) расщепляются на более простые вещества (углекислый газ, воду и др.). Выделяющаяся энергия используется клеткой для движения, пищеварения, размножения, а конечные продукты жизнедеятельности удаляются наружу. В результате происходит обмен веществ между амебой и средой обитания.

Размножение. Для амебы характерно бесполое размножение путем деления клетки надвое. Размножение начинается с изменения формы ядра. Оно вытягивается и поперечной бороздкой делится на два. Образовавшиеся дочерние ядра расходятся к разным полюсам клетки. Затем цитоплазматическая мембрана в двух противоположных местах начинает впячиваться внутрь клетки и образуется перетяжка, которая делит материнскую клетку на две дочерние. В каждую из них попадает по одному ядру. Сократительная вакуоль остается при одной из них, а в другой возникает новая. При обильном питании и температуре 20—25 °С амеба делится один раз в сутки.

Образование цисты. Неблагоприятные условия (подсыхание водоема, наступление холодов) амeba переносит в состоянии цисты. При этом прекращается движение и питание амeбы, резко снижается интенсивность обмена веществ, она становится округлой и формирует плотную защитную оболочку.

Образование цисты чаще всего происходит осенью с наступлением холодов, а весной амeba покидает оболочку цисты. Она выпускает ложноножки и начинает вести активный образ жизни. При высыхании водоемов цисты могут разноситься ветром, что обеспечивает расселение амeб.

Инфузория-туфелька. Рассмотрев под микроскопом воду, отобранную в мелких стоячих водоемах, где встречаются амeбы и многие другие протисты, можно обнаружить быстроплавающую инфузорию-туфельку длиной 0,1—0,3 мм. По форме тела она напоминает изящную дамскую туфельку, отсюда и ее название (рис. 6.3).

Инфузория имеет постоянную форму тела, так как под цитоплазматической мембраной у нее есть особое образование — *пелликула*.

Все тело инфузории покрыто продольными рядами мелких ресничек, количество которых превышает 10 тыс. Волнообразные колебания всех ресничек способствуют передвижению туфельки.

В цитоплазме инфузории содержится два ядра: большое (макронуклеус) и малое (микронуклеус). Роль этих ядер в жизнедеятельности инфузории различна. Большое ядро контролирует процессы питания, выделения и движения, а также бесполое размножение, малое ядро играет важную роль в половом процессе. В организме инфузории имеются две сократительные вакуоли, располагающиеся в передней и задней частях тела.

Питание. На одной из сторон тела туфельки есть небольшое воронкообразное околоротовое углубление, которое ведет в рот и далее в трубчатую глотку. С помощью более длинных околоротовых ресничек пищевые частицы (бактерии, протисты, органические частицы) загоняются в рот, а затем — в глотку; отсюда путем эндоцитоза они попадают в цитоплазму, где образуется пищеварительная вакуоль (рис. 6.4). Увлекаемая круговым током цитоплазмы, она движется по клетке в течение 1—1,5 ч. Пища под действием пищеварительных ферментов переваривается, и растворенные питательные вещества поступают в цитоплазму, где и используются. Непереваренные остатки пищи через специальное образование в клеточной мембране — порошицу — выбрасываются наружу. В благоприятных условиях инфузория-туфелька за сутки может потребить количество пищи, равное массе ее тела.

Дыхание и выделение. У инфузории эти процессы происходят так же, как и у амeбы. Кислород поглощается всей поверхностью тела и используется для окисления органических веществ. Избыток воды выводится через сократительные вакуоли, которые сокращаются попеременно каждые 20—25 с. Сократительные вакуоли у инфузории устроены более сложно, чем у амeбы (каждая сократительная вакуоль окружена 5—7 приводящими каналцами). Вода и растворенные в ней вредные продукты жизнедеятельности из цитоплазмы сначала поступают в приводящие каналцы, из них — в вакуоли, а из вакуолей при их сокращении выводятся наружу. За 40—50 мин сократительные вакуоли инфузორий выбрасывают объем жидкости, равный объему их тела.

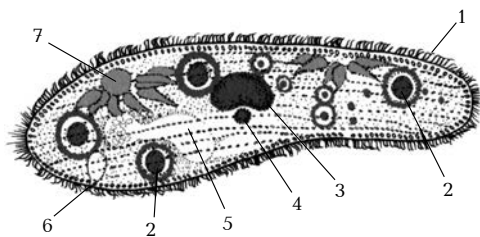


Рис. 6.3. Строение инфузории-туфельки: 1 — реснички; 2 — пищеварительные вакуоли; 3 — большое ядро; 4 — малое ядро; 5 — ротовая полость; 6 — порошица; 7 — сократительная вакуоль

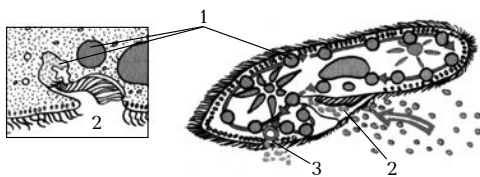


Рис. 6.4. Питание инфузории-туфельки: 1 — пищеварительная вакуоль; 2 — ротовое отверстие; 3 — порошица (стрелкой показан ток воды с пищевыми частицами)

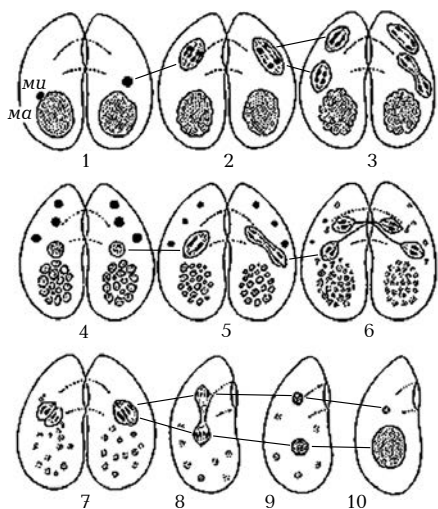


Рис. 6.5. Схема конъюгации у инфузорий: 1 — микронуклеус (ми) и макронуклеус (ма); 2 — первое деление микронуклеусов, видны 4 хромосомы в каждом; 3 — второе деление, при котором число хромосом редуцируется до 2; 4 — по 3 из образовавшихся микронуклеусов уплотняются и гибнут; 5 — третье деление микронуклеуса; 6 и 7 — обмен ядрами (♂ — подвижное ядро (мигрирующее), ♀ — остающееся в клетке ядро (стационарное); при их слиянии восстанавливается двойной набор хромосом); 8—10 — образование нового макронуклеуса за счет деления микронуклеуса

Размножение. Для инфузорий характерно бесполое размножение. Оно происходит 1—2 раза в сутки путем попережного деления их тела надвое.

У инфузорий осуществляется и половой процесс, называемый *конъюгацией*. В этом случае две особи временно соединяются цитоплазматическим мостиком, большие ядра в них разрушаются, а малые делятся мейозом (рис. 6.5). В результате в каждой клетке образуется по четыре гаплоидных ядра. Затем три из них разрушаются, а четвертое вновь делится митозом, в результате чего в каждой инфузории образуется два ядра: стационарное и мигрирующее. Далее между особями происходит обмен мигрирующими ядрами с последующим слиянием стационарного и мигрирующего ядер и восстановлением диплоидного комплекса хромосом. После этого особи расходятся. Вскоре в каждой из них ядро делится на большое и малое. Размножением этот процесс назвать нельзя, так как он не приводит к увеличению числа особей. Сущность его заключается в обмене двух инфузорий частями ядер. Это приводит к обмену наследственным материалом и повышает приспособленность инфузорий к условиям окружающей среды. Кроме того, при конъюгации обновляется и большое ядро, что активизирует процессы жизнедеятельности организма.

Некоторые гетеротрофные протисты являются паразитами. Они обитают внутри тела других организмов, вызывая тяжелые заболевания. Например, *дизентерийная амeba* вызывает тяжелое заболевание человека — амebную дизентерию — амebиоз. Человек заражается, заглатывая цисты с немытыми фруктами и овощами или с сырой водой из открытых водоемов. Паразит покидает цисту, внедряется в стенку кишечника, образуя в ней язвы.

Малярийный плазмодий является возбудителем малярии. Вместе со слюной самки малярийного комара паразит попадает в кровь, где разрушает кровяные тельца. Это вызывает у человека приступ лихорадки с повышением температуры до 40 °С и выше, головную боль, озноб. Малярия — болезнь, характерная для теплых стран, где есть условия для развития малярийного комара (влажный, теплый климат, наличие водоемов и др.). В последние десятилетия в Беларуси заболеваний малярией практически не наблюдается.

ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ И КОЛОНИАЛЬНЫЕ АВТО- И АВТОГЕТЕРОТРОФНЫЕ ПРОТИСТЫ — ВОДОРОСЛИ

Общая характеристика водорослей. Ранее мы уже отмечали, что протисты, способные к фотосинтезу, традиционно называются водорослями. Водоросли, как и простейшие, живут преимущественно в воде, заселяя многочисленные морские и пресные водоемы — как крупные, так и небольшие, временные, как глубокие, так и мелкие.

Водоросли населяют моря, реки и озера лишь на тех глубинах, на которые проникает солнечный свет. Немногие виды водорослей обитают на камнях, коре деревьев, почве.

В клетках водорослей содержатся хлоропласты. У разных видов водорослей они имеют различную форму и размеры. Необходимые для фотосинтеза минеральные соли и углекислый газ водоросли поглощают из воды осмотрофно всей поверхностью тела. Кислород, образующийся в ходе фотосинтеза, выделяется в окружающую среду.

Размножение водорослей. Размножаются водоросли бесполым и половым способами. Одноклеточные водоросли размножаются, как правило, митотическим делением. При этом клетка увеличивается, хромосомы в ядре удваиваются, клетка делится на две части, в каждой из которых есть все органеллы — митохондрии, хлоропласты, рибосомы и др. Каждая из дочерних клеток начинает самостоятельную жизнь.

Бесполое размножение водорослей осуществляется также посредством специальных клеток — спор, покрытых оболочкой. Споры многих видов имеют жгутики и способны самостоятельно передвигаться.

Споры образуются внутри клеток, называемых *спорангиями*, в результате митотического деления ядра (митоспоры). Спорангии внешне могут ничем не отличаться от остальных клеток, но могут быть другой формы и размеров. Из митоспор вырастают новые дочерние особи такого же строения, как материнский организм.

Для водорослей характерно и *половое размножение*, которое происходит чаще перед наступлением неблагоприятных условий (при низких температурах). В процессе полового размножения участвуют две особи, каждая из которых образует половые клетки — гаметы. Гаметы образуются в специальных клетках — *гаметангиях* (реже — в обычных клетках). В одном гаметангии созревает от одной до сотни гамет.

Гаметы встречаются в воде и сливаются. В результате образуется *зигота* — клетка, несущая гены обоих родителей. У одних видов водорослей обе сливающиеся гаметы одного размера и обе со жгутиками, у других — они имеют разную величину, у третьих — одна гамета со жгутиком (мужская), а другая неподвижная (женская) и значительно крупнее подвижной.

Зигота обычно покрывается плотной оболочкой и заполняется запасными веществами. После периода покоя или сразу она прорастает.

Смена поколений у водорослей. У некоторых видов водорослей и гаметы, и споры могут развиваться в клетках одной особи. При высокой температуре, например, водоросль производит споры, а при низкой — гаметы.

У других водорослей особи одного вида могут различаться между собой. Одни из них производят споры. Их называют **спорофитами**; они вырастают из диплоидной зиготы и имеют двойной набор хромосом в клетках своего тела. В спорангиях спорофитов споры образуются в результате мейоза и имеют гаплоидный набор хромосом. Из таких спор вырастают особи, которые производят гаметы. Их называют **гаметофитами**, и они имеют одинарный набор хромосом в клетках.

Гаметофит может быть внешне похожим на спорофит, а может отличаться по форме и размерам. Гаметы и спорофиты некоторых видов водорослей при благоприятных условиях способны производить митоспоры и размножаться бесполым способом, воспроизводя подобных себе. В этом случае смена поколений происходит нерегулярно, как, например, у улотрикса (см. ниже).

Одноклеточные водоросли. Водоросли характеризуются большим разнообразием строения. Они бывают одноклеточными, колониальными и многоклеточными.

В условиях Беларуси широко распространены такие автотрофные и автотетротрофные одноклеточные водоросли, как хлорелла, эвглена зеленая и др.

Хлорелла часто встречается в пресных водоемах, на сырой земле, коре деревьев. Хлорелла — одноклеточный организм шаровидной формы. Клетка

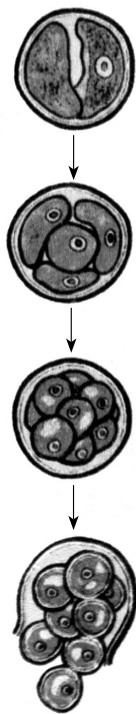


Рис. 6.6. Размножение хлореллы

ее покрыта плотной оболочкой. В цитоплазме содержатся ядро, чашевидный хлоропласт и другие органоиды. Являясь автотрофным организмом, хлорелла питается как зеленое растение, осуществляя фотосинтез.

Размножается хлорелла бесполым путем, образуя множество спор. Споры еще внутри материнской клетки покрываются собственной оболочкой и затем выходят наружу (рис. 6.6). В дальнейшем спора вырастает во взрослую особь.

Эвглена зеленая обитает в небольших пресных водоемах со стоячей водой — лужах, озерах, болотах, а также на влажной почве. В летнее время можно наблюдать, как в небольшом пруду или луже вода становится зеленой — «цветет». Причиной этого «цветения» может быть массовое развитие эвглены.

Тело эвглены зеленой длиной около 0,05 мм имеет вытянутую обтекаемую форму, хорошо приспособленную к движению в воде (рис. 6.7). Наружный слой цитоплазмы у эвглены уплотнен. Под цитоплазматической мембраной залегает специальное образование — пелликула, которая вместе с оболочкой придает клетке свойственную ей форму. На переднем конце тела эвглены находится углубление, из которого выходит **жгутик** — органоид движения. Постоянно вращая жгутиком, эвглена как бы ввинчивается в воду и за счет этого плывет вперед. В цитоплазме эвглены располагаются ядро, ярко-красный светочувствительный глазок и около 20 хлоропластов, содержащих хлорофилл.

Питание. Особенностью эвглены является способность менять характер питания в зависимости от условий среды обитания. На свету ей присущ **автотрофный** тип питания. Эвглены всегда находятся в освещенной части водоема, где более благоприятны условия для фотосинтеза. Находить освещенные места эвглене помогает **светочувствительный глазок**, расположенный на переднем конце тела.

Если эвглену поместить на длительное время в темноту, она теряет хлорофилл и становится бесцветной. В отсутствие хлорофилла фотосинтез прекращается, эвглена начинает усваивать готовые органические вещества, т. е. переходит от автотрофного к гетеротрофному питанию. Вот почему в водах, обогащенных органическими веществами, эвглена развивается в массовых количествах.

Часто, развиваясь в загрязненных водоемах, где имеется большое количество органического вещества, эвглена сочетает оба типа питания — автотрофный и гетеротрофный. Способность эвглены изменять характер питания обеспечивает возможность выживания в различных условиях существования.

Таким образом, эвглена зеленая является автотетеротрофным протистом.

Дыхание и выделение. Эти процессы у эвглены зеленой происходят так же, как и у других пресноводных протистов.

Сократительная вакуоль, в которой скапливается избыток воды с растворенными продуктами обмена веществ, при сокращении выводит свое содержимое наружу. Этот процесс происходит ритмично через каждые 20—30 с.

Размножение. Бесполое размножение эвглены начинается с деления ядра, хлоропластов, светочувствительного глазка и образования второго жгутика. Затем на переднем конце клетки между жгутиками появляется разделительная щель, которая постепенно увеличивается. В заключительной стадии продольного деления дочерние клетки, связанные между собой своими задними концами, расходятся. При благоприятных условиях процесс деления клетки продолжается 2—4 ч.

Половое размножение у эвглены не установлено.

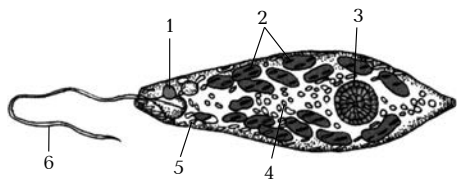


Рис. 6.7. Строение эвглены зеленой: 1 — глазок; 2 — хлоропласты; 3 — ядро; 4 — запасные питательные вещества; 5 — сократительная вакуоль; 6 — жгутик

Неблагоприятные условия среды обитания эвглены, как и амеба, переносят в состоянии цисты.

Колониальные водоросли. В небольших пресных водоемах (прудах, озерах) встречаются плавающие зеленые шарики диаметром 1—2 мм. Это **вольвокс** (рис. 6.8). Вольвокс — колониальный организм. Колония образована множеством отдельных клеток, расположенных по периферии шарика в один слой. Их число колеблется от 500 до 60 000. Клетки — это отдельные организмы, объединенные в колонию, отдельные особи в ней соединены между собой тонкими цитоплазматическими мостиками.

Каждая клетка колонии имеет по два жгутика. Согласованная работа жгутиков обеспечивает вращательное (вольчкообразное) движение колонии (отсюда и название этого организма: «вольвокс» означает «волчок»).

Основная масса колонии состоит из полужидкого студенистого вещества, которое образовалось в результате ослизнения клеточных стенок. Наружный слой студенистого вещества более плотный, что придает всей колонии шарообразную форму.

Для вольвокса характерна дифференцировка, или специализация, клеток в колонии. Одни из них — вегетативные, не способны к размножению, другие — клетки бесполого и полового размножения. В колонии вольвокса клеток размножения немного — от 4 до 10. В летнее время эти клетки мигрируют внутрь колонии, где многократно делятся, образуя несколько новых дочерних колоний. Когда размеры дочерних колоний увеличиваются настолько, что они не могут поместиться внутри материнской, последняя разрывается и погибает, а дочерние колонии выходят наружу.

При половом размножении в специализированных клетках колонии развиваются гаметы, в результате слияния которых образуется зигота. После зимнего периода покоя весной из зиготы развивается новая колония. Перед прорастанием зиготы происходит редукция числа хромосом.

Наличие таких организмов, как вольвокс со специализированными клетками, выполняющими разные функции, дает основание предполагать, что развитие многоклеточных организмов от одноклеточных могло идти через колониальные формы.

Многоклеточные водоросли. В пресных и морских водоемах широко распространены многоклеточные водоросли. Тело многоклеточных водорослей называется **слоевищем**. Отличительная черта слоевища — сходство строения его клеток и отсутствие тканей и органов. Все клетки слоевища, как и все части тела, выполняют одинаковые функции.

Многоклеточные водоросли бывают нитчатыми, пластинчатыми, кустистыми (рис. 6.9). Если клетки слоевища делятся в одном направлении — образуются нити, если в двух направлениях — образуются пластинки.

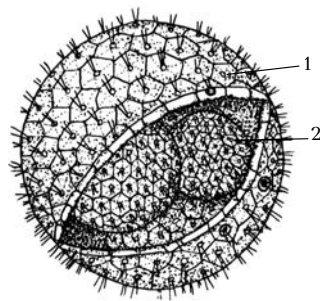


Рис. 6.8. Колонии вольвокса с дочерними колониями внутри материнской: 1 — материнская колония; 2 — дочерние колонии

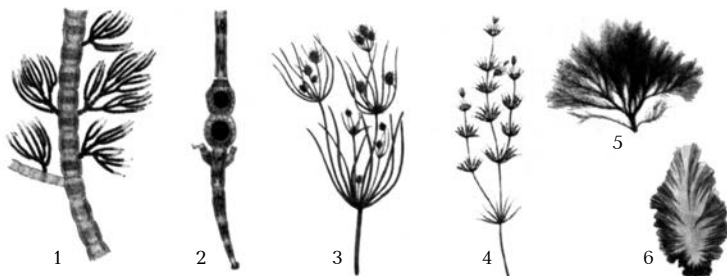


Рис. 6.9. Многоклеточные водоросли: 1 — грапарнальдия; 2 — эдогоный; 3 — толипелла; 4 — хара; 5 — акросифония; 6 — протомонострома

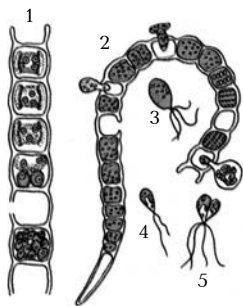


Рис. 6.10. Улотрикс: 1 — внешний вид; 2 — фрагмент нити с зооспорами и гаметами; 3 — зооспора; 4, 5 — гаметы и их слияние

Среди водорослей встречаются виды, организмы которых имеют как микроскопически малые размеры, так и очень крупные, достигающие в длину 100 и более метров (например, бурая водоросль макроцистис грушеносный достигает длины 160 м). Водоросли, как правило, ведут прикрепленный образ жизни.

Зеленые водоросли в своих клетках содержат хлоропласты с хлорофиллом, поэтому они обычно имеют зеленую окраску. Представителями зеленых водорослей являются улотрикс и спирогира.

Улотрикс живет преимущественно в пресных, реже в морских водоемах, прикрепляясь к подводным предметам и формируя ярко-зеленые кусты высотой до 10 см. Отдельные нити улотрикса состоят из одного ряда цилиндрических клеток с толстыми целлюлозными оболочками. Для улотрикса характерны хлоропласты в виде пластинки, образующей незамкнутый пояс.

Бесполое размножение осуществляется разрывом нити на короткие участки, каждый из которых развивается в новую нить, или четырехжгутиковыми зооспорами. Зооспоры образуются делением материнской клетки, утрачивают жгутики, прикрепляются к субстрату и прорастают в новую нить (рис. 6.10).

При половом размножении происходит слияние двухжгутиковых гамет с образованием зиготы. Она оседает на дно, утрачивает жгутики, прикрепляется к субстрату, округляется и прорастает без редукции числа хромосом одноклеточным спорофитом грушевидной формы (рис. 6.11).

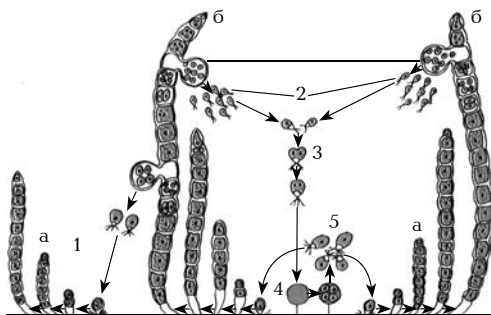


Рис. 6.11. Размножение улотрикса и чередование поколений: а — дочерние (новые) водоросли; б — водоросли, образующие гаметы (гаметофиты); 1 — прорастание зооспор; 2 — гаметы; 3 — слияние гамет; 4 — зигота (спорофит); 5 — образование спорофитом четырех четырехжгутиковых зооспор

После периода покоя одноклеточный спорофит делится мейозом и образует зооспоры с гаплоидным набором хромосом. Из этих зооспор формируются новые нитчатые организмы.

Таким образом, у улотрикса нитчатый многоклеточный гаметофит (поколение, формирующее гаметы) сменяется одноклеточным спорофитом — поколением, являющимся результатом полового процесса и формирующим споры.

Гаметофит улотрикса более долговечен и способен к бесполому размножению, воспроизводя вегетативно или с помощью зооспор новые особи гаметофита. Только после полового процесса образуется спорофит. Как уже отмечалось выше, у улотрикса наблюдается нерегулярная смена гетероморфных поколений с преобладанием гаметофита.

В толще воды стоячих и медленно текущих водоемов часто встречается нитчатая водоросль *спирогира*, состоящая из цилиндрических, расположенных в один ряд одноядерных клеток с хорошо заметной клеточной оболочкой (рис. 6.12). Снаружи нити покрыты толстым слоем слизи, поэтому они слизистые на ощупь. Если нити спирогиры отмыть от слизи, они приобретают изумрудно-зеленую окраску. Скопления нитей спирогиры и других водорослей называются тиной. Вместе с другими нитчатыми зелеными водорослями спирогира образует большие массы тины ярко-зеленого цвета.

Характерным признаком спирогиры является хлоропласт в виде спирально закрученной ленты. Хлоропласт размещается в цитоплазме вдоль клеточной оболочки. Цитоплазма расположена постенно. Большая часть каждой клетки занята вакуолью с клеточным соком. В центре клетки находится ядро, заключенное в цитоплазматический мешочек, соединенный тяжами с постенной цитоплазмой.

Бесполое размножение у спирогиры осуществляется путем разрыва нити на отдельные короткие участки. Спорообразование отсутствует. Для спиро-

гиры характерен половой процесс. При этом две нити располагаются рядом. В их клетках возникают выпячивания стенок, которые растут навстречу друг другу. В месте их соприкосновения стенки растворяются, и между клетками двух нитей образуется сквозной канал. Через этот канал содержимое клетки одной нити перемещается в клетку другой нити и сливается с ее содержимым. В результате образуется зигота. Такой тип полового процесса называется *конъюгацией*.

Образовавшиеся зиготы с толстой оболочкой после периода покоя прорастают. Этому предшествует двухкратное деление ядра: из четырех получившихся ядер три отмирают, а одно остается ядром единственного проростка, который выходит в месте разрыва оболочки зиготы и развивается во взрослую водоросль с одинарным набором хромосом в клетках, как у вольвокса.

Бурые водоросли. В морях обитают водоросли, имеющие желто-бурую окраску слоевища. Это так называемые бурые водоросли. Окраска их слоевища обусловлена высоким содержанием в клетках особых пигментов. Тело бурых водорослей имеет вид разветвленных нитей или пластин.

Типичным представителем бурых водорослей является *ламинария*, которая известна под названием «морская капуста» (рис. 6.13). Она имеет пластинчатое слоевище длиной до 10—20 м. Ламинария прикрепляется к субстрату выростами слоевища — ризоидами. Размножается зооспорами и половым способом.

Для ламинарии, как и для многих других водорослей, характерна закономерная смена поколений. Гаметофит ламинарии, в отличие от улотрикса, микроскопический и имеет вид слабоветвленной нити с органами полового размножения, а спорофит представляет собой ленту длиной до 15 м и более.

Ламинария используется в пищу, идет на корм скоту как пищевая добавка, содержащая многие химические элементы и большое количество йода. Используется ламинария также для получения йода и углеводов, применяемых в пищевой, медицинской и микробиологической промышленности.

Приспособления водорослей к условиям обитания. Для организмов, обитающих в океанах, морях, реках и других водоемах, вода является их средой обитания. Условия этой среды заметно отличаются от наземных условий. Для водоемов характерны постепенное ослабление освещенности по мере погружения на глубину, колебания температуры и солености, низкое содержание кислорода в воде — в 30—35 раз меньше, чем в равном объеме воздуха. Кроме того, для морских водорослей большую опасность представляет движение воды, особенно в прибрежной (приливно-отливной) зоне. Здесь водоросли подвергаются воздействию таких мощных факторов, как прибой и удары волн, отливы, приливы и др.

Выживание водорослей в таких жестких условиях водной среды возможно за счет ряда особенностей строения.

1. При недостатке влаги оболочки клеток значительно утолщаются, пропитываются неорганическими и органическими веществами, которые защищают организм от высыхания в период отлива.

2. Слоевище морских водорослей прочно прикреплено к грунту, поэтому в случае прибой и ударов волн они сравнительно редко отрываются от грунта.

3. Глубоководные водоросли содержат более крупные хлоропласты с высоким содержанием хлорофилла и других фотосинтезирующих пигментов.

4. У некоторых водорослей имеются специальные пузыри, заполненные воздухом. Они, как поплавки, удерживают слоевище у поверхности воды, где есть возможность улавливать максимальное количество света для фотосинтеза.

5. Выход спор и гамет у морских водорослей совпадает с приливом. Развитие зиготы происходит сразу же после оплодотворения, что предотвращает ее унос в океан.

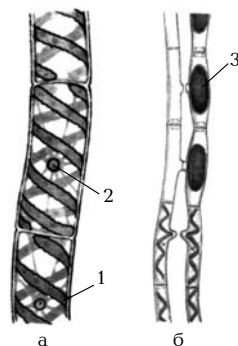


Рис. 6.12. Спирогира: а — часть нити; б — половой процесс (конъюгация): 1 — хлоропласт; 2 — ядро; 3 — зигота



Рис. 6.13. Ламинария сахарная (1) и пальчаторасчеченная (2)

6. Микроскопические водоросли, пассивно парящие в толще воды, имеют особые приспособления, уменьшающие плотность тела и увеличивающие его поверхность: газовые вакуоли, капли жира в клетках, длинные выросты оболочек.

Значение водорослей. Повсеместное распространение водорослей определяет их большое значение в биосфере и хозяйственной деятельности человека. Благодаря способности к фотосинтезу, они создают в водоемах огромное количество органических веществ, которые используются водными животными. Иными словами, водоросли являются кормильцами водных животных.

Водоросли — источник кислорода. Поглощая из воды углекислый газ, они насыщают ее кислородом, необходимым для всех живых организмов.

Многие водоросли (эвглена, хламидомонада и др.) являются активными санитарами загрязненных водоемов, в том числе хозяйственных и бытовых стоков городской канализации.

Большое значение в природе и хозяйственной деятельности человека имеет одноклеточная неподвижная водоросль — *хлорелла*. Быстрое размножение и высокая интенсивность фотосинтеза (примерно в 3—5 раз выше, чем у наземных растений) приводят к тому, что за сутки масса хлореллы увеличивается более чем в 10 раз. При этом в клетках накапливаются белки (до 50 % сухой массы клетки), сахара, жиры, витамины и др.

Способность хлореллы в процессе фотосинтеза интенсивно поглощать углекислый газ и выделять кислород делает возможным ее использование для восстановления воздуха в замкнутых пространствах космических кораблей и подводных лодок.

Водоросли чрезвычайно широко используются в различных отраслях хозяйственной деятельности человека, в том числе в пищевой, фармацевтической и парфюмерной промышленности. Их возделывают в больших количествах в установках под открытым небом с целью получения белков, витаминов.

Водоросли служат сырьем для получения ценных органических веществ: спиртов, лака, органических кислот, йода. Из водорослей получают также особые вещества, на основе которых изготавливают клей, обладающий клеящей силой, в 14 раз превосходящей таковую крахмала. Эти вещества используются в текстильной и бумажной промышленности для придания бумаге плотности и глянца.

Из красных водорослей получают *агар-агар*. Он применяется в качестве плотной среды, на которой с добавлением определенных питательных веществ выращивают грибы, бактерии. В больших количествах агар-агар используют в пищевой промышленности при изготовлении мармелада, пастилы, мороженого и других изделий.

Человек использует водоросли в пищу. Так, в водах Гавайских островов из 115 имеющихся там видов водорослей местное население употребляет в пищу около 60. Наибольшей известностью как лечебное и профилактическое средство пользуется «морская капуста» (некоторые виды бурой водоросли ламинарии и красной порфиры). Она применяется против желудочно-кишечных расстройств, при заболевании щитовидной железы, рахите и других болезнях.

В сельском хозяйстве водоросли применяют как органические удобрения под некоторые растения и в качестве кормовой добавки в рационы домашних животных.

В геологическом прошлом Земли водоросли играли важную роль в образовании горных и меловых пород, известняков, рифов, особых разновидностей угля, были родоначальниками растений, заселивших сушу.

ГЛАВА 7

Грибы и лишайники

Грибы — одна из самых больших и процветающих групп организмов, насчитывающая более 100 тыс. видов. Это обособленная группа многоклеточных гетеротрофных организмов, разнообразных по строению и образу жизни. Грибы имеют признаки сходства как с растениями, так и с животными. Они, как и растения, неподвижны в вегетативном состоянии, распространяются спорами, растут верхушечной частью в течение всей жизни, питательные вещества поглощают путем всасывания всей поверхностью тела, имеют прочные клеточные оболочки. Наряду с этим грибы обладают многими признаками животных. Они не имеют хлорофилла и не способны к фотосинтезу, поэтому питаются готовыми органическими веществами (гетеротрофы). В состав оболочки грибов входит хитин, а не целлюлоза, как у растений. В процессе обмена веществ у грибов, как и у животных, синтезируется и откладывается в запас органическое вещество гликоген (у растений — крахмал), образуется и выделяется мочевины. Организмы этой группы имеют собственно грибные признаки, которые подчеркивают их уникальность.

Основные признаки грибов:

- тело обычно состоит из трубчатых нитей — гиф;
- непрерывный верхушечный рост;
- неподвижны;
- гетеротрофное питание;
- жесткая клеточная оболочка содержит хитин;
- распространяются спорами;
- запасной углевод — гликоген

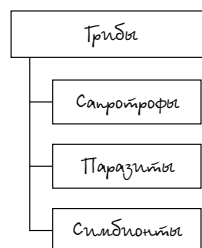
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРИБОВ

Распространение грибов. Грибы широко распространены на нашей планете. Их можно обнаружить всюду, где есть органические вещества. Они живут в почве и в воде, на остатках отмерших растений и животных, а также паразитируют на живых организмах. Грибы можно встретить в глубоких темных пещерах и в заоблачных высотах гор, в знойных безводных пустынях и в зонах вечной мерзлоты. Их споры содержатся в воздухе, куда они заносятся воздушными потоками.

Строение грибов. Тело грибов представляет собой мицелий (*грибницу*), который состоит из тонких, чаще всего бесцветных или желтоватых трубчатых разветвленных нитей — *гиф*. Иногда встречаются грибы с яркоокрашенным мицелием — розовым, красным, желтым. Гифы образованы многоядерными или одноядерными клетками, но они не имеют внешне выраженного клеточного строения, хотя у многих грибов гифы разделены поперечными перегородками на отдельные клетки. В перегородках есть небольшие отверстия — поры, через которые сообщается цитоплазма соседних клеток. Гифы могут плотно сплетаться, образуя ложную ткань — *плектенхиму*. Из нее состоят *плодовые тела* шляпочных грибов, в которых образуются споры.

Живут грибы недолго, но среди них есть и многолетние. У шляпочных грибов долго живет мицелий, а у некоторых паразитических грибов (например, у трутовиков) — и плодовое тело.

У некоторых грибов, например дрожжей, мицелий отсутствует, а их вегетативное тело представлено одиночными, способными к делению клетками.



Питание. Все грибы — *гетеротрофы*. Среди них есть *сапротрофы*, обитающие на мертвых органических остатках (плесневые, дрожжевые, многие шляпочные грибы), *паразиты*, питающиеся органическими веществами живых организмов (мучнисторосяные, ржавчинные, головневые и др.). И сапротрофы, и паразиты всасывают пищу после частичного ее переваривания вне грибной клетки с помощью ферментов, которые выделяются клетками гриба.

Кроме того, для многих грибов (*грибы-симбионты*) характерно взаимовыгодное сожительство с растениями, водорослями и цианобактериями. Примером такого сожительства могут быть лишайники (симбиоз грибов с водорослями или цианобактериями) и микориза (симбиоз грибов с корнями растений).

Размножение грибов. Оно осуществляется *бесполом* (частями мицелия, почкованием и образованием спор) и *половым* способами.

Попав в благоприятные условия, части мицелия разрастаются в новые особи. Почкование характерно для дрожжевых грибов.

Споры образуются внутри одноклеточных спорангиев или на концах некоторых нитей мицелия. Споры грибов представляют собой одну клетку и имеют микроскопические размеры. Они содержат мало запасных питательных веществ, поэтому большинство из них погибает. Однако большой процент гибели компенсируется образованием огромного количества спор. В одном спорангии может быть до 10 тыс. спор. На одном плодовом теле шампиньона образуется около 40 млн спор, а на плодовом теле трутовика, который нередко можно обнаружить на стволах деревьев, — до 25–30 млрд. При вскрытии спорангиев зрелые споры освобождаются и переносятся воздухом на огромные расстояния. Это обеспечивает широкое распространение многих видов грибов. В благоприятных условиях спора прорастает в новый мицелий.

МНОГООБРАЗИЕ ГРИБОВ

Плесневые грибы. В природе широко распространены плесневые грибы. Они развиваются на различных *субстратах* — в почве, на увлажненных продуктах, плодах и овощах, сырых стенах домов, животных и растительных остатках, образуя пушистые или паутинистые налеты — плесень — серого, зеленого, сизого цветов. Представителями плесневых грибов являются мукор и пеницилл.

Мукор, или головчатая плесень (рис. 7.1). Мукоровые грибы широко распространены в природе. Они постоянно обитают в почве, развиваются на органических остатках. Часто мукор встречается на кормах, продуктах питания, вызывая их порчу — плесневение. Плесень развивается в виде пушистого белого налета, который через некоторое время чернеет. На концах нитей, составляющих пушок, образуются черные округлые головки — спорангии (отсюда и название — головчатая плесень). В спорангиях образуются споры. При созревании спор оболочка спорангия разрывается и споры рассеиваются. Воздухом они могут переноситься на большие расстояния. Попав в благоприятные условия, споры прорастают в новый мицелий.

Все части мукора не имеют перегородок, и вся плесень, кроме спорангия, является одной разветвленной клеткой с множеством ядер.

Пеницилл, или сизая плесень. Обитает преимущественно в верхних слоях почвы. Его часто можно обнаружить на плодах, овощах, томатной пасте, настое чая, обоях, изделиях из кожи и т. д. Гифы мицелия пеницилла разделены перегородками на клетки. На концах гиф образуются веточки в виде

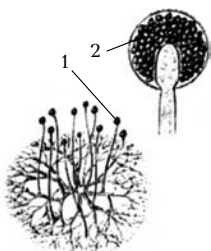


Рис. 7.1. Мукор: 1 — спорангий; 2 — споры

кисточки; отсюда и его другое название — *кистевик* (рис. 7.2). На концах разветвленных гиф образуются цепочки бесцветных или светлоокрашенных спор.

Пеницилл выделяет вещество, которое убивает болезнетворные бактерии. Это вещество называли пенициллином. В медицинской практике пенициллин начали применять во время Второй мировой войны. Он спасал больных от заражения крови, воспаления мозга, легких. Пенициллин — один из важнейших антибиотиков, который и сейчас помогает успешно бороться со многими бактериальными болезнями человека и животных.

Дрожжи. Эта своеобразная группа сапротрофных грибов включает более 500 видов. В природных условиях они встречаются там, где имеются сахара: на поверхности ягод винограда, малины, в нектаре цветков, сокоотечениях берез, кленов и других деревьев.

Дрожжи не образуют типичного мицелия. Их одиночные шаровидные или овальные клетки постоянно почкуются (делятся) (рис. 7.3). В случае очень быстрого почкования клетки не успевают разъединяться, образуя при этом короткие непрочные разветвленные цепочки. В отдельных свободных клетках они могут образовывать споры.

При недостатке питания и избытке кислорода в среде у дрожжей наблюдается половой процесс, заключающийся в слиянии двух клеток. Образовавшаяся зигота превращается в сумку с 4—8 спорами.

Дрожжевые клетки очень быстро растут, что определяется их необычайно высокой скоростью обмена веществ. При этом они выделяют в окружающую среду различные химические вещества — спирты, витамины, аминокислоты и др., что широко используется человеком.

Хозяйственное значение плесневых и дрожжевых грибов. Некоторые виды пеницилла и других плесневых грибов используются в микробиологической промышленности при производстве органических кислот, витаминов и других ценных веществ. Пеницилл культивируют для получения антибиотика пенициллина.

Дрожжи издавна используются в хлебопечении и виноделии. В процессе жизнедеятельности они способны разлагать сахар на спирт и углекислый газ. При хлебопечении выделяющийся углекислый газ поднимает тесто и делает его пористым. Из такого теста получают булки высокого качества. Для разных целей человек использует культурные расы пекарских дрожжей (винные, хлебные, пивные).

Плесневые грибы могут приносить человеку существенный вред. Развиваясь на пищевых продуктах, промышленных материалах и изделиях из кожи, дерева, бумаги, пластмассы, произведениях искусства, эти грибы вызывают их порчу. Некоторые представители мукоровых грибов и дрожжей являются возбудителями болезней человека и животных.

Шляпочные грибы. Строение шляпочных грибов имеет свои особенности. Шляпочные грибы растут на богатой перегноем лесной почве, на полях и лугах, встречаются на гниющей древесине. Мицелий шляпочных грибов клеточный — гифы разделены перегородками на отдельные, сообщающиеся между собой клетки. На мицелии развивается плодовое тело, которое в обиходе мы и называем грибом (рис. 7.4). Плодовое тело состоит из ножки и шляпки. Оно образовано плотно прилегающими друг к другу пучками гиф. В ножке все нити одинаковы, в шляпке же они образуют два слоя: плотный верхний, часто окрашенный («кожицу»), и нижний, более рыхлый. У одних грибов нижний слой шляпки состоит из многочисленных пластинок (сыроежка, груздь, шампиньон, бледная поганка). Это *пластинчатые* грибы. У белого гриба, подберезовика, подосиновика,

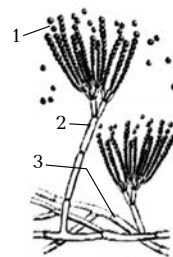


Рис. 7.2. Пеницилл: 1 — споры; 2 — спороносец; 3 — мицелий

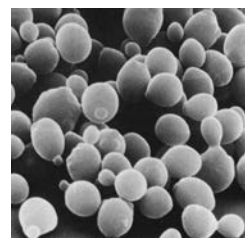


Рис. 7.3. Дрожжи

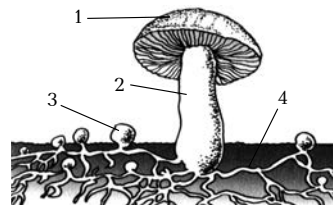


Рис. 7.4. Схема строения шляпочного гриба: 1 — шляпка; 2 — ножка; 3 — плодовое тело; 4 — мицелий

Съедобные грибы



Боровик



Грибы



Шампиньон обыкновенный



Опенок осенний



Лисичка настоящая

масленка нижний слой представлен многочисленными трубочками, поэтому их называют *трубчатыми* грибами.

На пластинках и в трубочках образуются мельчайшие *споры*. После созревания споры высыпаются и разносятся ветром, водой, насекомыми и другими животными на значительные расстояния. Так происходит расселение грибов. Попадая во влажную почву, богатую перегноем, споры прорастают, и из них развивается мицелий.

В отличие от долгоживущей грибницы плодовые тела большинства шляпочных грибов недолговечны. Они живут такой срок, который необходим для развития спор. Например, продолжительность жизни плодового тела боровика — 5—10 дней, подосиновика — 12—14, шампиньона — до 40 дней.

Питание. Шляпочные грибы разлагают древесину, лесную подстилку, перегной почвы. Образующиеся при этом растворимые органические вещества они поглощают всей поверхностью. Многие грибы (подберезовик, подосиновик, рыжик и др.) вступают в симбиоз с древесными растениями, что полезно и грибу, и растению. Грибница оплетает мелкие корни определенного вида деревьев, гифы проникают в корень и располагаются между его клетками. Такое образование называется *микоризой*, что дословно означает «грибокорень» (гр. *микес* — гриб и *ризос* — корень).

Грибница поглощает из почвы воду с растворенными в ней минеральными веществами и снабжает ими корни растений. Таким образом, грибница увеличивает всасывающую поверхность корня. Кроме того, грибы синтезируют витамины и ростовые вещества, стимулирующие развитие корневой системы растений.

Гриб же получает от растения готовые органические вещества, прежде всего сахара, а также корневые выделения, которые способствуют прорастанию спор гриба. Микориза обнаружена у большинства наземных растений. Без микоризы многие растения просто не могут существовать. Для многих грибов такой симбиоз обязателен, особенно для формирования плодового тела.

Съедобные грибы. Известно примерно 5 тыс. видов шляпочных грибов, из них более тысячи видов встречаются в Беларуси. Съедобных грибов в нашей республике насчитывается более 200 видов, однако не все они одинаково ценны для питания. Наибольшую ценность представляют боровик, груздь настоящий, рыжик, подосиновик, шампиньон обыкновенный, моховик, подберезовик, масленок, лисичка, опенок осенний. Плодовые тела грибов содержат белки, жиры и углеводы. В них также много минеральных веществ, витаминов, летучих масел, которые придают грибам своеобразный запах и вкус. Грибы являются ценным пищевым продуктом, хотя их белки усваиваются организмом человека значительно хуже, чем белки растительных продуктов.

При сборе грибов плодовые тела следует срезать ножом, чтобы не повредить грибницу. Кроме того, надо уметь отличать ядовитые грибы от съедобных.

Ядовитые грибы. Бледная поганка, многие виды мухоморов, некоторые виды грибов-зонтиков, говорушек, рядовок и др., попав в пищу, могут вызвать серьезное, а иногда и смертельное отравление. К гибели человека может привести попадание в организм всего четвертой части шляпки бледной поганки.

Чтобы не спутать ядовитые грибы со съедобными, следует их хорошо знать и уметь отличать. Например, бледная поганка похожа на шампиньон, но отличается тем, что шляпка у нее зеленоватая, а мякоть и пластинки белые. У шампиньона пластинки и мякоть розоватые. Собирая грибы, похожие на шампиньоны, необходимо внимательно осмотреть нижнюю сторону шляпок.

Мухомор красный легко отличить от других грибов по его ярко-красной шляпке с белыми пятнами.

Настоящие лисички имеют ярко-желтую окраску, мякоть гриба светлая. Их шляпка имеет форму воронки с приподнятыми волнистыми краями. Ложная лисичка красновато-оранжевая. Мякоть ее оранжево-желтая.

Ложные опять внешне напоминают настоящие, однако при их внимательном рассматривании можно легко найти отличия. У настоящего опенка нижняя сторона шляпки светлая и на ножке имеется пленчатое кольцо, а у ложного пленчатого кольца нет. Кроме того, у ложных опять яркоокрашенная шляпка, пластинки под шляпкой фиолетово-бурые, неприятный запах.

Правила предупреждения отравления грибами.

1. Собирать только те грибы, которые известны вам как съедобные.
2. При сборе тщательно осматривать каждый гриб, прежде чем положить его в корзину. Если найденный гриб похож на ядовитый или вы сомневаетесь в его съедобности, его лучше не брать.

3. Самые характерные признаки ядовитых грибов — наличие пленчатого кольца на ножке (кроме опенка), бородавки и лоскутки на шляпке; у опять яркоокрашенная шляпка, фиолетово-бурые пластинки, неприятный запах.

Следует помнить, что белки грибов быстро разлагаются с образованием ядов, поэтому отравление может быть вызвано и съедобными, но старыми, перезревшими грибами. Кроме того, нельзя собирать грибы в зонах с повышенной радиацией и вблизи автомагистралей.

Помощь при отравлениях. Во всех случаях отравления надо срочно обращаться к врачу. До прихода врача необходимо очистить больному желудок промыванием слабым раствором марганцовокислого калия, с помощью клизмы освободить кишечник и обеспечить строгий постельный режим. Пострадавшего нужно как можно чаще пить прохладной кипяченой подсолненной водой, крепким чаем или молоком.

Грибы-паразиты. Среди грибов немало паразитов, поселяющихся на живых организмах и питающихся их органическими веществами. Грибы-паразиты поражают в основном растения, причиняя огромный ущерб сельскому хозяйству. У большинства из них мицелий развивается внутри тканей вегетативных органов или плодов.

Ржавчинные грибы повреждают листья и стебли растений, нарушают процессы фотосинтеза, дыхания, испарения воды. Это приводит к потере урожая, а во многих случаях заканчивается гибелью растений. Болезнь, вызываемая ржавчинными грибами, называется *ржавчиной*. Проявляется она на растениях в виде небольших продолговатых бурых подушечек. В этих подушечках формируются споры, которые являются основным источником заражения растений.

Головневые грибы поражают все растение, отчего оно выглядит как обугленное. Например, *пыльная головня хлебных злаков* определяется по образованию и скоплению массы черных головневых спор на пораженных частях растений, из-за чего колоски злаков похожи на головешку (отсюда название болезни — *головня*).

Спорыньевые грибы также поражают многие виды растений. Наиболее распространенный вид — спорынья пурпурная. Паразитирует на культурных и дикорастущих злаках, преимущественно на ржи. Спорынья поселяется в завязи цветка растения-хозяина. Гриб поражает развивающиеся зерновки, превращая их в ядовитые черные рожки, которые состоят из плотно сплетенных гиф.

Мучнисторосяные грибы поражают сотни видов культурных и дикорастущих растений (пшеницы, ржи, люпина, крыжовника, виноградной лозы, семян дуба и многих других растений). На поверхности пораженных органов

Ядовитые грибы



Мухомор красный



Гриб-зонтик светлый большой



Бледная поганка



Рядовик серно-желтый



Лисичка ложная



Плодовое тело
гриба-трутовика

развивается беловатый мицелий, образуя характерный мучнистый налет, поэтому название болезни — *мучнистая роса*. Затем мицелий темнеет.

Трутовые грибы приносят большой вред лесному хозяйству. Споры трутовиков попадают на раны в коре деревьев, где прорастают, образуя мицелий. Он проникает в древесину и питается органическими веществами ее клеток. Пораженные деревья становятся хрупкими, трухлявыми.

Через несколько лет после заражения дерева трутовиком на стволе появляются его плодовые тела. Они имеют копытообразную форму и обычно очень твердые. Многолетние плодовые тела трутовиков иногда достигают гигантских размеров — 0,5—1 м в диаметре, но есть и крошечные (диаметр 0,5—1 см). На нижней стороне плодового тела в мелких трубочках созревают миллионы спор. Споры высыпаются и, попав на поврежденные стволы деревьев, заражают их.

Чтобы предупредить заражение трутовыми грибами, нужно охранять деревья от повреждений коры и поломки ветвей, а плодовые тела сбивать и сжигать.

Известно много других заболеваний культурных и дикорастущих растений, вызываемых грибами-паразитами. В Беларуси часто встречаются такие грибные болезни, как рак яблони, серая гниль плодов, парша плодовых деревьев и картофеля и многие другие.

Основными методами защиты культурных растений от грибных болезней являются: создание и выращивание устойчивых к болезням сортов, высокая культура агротехники, обработка растений специальными средствами для профилактики и подавления возбудителей болезней.

Около тысячи видов грибов паразитируют также на животных и человеке, вызывая различные микозы — заболевания кожи, ногтей, волос (бластомикозы, молочница, парша, стригущий лишай и др.).

Значение грибов. Наряду с бактериями и многими протистами грибы играют важную роль в общем круговороте веществ в природе. Они разлагают органические вещества отмерших растений и животных до минеральных веществ и делают их доступными для автотрофных организмов, прежде всего для зеленых растений, т. е. они являются разрушителями органического вещества. Грибы, таким образом, выполняют большую санитарную работу по очищению среды от отмерших организмов и участвуют в образовании плодородного слоя почвы — гумуса.

Вступая в симбиоз с корнями древесных растений, грибы в значительной степени улучшают снабжение их водой и минеральными веществами, что улучшает существование этих растений.

Грибы широко используются человеком. Дрожжи применяют в хлебопечкарной, пивоваренной, винодельной и спиртовой промышленности. Используются грибы для получения белков, витаминов, антибиотиков, ростовых веществ, а также препаратов для борьбы с вредителями сельскохозяйственных растений. Многие виды шляпочных грибов употребляют в пищу как ценный продукт.

Велика и отрицательная роль грибов. Паразитируя на растениях, а также развиваясь на пищевых продуктах и промышленных материалах, грибы вызывают их порчу и наносят большой ущерб народному хозяйству. Многие сапротрофные грибы разрушают деревянные постройки, книги, используя для питания древесину, клей, краски, нитки, бумагу. Кроме того, многие виды грибов являются возбудителями заболеваний человека и животных.

ЛИШАЙНИКИ

Общая характеристика. Лишайники — своеобразная группа многолетних живых существ, тело которых образовано двумя организмами: грибом (гетеротрофный компонент) и водорослью или цианобактерией (автотрофный компонент), находящимися в симбиозе (*сожительстве*). Вегетативное тело лишайника называется слоевищем или талломом. Слоевище обычно имеет серую, светло- или темно-бурую окраску.

Взаимовыгодные симбиотические отношения между компонентами, составляющими лишайник, выражаются в том, что гриб обеспечивает водоросль (или цианобактерию) водой и растворенными минеральными веществами, защищает ее от высыхания и механических повреждений. Водоросль снабжает гриб созданными ею в процессе фотосинтеза органическими веществами. Интересно отметить, что гриб, который является составной частью организма лишайника, самостоятельно существовать не может. Водоросль или цианобактерия могут жить без гриба.

Комплексная природа лишайников позволяет им получать питание преимущественно из воздуха, атмосферных осадков, влаги росы и тумана, частиц пыли, оседаемой на слоевище. Благодаря этому лишайники обладают уникальной способностью существовать в таких условиях, которые совершенно непригодны для жизни других организмов, — на голых скалах и камнях, крышах домов, коре деревьев и даже на стекле. Они растут всюду: в суровой Антарктиде, на горных кручах, в полярной тундре и жарких пустынях Африки и Азии. В основных лесах Беларуси они часто серым ковром устилают почву, растут на стволах деревьев, свисают с ветвей.

Строение и размножение. По форме таллома лишайники подразделяют на накипные (или корковые), листоватые и кустистые.

Наиболее распространены *накипные* лишайники (около 80 % видов). Они имеют слоевище в виде тонкой корочки, прочно срастающейся с субстратом и неотделимой от него.

Более высокоорганизованные *листоватые* лишайники имеют вид чешуек или пластинок, края которых приподняты над субстратом. Прикрепляются такие лишайники к субстрату пучками гиф мицелия гриба. Они растут на камнях и коре деревьев. Так, в Беларуси на стволах и ветвях деревьев, особенно часто на осине, широко распространен лишайник золотисто-желтого цвета — ксантория, а также пармелия, имеющая серое слоевище.

Кустистые лишайники представляют собой кустики, образованные тонкими ветвящимися лентами или стволками, которые прикреплены основаниями к почве или коре деревьев.

По внутреннему строению слоевище может быть однородным (гомеомерным) или слоистым (гетеромерным). Более примитивным считается гомеомерное слоевище. Оно образовано беспорядочными переплетениями гифов гриба, среди которых более или менее равномерно располагаются отдельные клетки или нити автотрофного компонента. Такое строение наиболее характерно для лишайников, автотрофным компонентом которых являются цианобактерии — носток, глеокапса и др.

В гетеротрофном слоевище (рис. 7.5) наблюдается наличие дифференцированных слоев, каждый из которых выполняет определенную функцию: верхняя и нижняя кора — защитную, слой автотрофного компонента выполняет функцию фотосинтеза и накопления органических веществ, сердцевина — прикрепления слоевища к субстрату и обеспечения аэрации. На нижнем коровом слое слоевища обычно образуются органы прикрепления. Иногда

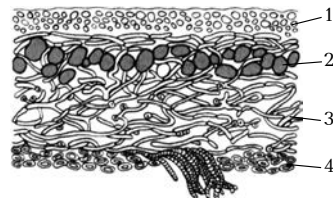
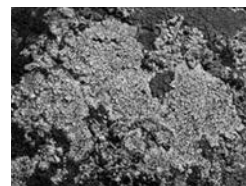
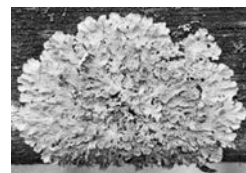


Рис. 7.5. Поперечный разрез таллома листоватого лишайника: 1 — верхняя кора; 2 — слой водорослей или цианобактерий; 3 — сердцевина; 4 — нижняя кора



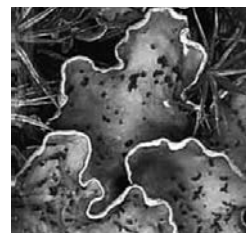
Накипной лишайник
ризокартон



Ксантория



Пармелия



Пельматерия (листоватый лишайник)



Нифрома (лиственный
лишайник)



Цетрария (коричневый
лишайник)



Эверния (коричневый
лишайник)



Кладолия (коричневый
лишайник)

они имеют вид очень тонких нитей, состоящих из одного ряда клеток. Эти нити называются *ризоидами*. Каждая такая нить берет начало от одной клетки нижнего корового слоя. Нередко несколько ризоидов скрепляются в толстые ризодиальные тяжи. У листоватых лишайников рода пармелия образуются более толстые прикрепительные тяжи, называемые *ризинами*. В образовании ризин принимают участие не только гифы корового слоя, но и сердцевина. Поселяясь на деревьях во влажных лесах, такие лишайники образуют длинные космы — «бороды». Довольно распространенным кустистым лишайником является олений мох, или ягель, который в тундре занимает огромные пространства и служит зимой основным кормом для северных оленей.

Размножаются лишайники главным образом бесполым путем — кусочками слоевища. Хрупкие в сухую погоду лишайники легко ломаются и разносятся водой, ветром, животными или людьми. В благоприятных условиях такие кусочки прикрепляются к субстрату и развиваются в новые слоевища лишайников.

Значение лишайников. Известно около 26 тыс. видов лишайников, широко распространенных в природе. Нет их только в местах, где воздух загрязнен вредными газами. Лишайники весьма чувствительны к загрязнению воздуха. Большинство из них погибает в крупных городах, а также вблизи заводов и фабрик. Эти исключительно жизнестойкие организмы служат лучшими индикаторами чистоты воздуха.

Лишайники обычно первыми заселяют безжизненные места. Попадая на голые скалы, они выделяют особые, так называемые лишайниковые кислоты, растворяющие минералы. В трещинах и углублениях разрыхленной породы задерживаются частицы пыли и отмершие части лишайников, где они разлагаются. В результате образуется перегной, на котором могут поселиться растения. Таким образом, лишайники вместе с бактериями и протистами создают на безжизненных скалах условия для жизни других организмов, в том числе для высших растений и животных. Это означает, что лишайники являются пионерами образования биоценозов.

В хозяйственной деятельности человека важную роль играют прежде всего кормовые лишайники (например, ягель), которые поедаются не только северными оленями, но и маралами, кабаргой, косулями, лосями. Некоторые виды лишайников (лишайниковая манна, гирофора) используются в пищу. Из лишайников получают краски, химический индикатор лакмус, спирт, лишайниковые кислоты, лекарственные препараты для лечения туберкулеза, фурункулеза, кишечных заболеваний, бешенства и др. Они используются в парфюмерной промышленности для получения ароматических веществ.

ГЛАВА 8

Растения и их разнообразие

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТЕНИЙ

Распространение и образ жизни растений

Растительный мир — составная и важнейшая часть биосферы. Зеленые растения исключительно многоклеточные автотрофные фотосинтезирующие организмы. Их тело разделено на органы — стебли, листья и корни, которые образованы различными тканями.

В клетках листьев и молодых стеблей содержится пигмент хлорофилл, способный поглощать свет. Используя световую энергию, растения синтезируют и накапливают в своих органах органические вещества и обогащают среду обитания (атмосферу, воду и почву) кислородом. Они обеспечивают пищей и кислородом все живые организмы на Земле. Растения поглощают из воздуха углекислый газ и тем самым предотвращают накопление его в атмосфере.

Заселяя поверхность суши, покрывая значительные участки безводных пустынь и топких болот, проникая в глубины пресных и соленых водоемов, поднимаясь высоко в горы, растения формируют растительные сообщества, в которых обитают различные животные, грибы, протисты и бактерии.

Наземные животные могут сравнительно легко отыскивать воду и пищу. Растения неподвижны, и им, казалось бы, труднее, чем животным, удовлетворять свои потребности в пище и воде. Однако следует помнить, что потребности растений относительно просты: им нужны свет, вода и углекислый газ для фотосинтеза, кислород для дыхания и некоторое количество минеральных веществ.

На суше достаточно света, кислорода и углекислого газа, а воду и минеральные вещества из почвы растения поглощают с помощью хорошо развитой корневой системы.

Изучением растений занимается наука *ботаника*. В области ее интересов — строение растений, их распространение, взаимосвязь с окружающей средой и друг с другом.

Растительный мир богат и разнообразен. В настоящее время насчитывается более 300 тыс. видов растений, которые распространены на всех континентах земного шара. Среди них есть и гиганты высотой 120—150 м (секвойи, эвкалипты, баобабы), и совсем крохотные, например ряска (ее величина 0,3—0,4 см).

Ученые считают, что предками растений были какие-то древние водоросли. В отличие от водорослей, которые в основном живут в воде, растения

Растения — многоклеточные автотрофные организмы, ведущие прикрепленный образ жизни; тело их разделено на органы, состоящие из тканей; клетки имеют толстые целлюлозные оболочки, вакуоли с клеточным соком; запасной углевод — крахмал

господствуют на суше. Мы видим их в лесах, на лугах и болотах, по берегам рек и озер. Их выращивают в садах, парках и скверах, на полях и огородах.

Растения очень разнообразны по внешнему виду и внутреннему строению. Освоение растениями суши сопровождалось формированием приспособительных признаков, которые обеспечили выживание растений в иных, новых для них наземных условиях.



Понятие о тканях и органах растений. Если слоевище водорослей по своему строению представляет собой в основном множество однородных клеток, то тело растений состоит из групп разнообразных клеток. Разнообразные функции в сложном многоклеточном организме растений выполняют не отдельные клетки, а их группы. При этом для выполнения каждой функции — защиты растений от неблагоприятных условий, поглощения и переноса растворов, фотосинтеза, поддержания формы, роста и размножения, выделения вредных веществ и запасаания нужных — клетки должны иметь особое строение. Группы сходных по строению клеток, которые выполняют определенные функции, называются **тканями**. В результате освоения суши и в связи с выполняемыми функциями у наземных растений сформировались различные ткани: покровные, проводящие, механические и др. Таким образом, разнообразие тканей обусловлено их различными функциями и особенностями строения клеток, входящих в них.

Образовательные ткани (меристемы). Они состоят из клеток, которые способны делиться в течение всей жизни растения. Клетки образовательной ткани тонкостенные, с мелкими вакуолями, с крупным ядром в центре. Они плотно прилегают друг к другу и могут делиться в разных направлениях. Образовательные ткани остаются эмбриональными тканями. Благодаря постоянному делению клеток они принимают участие в образовании всех постоянных тканей и обеспечивают рост растения в длину и толщину в течение всей его жизни.

Образовательные ткани делятся на верхушечную и боковые. Верхушечная меристема находится на кончике побегов и корней, а боковые — располагаются внутри побегов и корней отдельными продольными тяжами или сплошным слоем в виде кольца (прокамбий, камбий, перицикл).

Покровные ткани. Водоросли, живя в воде, надежно защищены от влияния условий окружающей среды. Однако, если водоросль изъять из воды, ее тело быстро высыхает, что свидетельствует об отсутствии специальных покровов, защищающих тело от потери влаги. В наземных условиях могли выжить только те растения, у которых появились особо устроенные покровные ткани, поскольку наземные растения растут и развиваются при периодическом, а не постоянном увлажнении, часто в условиях продолжительного сухого периода.

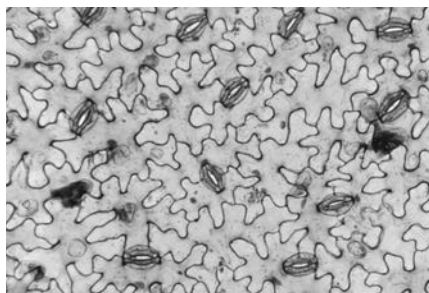


Рис. 8.1. Эпидермис герани

Покровные ткани расположены на границе с внешней средой, т. е. на поверхности корней, стеблей, листьев, плодов. Они выполняют много функций — защищают организм от потери воды, создают условия для газообмена внутренних тканей с внешней окружающей средой, препятствуют проникновению болезнетворных организмов, способствуют заживлению ран и порезов. Они обеспечивают прочность органам растения, защищают их от воздействия высоких и низких температур.

Клетки покровных тканей плотно сомкнуты между собой, с очень тонкой, прозрачной клеточной оболочкой, легко пропускают солнечный свет в глубь растения.

Различают три вида покровной ткани: эпидермис (кожицу), перидерму и корку.

Эпидермисом покрыты листья и молодые стебли. Клетки эпидермиса плотно прилегают друг к другу, образуя один слой (рис. 8.1). Они бесцветны, так как не содержат хлорофилл. Наружная сторона клеток эпидермиса покрыта слоем кутикулы с восковым налетом или волосками, что является дополнительным защитным приспособлением. Одни волоски защищают растение от перегрева, другие, часто ядовитые (вспомним крапиву), — от поедания животными. Особое значение для поглощения воды и минеральных веществ из почвы имеют *корневые волоски* — выросты клеток эпидермиса всасывающей зоны корня.

Многоклеточные железистые волоски и другие видоизменения эпидермиса секретируют несколько типов веществ, среди которых наиболее распространены эфирные масла, балзамы, смолы и нектар.

В некоторых местах между клетками кожицы имеются устьица, которые регулируют водный и газовый режим растения.

К осени стебли кустарников и веточки деревьев начинают буреть, что свидетельствует о замене эпидермиса более прочной покровной тканью — *перидермой*. Наружная часть перидермы называется пробкой. Ее образование связано с деятельностью боковой образовательной ткани — пробкового камбия, формируемого под кожицей. Клетки пробки располагаются друг над другом в несколько рядов (рис. 8.2).

Оболочка клеток пробки постепенно пропитывается суберином, содержимое клеток отмирает, и они заполняются воздухом. Отмирает и слущивается также и кожица, которую слой пробки отделяет от живых тканей.

Живые ткани, лежащие под пробкой, нуждаются в газообмене и удалении избытка влаги. Эти функции выполняются *чечевичками* — рыхло расположенными клетками паренхимы.

Старые ветки и стволы деревьев покрыты еще более сложным комплексом мертвых тканей — *коркой*. Она возникает за счет все более глубокой закладки пробкового камбия среди живой паренхимной ткани. Участки паренхимы, оказавшиеся снаружи от слоя пробки, быстро отмирают, поэтому у старых деревьев корка имеет большую толщину.

Механические ткани. Эти ткани растений составляют внутренний каркас их тела и поддерживают его в определенном положении, обеспечивая наилучшее улавливание солнечного света. Водоросли не нуждаются в опоре, поскольку вода поддерживает их тело в расправленном состоянии, что способствует улавливанию лучей солнечного света и таким образом обеспечивает фотосинтез.

Механическая ткань создана клетками с очень прочными оболочками. Благодаря ей растения могут противостоять большим механическим нагрузкам (например, переносить раскачивание стебля порывами ветра, удерживать тонкими стеблями и ветвями огромные кроны деревьев), а также поднимать побеги с листьями после полегания и укореняться в почве.

Различают два вида механической ткани: колленхиму и склеренхиму.

Колленхима представлена живыми клетками с неравномерно утолщенными (за счет отложения целлюлозы и пектиновых веществ) неодревесневшими оболочками (рис. 8.3).

В стебле по мере старения колленхимы развивается мертвая ткань — *склеренхима*. Ее клетки имеют равномерно

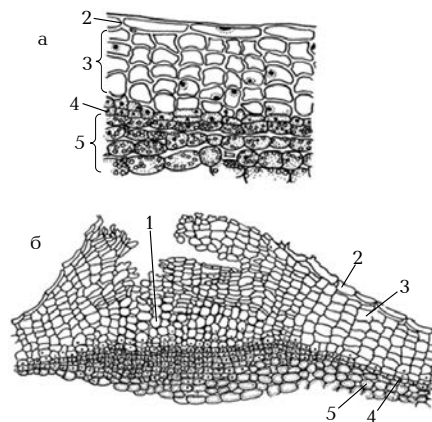


Рис. 8.2. Перидерма стебля бузины (а — поперечный разрез побега; б — чечевичка): 1 — рыхло расположенные клетки; 2 — остатки эпидермы; 3 — пробка (фелема); 4 — пробковый камбий (феллоген); 5 — живая паренхимная ткань, откладываемая пробковым камбием внутрь (феллодерма)

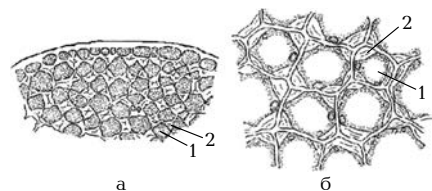


Рис. 8.3. Колленхима в черешке листа свеклы обыкновенной (а — при малом увеличении; б — при большом увеличении): 1 — полость клетки; 2 — утолщенная клеточная оболочка

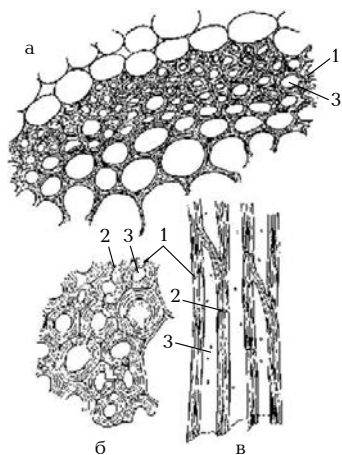


Рис. 8.4. Древесинные волокна стебля герани (а, б — в поперечном разрезе; в — в продольном разрезе): 1 — оболочка клетки; 2 — простая пора; 3 — полость клетки

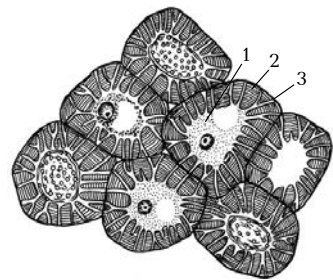


Рис. 8.5. Склереиды косточки созревающих плодов алычи с живым содержимым: 1 — цитоплазма; 2 — утолщенная клеточная оболочка; 3 — поровые каналы

утолщенные оболочки (рис. 8.4), которые со временем одревесневают (оболочки пропитываются специальным веществом — лигнином), в результате чего содержимое клеток отмирает. Длинные клетки механической ткани называются *волокнами* (например, у льна длина волокон достигает 40 мм). Они крепче стали. Сталь при многократных изгибах ломается, а стебли растений способны тысячекратно в течение жизни раскачиваться, сгибаться, каждый раз выпрямляться и не ломаться. Чем сильнее развита механическая ткань в стебле, тем более мощную надземную массу может формировать растение. Механическая ткань молодых побегов способна к растяжению, что важно для активно растущего органа.

В стеблях, листьях, плодах некоторых растений встречаются *склереиды* — клетки склеренхимы изодиаметрической формы, имеющие толстые одревесневшие оболочки (рис. 8.5). Склереиды находятся, например, в плодах груши. Из них образованы скорлупа грецкого и лесного орехов, косточка вишни, сливы и других растений.

Механическая ткань обеспечивает большую твердость некоторым органам растения. Например, скорлупа грецкого ореха столь прочная, что ее в размолотом виде используют как шлифовальный порошок для очистки металлических и каменных поверхностей.

Проводящие ткани. Первые наземные растения имели вид небольших слабоветвленных веточек. Клетки верхних веточек этих растений осуществляли фотосинтез, а клетки нижней части всасывали из почвы воду. Для нормального существования растений необходимо было постоянное продвижение воды к верхней части растения (подумайте почему) и органических веществ — в обратном направлении. Эта необходимость обусловила развитие *проводящих* тканей, которые и осуществляют транспорт веществ в теле растений.

В ходе эволюции растительного мира возникли два типа проводящих тканей — ксилема (древесина) и флоэма (луб). По ксилеме вода с растворенными минеральными веществами поднимается от корней к листьям (*восходящий ток*). По флоэме образовавшиеся в листьях органические вещества оттекают к корням и другим органам растения (*нисходящий ток*).

Ксилема (у деревьев и кустарников она называется *древесиной*) — сложная ткань. Она состоит из собственно проводящих элементов (трахеид и сосудов), механических волокон и паренхимных клеток (рис. 8.6).

Трахеиды — узкие, мертвые клетки с утолщенными одревесневшими оболочками, способствующими усилению их механической прочности и препятствующими их деформации. Проникновение растворов из одной трахеиды в другую происходит путем фильтрации через поры в их оболочках.

Трахеиды свойственны голосеменным, папоротникам, хвощам, плаунам и примитивным покрытосеменным.

Сосуды (трахеи) — тоже мертвые элементы проводящей ткани. Они представляют собой трубку, состоящую из сомкнутых коротких широких клеток, которые расположены одна над другой. На их поперечных стенках формируется одно или несколько сквозных отверстий, обеспечивающих более быстрый, чем через поры, транспорт воды. Сосуды характерны только для покрытосеменных растений.

Флоэма, как и ксилема, также является сложной тканью. В ее состав входят ситовидные трубки и клетки-спутницы (рис. 8.7), паренхимные клетки и механические элементы. Ситовидные трубки образованы живыми безъядерными

клетками, поперечные перегородки между которыми имеют сквозные круглые отверстия (продырявлены наподобие сита). Через эти отверстия в соседние клетки проходят тонкие тяжи цитоплазмы. Благодаря этому клетки сообщаются друг с другом. По ситовидным трубкам, которые, как и сосуды, проходят по всей длине растения, передвигаются органические вещества. Прилегающие к ситовидным трубкам клетки-спутницы обеспечивают жизнедеятельность ситовидных трубок, которые из-за отсутствия в них ядра в значительной степени утратили признаки самостоятельных клеток.

Ксилема и флоэма обычно находятся во взаимодействии друг с другом и образуют так называемые *проводящие пучки*. Их легко увидеть на листьях в виде жилок.

Основные ткани, или паренхима. Такие ткани составляют основную и большую часть тела растения. Это один из немногих видов тканей, которые в зависимости от положения в теле растения и особенностей его обитания способны выполнять различные функции — осуществление фотосинтеза, запасание питательных веществ, воды, воздуха. По функции различают *хлорофиллоносную (хлоренхима)*, *запасную*, *воздухоносную (аэренхима)* паренхиму.

Хлорофиллоносная паренхима, или ассимиляционная ткань, находится в зеленых листьях и стеблях растений и выполняет функцию фотосинтеза. В клетках этой ткани в большом количестве содержатся хлоропласты.

В клетках *запасной паренхимы* откладываются в твердом или растворенном виде запасные питательные вещества (крахмал, сахара, белки), которые впоследствии используются растением в процессе жизнедеятельности. Большое количество запасной паренхимы имеется в стеблях древесных растений, корневищах, клубнях, луковицах, корнеплодах, плодах. Иногда в запасных тканях накапливаются продукты обмена веществ: смолы, органические кислоты, кристаллы щавелевокислого кальция.

У растений, периодически испытывающих недостаток воды, в запасных тканях стебля (кактусы, молочаи) или листьев (алоэ, очитки) накапливается вода.

У растений, обитающих в воде (кувшинки, кубышки, рдесты и др.), развивается особый тип основной ткани — *воздухоносная паренхима, или аэренхима*. Ее основная функция — обеспечение нормального газообмена в теле растения в условиях пониженной аэрации. Клетки воздухоносной паренхимы располагаются рыхло, так что между ними образуются крупные межклетники, по которым циркулируют газы.

В состав растительных тканей входят не только клетки, но и межклеточное вещество, которое находится между клетками и скрепляет клетки друг с другом, защищая их: препятствует испарению воды, укрепляет растение.

Развитие растений в наземных условиях привело не только к возникновению тканей, но и к появлению органов. Части большинства наземных растений находятся в разных условиях: подземная часть закрепляется в грунте и впитывает воду с растворенными в ней минеральными веществами, надземная часть фотосинтезирует. В связи с этим нижняя часть тела растений в ходе их развития видоизменилась в *корни*, а надземная дифференцировалась на осевую часть — *стебель* и боковые органы — *листья*. Таким образом, у высших растений постепенно появились органы.

Орган (гр. *органон* — орудие, инструмент) — часть организма, выполняющая определенные функции и имеющая для этого приспособленное строение. Листья выполняют функцию фотосинтеза, испарения воды

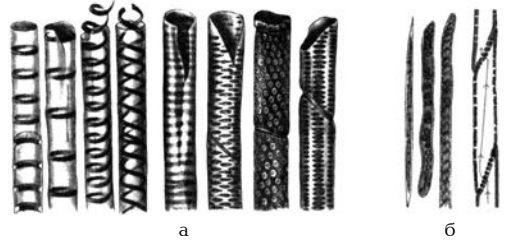


Рис. 8.6. Ксилема: а — сосуды; б — трахеиды

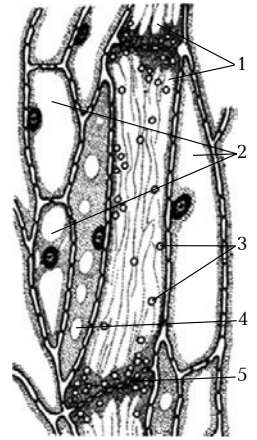
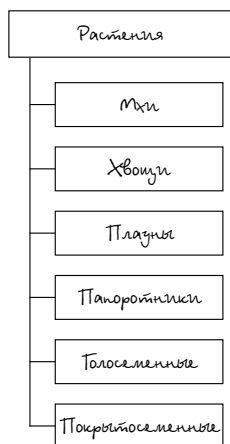


Рис. 8.7. Флоэма: 1 — ситовидные трубки; 2 — паренхимные клетки; 3 — пластиды; 4 — клетка-спутница; 5 — ситовидная пластинка с многочисленными порами



и газообмена. Корни поглощают воду и минеральные вещества из почвы. Стебель связывает корень и листья между собой. Стебель, листья и корень называют **вегетативными органами**. В наземных условиях у растений, кроме многоклеточных вегетативных органов, сформировались многоклеточные органы бесполого размножения — *спорангии*, в которых развиваются многочисленные споры. Споры покрыты плотной оболочкой, что позволяет им выжить в условиях суши.

У растений образовались также многоклеточные органы полового размножения — *антеридии* и *архегонии*, которые защищают образующиеся в них половые клетки от высыхания и обеспечивают оплодотворение. У водорослей надежной защитой половых клеток является вода. В воде половые клетки передвигаются, благодаря чему осуществляется оплодотворение. В наземных условиях половые клетки необходимо защитить от высыхания и обеспечить их слияние, что и обусловило возникновение у растений многоклеточных органов полового размножения. Органы полового и бесполого размножения называются репродуктивными (лат. *продуктор* — создаю и приставка *ре* — повторение, возобновление).

У цветковых растений появились *цветки* и образующиеся затем из них *плоды* и *семена* (см. с. 158—164).

РАЗНООБРАЗИЕ РАСТЕНИЙ

Споровые растения

Мхи



Рис. 8.8. Маршанция многообразная: 1 — слоевище с женскими подставками; 2 — слоевище с мужскими подставками

Мхи — низкорослые растения, произрастающие на болотах, сырых лугах, в хвойных лесах, на стволах деревьев, высоко в горах. Они образуют сплошные дерновины на почве, покрывают камни, стволы деревьев, пни. Некоторые виды мхов растут там, где другие растения существовать не могут. Одни поселяются на скалах, растут на стенах и крышах старых домов. Другие мхи живут в воде. Известно около 25 тыс. видов мхов, широко распространенных на всех континентах. Особенно их много в Северном полушарии, где на больших площадях мхи доминируют в растительном покрове.

Строение мхов. Мхи — это небольшие (от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров), преимущественно многолетние (редко однолетние), фотосинтезирующие растения. Их тело состоит из простых или разветвленных стеблей, покрытых листочками. У некоторых примитивных (печеночных) мхов тело представляет собой слоевище, не дифференцированное на стебель и листья. На слоевище на особых подставках развиваются органы полового размножения (рис. 8.8). Мхи, в отличие от других растений, не имеют корней и прикрепляются к субстрату, на котором растут, с помощью ризоидов. Они представляют собой вытянутую клетку или несколько клеток в нижней части стебля. Ризоидами мхи также поглощают из почвы воду и минеральные соли.

Стебель мхов может быть построен из одинаковых клеток с толстыми или тонкими оболочками или же из разных клеток. Во втором случае в стебле формируются некоторые виды тканей.

Мхи имеют многоклеточные органы полового размножения — антеридии и архегонии.

Кукушкин лен. По сравнению с другими мхами это наиболее крупное растение, достигающее в высоту 12—20 см (рис. 8.9).

Стебель у кукушкина льна тонкий, направлен вверх, неветвящийся.

Снаружи стебель покрыт эпидермисом, состоящим из одного слоя тесно прилегающих друг к другу клеток, которые выполняют защитную функцию. Эпидермис обеспечивает защиту растений от чрезмерного испарения, а также от механических повреждений и проникновения микроорганизмов внутрь растения. Под эпидермисом расположена кора, внешняя часть которой построена из толстостенных клеток, выполняющих опорную функцию, а внутренняя часть — из мягких тонкостенных клеток.

В центре стебля находится проводящий пучок. Его внешняя часть состоит из живых клеток, которые проводят органические вещества. Внутренняя часть состоит из удлинённых мертвых клеток, проводящих воду и минеральные соли. Не у всех мхов стебель имеет такое внутреннее строение. Есть много видов мхов, стебли которых устроены значительно проще.

На стебле густо расположены узкие зеленые листья. Лист состоит из нескольких рядов клеток, содержащих хлоропласты. Посередине листа проходит одна жилка. Внутренние клетки листа имеют утолщенные оболочки, придающие листу прочность.

Размножение. Кукушкин лен — раздельнополое растение. Мужские растения имеют на верхушке красноватые листочки, в окружении которых находятся мужские органы полового размножения — антеридии (рис. 8.10). Антеридии представляют собой небольшие мешочки, в которых развиваются подвижные мужские гаметы — двужгутиковые сперматозоиды.

На верхушке стебля женских растений расположены женские органы полового размножения — архегонии, окруженные листьями. Архегоний имеет колбообразную форму. В его расширенной части формируется яйцеклетка — неподвижная округлая женская гамета. Растение, на котором образуются половые клетки — гаметы, называется гаметофитом.

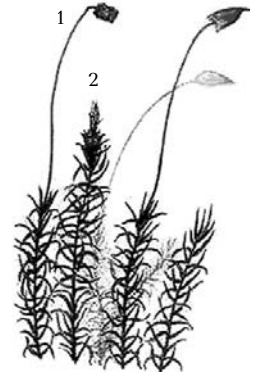


Рис. 8.9. Кукушкин лен: 1 — женское растение со спорангием на ножке; 2 — мужское растение с розеткой на верхушке

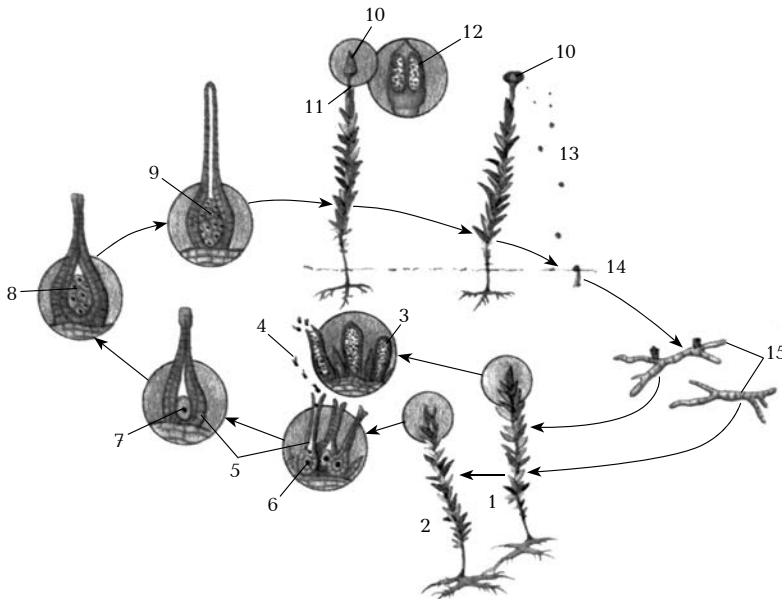


Рис. 8.10. Цикл развития кукушкина льна: 1 — мужское растение (гаметофит); 2 — женское растение (гаметофит); 3 — антеридии; 4 — сперматозоиды; 5 — архегоний; 6 — яйцеклетка; 7 — зигота; 8 — зародыш; 9 — молодой спорофит; 10 — спорангий; 11 — ножка; 12 — споры; 13 — распространение спор ветром; 14 — прорастание спор; 15 — протонема

Мхи растут густыми дернинками, а значит, мужские и женские растения оказываются рядом. При наличии капель воды (дождя, росы) сперматозоиды передвигаются в воде и достигают архегониев, где мужская и женская гаметы сливаются. Происходит оплодотворение, и образуется зигота. Это *половое размножение*.

На следующий год зигота, не выходя из архегония, начинает делиться, и из нее на верхушке растения на длинной безлистной ножке развивается коробочка с крышечкой, накрытая колпачком. В нижней части ножки образуется расширенная часть, которая поглощает из материнского растения органические вещества. Коробочка представляет собой спорангий. Внутри него развивается множество мелких спор. Это *бесполое размножение*. Коробочка с ножкой называется спорофитом. Накрытая колпачком коробочка напоминает сидящую на ветке кукушку. Это сходство дало основание для названия «кукушкин лен». Когда споры созревают, они высыпаются из коробочки и рассеиваются ветром. В благоприятных условиях споры прорастают в длинные тонкие ветвящиеся нити зеленого цвета (протонемы), напоминающие нитчатую зеленую водоросль. Это сходство позволяет сделать вывод о происхождении мхов от древних нитчатых водорослей. В дальнейшем на этих нитях образуются почки, из которых вырастают покрытые листьями молодые растения кукушкина льна. Одни из этих растений мужские, другие — женские.

Сфагновые мхи. На торфяных болотах или в сырых лесах сплошным ковром разрастается серебристо-белый мох сфагнум, или торфяной мох.

Строение и размножение сфагнума. Как и кукушкин лен, сфагнум — многолетнее растение. Растения сфагнума не имеют не только корней, но и ризоидов. Они всасывают воду и минеральные соли стеблем и листьями. У сфагнума довольно длинный, но слабый стебель. Он обильно ветвится, особенно на верхушке растения. На боковых веточках располагаются листья (рис. 8.11). Поскольку сфагнум растет густым ковром, растения поддерживают друг друга, не позволяя упасть.

Листья сфагнума имеют своеобразное строение. Они без средней жилки и состоят из одного слоя клеток. Клетки листа неодинаковы. Одни из них живые, зеленые, содержат хлоропласты (рис. 8.12). Другие клетки — крупные, бесцветные, располагающиеся между живыми, зелеными, — мертвые, лишены цитоплазмы и ядра. Это водоносные клетки. Оболочки мертвых клеток имеют отверстия, через которые впитывается вода. Водоносные клетки листьев и стеблей способны через поры поглощать огромное количество воды и долго ее удерживать. По этой причине сфагновые мхи — мощные сорбенты (поглотители). Некоторые из них способны поглотить количество воды, превышающее их собственную воздушно-сухую массу в 20—25 и даже в 35 раз! Они не только извлекают из субстрата, на котором растут, различные химические элементы, но и способны поглощать их непосредственно из воздуха.

Растения сфагнума, насыщенные водой, приобретают ярко-зеленую окраску. При высыхании мертвые клетки листьев мха наполняются воздухом, поэтому растения становятся серебристо-белыми.

Размножается сфагнум так же, как и кукушкин лен: бесполое размножение спорами чередуется с половым.

После оплодотворения из зиготы образуется круглая коробочка, где развиваются споры, с помощью которых сфагнум распространяется. На влажной почве спора прорастает. При ее прорастании образуется маленькая зеленая пластиночка с ризоидами, на которой появляются почки. Из почек развиваются стебли с листьями — новые растения сфагнума. Сфагновые мхи отличаются достаточно большим разнообразием. В нашей зоне широко распространены такие виды сфагнума, как сфагнум красноватый, сфагнум остроколючный, сфагнум папиллозный, сфагнум однобокий, и другие виды.

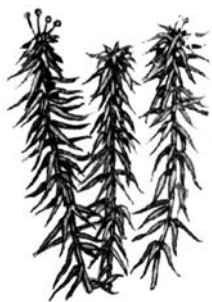


Рис. 8.11. Мох сфагнум (общий вид)

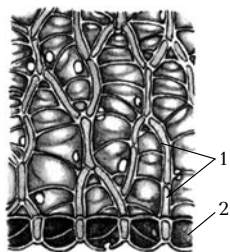


Рис. 8.12. Клетки листа сфагнума под микроскопом: 1 — фотосинтезирующие; 2 — водоносные

Образование и использование торфа. В тех местах, где поселяется сфагнум, накапливается много влаги, и чем сильнее он разрастается, тем больше накапливается воды. Так начинается заболачивание местности. Сфагнум растет верхушкой стебля, а нижняя часть его, погруженная в воду, постепенно отмирает. Отмирающие нижние части побегов сфагнума вместе с другими растениями в течение десятилетий превращаются в торф. Торф образуется при неполном разложении растительных остатков в условиях ограниченного доступа кислорода. Подобные условия и создаются на болотах. С течением длительного времени запасы торфа увеличиваются, и на старых болотах скапливаются его многометровые пласты. Образование торфа — процесс длительный, возраст торфяных болот достигает десятков тысяч лет.

В слоях торфа сохраняются неразложившиеся остатки растений — корни, пни деревьев, листья, части веточек, пыльца растений, живших много лет назад. Эти остатки разрушаются не полностью, так как в толще торфа мало кислорода и процесс гниения идет медленно. Кроме того, сфагнум, который продолжает расти на поверхности, выделяет вещества, угнетающие жизнедеятельность бактерий, что препятствует гниению.

Роль мхов в природе. Мхи — неприхотливые растения, способные поселяться на любом субстрате — камнях, скалах, обнаженных щебнистых и песчаных участках земли, непригодных для жизни других растений. Здесь они выступают как первопоселенцы. Они активно разрушают породу (например, камень), внедряясь ризоидами в микроскопические, мелкие углубления на поверхности. Отмершие остатки мхов постепенно создают обогащенный органическими веществами субстрат, пригодный для поселения других высших растений.

Велика роль мхов в лесу. Здесь они являются пионерами зарастания всевозможных незадернованных участков, прежде всего тех, на которых стояли сваленные ветром деревья, а также пожарищ, кострищ, троп.

Очень часто мхи формируют в лесу мощный сплошной или почти сплошной ковер — ковер, покрывающий всю почву толщиной 15—20 см. Такой ковер затеняет почву, уменьшает суточные колебания температуры, влажности, освещенности в приземном слое воздуха. Это улучшает условия для сохранения и прорастания семян древесных и травянистых растений, благоприятствует развитию и росту молодых проростков. Иными словами, моховой покров способствует возобновлению леса. Однако слишком высокий и густой моховой покров может препятствовать нормальному возобновлению леса. Семена лесных растений застревают на поверхности мохового покрова и не достигают почвы.

Кроме того, если моховой покров леса образован только сфагновыми мхами, это отрицательно сказывается на состоянии леса, так как, накапливая воду, сфагнум способствует заболачиванию.

Папоротники

Общая характеристика. Папоротники — травянистые растения, реже — деревья с большими, раскидистыми листьями. Папоротники распространены повсеместно. Они поселяются повсюду — от тропиков до арктической тундры. Особенно широко они были распространены на Земле в древние геологические эпохи. Тогда папоротники образовывали сплошные леса. Известно около 10 тыс. видов папоротников. Наиболее многочисленны и разнообразны они в Юго-Восточной Азии, где не только почти сплошь покрывают почву под пологом леса, но и растут на стволах деревьев.

Папоротники обычно крупнее мхов, а в древности они достигали высоты 20 м. Поддержание таких растений в вертикальном положении требует

Отличия сфагнума от других мхов:

- 1) нет ризоидов;
- 2) стебель ветвится;
- 3) в листьях большое количество мертвых водонепроводящих клеток;
- 4) клетки сфагнума способны образовывать диктиризинные вещества;
- 5) коробочки со спорами округлые, без колпачка, расположенные по 3–5;
- 6) из проросшей споры образуется пластинка с ризоидами.

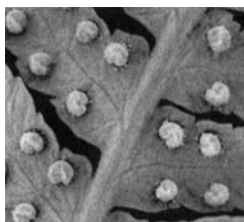


Рис. 8.13. Сорусы на листьях папоротников

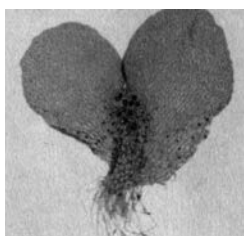


Рис. 8.14. Заросток папоротника

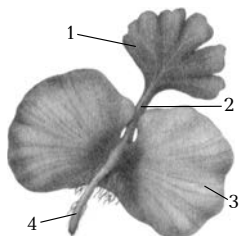


Рис. 8.15. Молодой спорофит, развивающийся на гаметофите: 1 — лист; 2 — стебель; 3 — гаметофит; 4 — корень

мощной механической ткани, а для переноса воды с растворенными питательными веществами нужна развитая проводящая ткань.

Элементы, по которым передвигаются растворенные в воде вещества, должны быть жесткими, чтобы не могли сдавливаться соседними клетками, в связи с чем клетки проводящей ткани должны иметь толстые негниущиеся стенки. У папоротников проводящая ткань сложена в основном *трахеидами* — длинными клетками, стенки которых укреплены жесткими одревесневшими целлюлозными кольцами и спиралями: они не дают клетке смятаться под давлением соседних клеток. В промежутках между кольцами и витками спиралей стенки трахеид тонкие и способны растягиваться.

Трахеиды выстроены цепочками (одна над другой) по всему стеблю, и раствор веществ перетекает из трахеиды в трахеиду через поры в их стенках.

Растянувшись, трахеида наращивает изнутри толстую стенку в промежутках между кольцами. После этого цитоплазма клетки разрушается, и растворы веществ свободно текут по трахеидам, как по трубкам, поднимаясь от корней к другим частям растения. Эту проводящую ткань, как вы уже знаете, называют ксилемой.

От фотосинтезирующих тканей листа вода с растворенными в ней сахарами течет по флоэме. Растворы движутся по цитоплазме живых клеток. Скорость движения раствора по флоэме меньше скорости движения по ксилеме, но больше скорости передвижения растворов по цитоплазме от клеток к клетке.

У папоротников стебли и листья покрыты влагонепроницаемой покровной тканью. В этой ткани есть отверстия — **устьица**, которые могут открываться и закрываться. При открывании устьиц испарение воды ускоряется (так растение борется с перегревом), при сужении отверстия — замедляется (так растение борется с излишними потерями влаги). Таким образом, у папоротников развиты проводящие, механические, фотосинтезирующие и покровные ткани.

Размножение папоротников. Если рассмотреть нижнюю сторону листа папоротника во второй половине лета, на ней можно увидеть буроватые маленькие бугорки. Каждый бугорок представляет собой группу мелких мешочков — спорангиев, покрытых общим покрывальцем, похожим на зонтик. Такая группа спорангиев называется **сорусом** (рис. 8.13). В спорангиях развиваются споры. Если встряхнуть лист папоротника над белой бумагой, она покроется мельчайшей буроватой пылью. Это споры, высыпающиеся из спорангиев.

В сухую жаркую погоду спорангии раскрываются, споры высыпаются и разносятся потоками воздуха. Так папоротники распространяются.

Упав на влажную почву, споры прорастают. Из споры путем ее деления образуется заросток — тонкая зеленая многоклеточная пластинка сердцевидной формы, которая укрепляется в почве ризоидами — выростами клеток (рис. 8.14). На нижней стороне заростка формируются органы полового размножения — **антеридии** и **архегонии**. Таким образом, заросток — это половое поколение папоротника — **гаметофит**.

В антеридиях образуются многожгутиковые сперматозоиды, а в архегониях — яйцеклетки. Во время дождя или обильной росы сперматозоиды подплывают к яйцеклеткам и сливаются с ними. Происходит оплодотворение. Образуется зигота. Из зиготы путем деления развивается зародыш. Постепенно из зародыша вырастает молодое растение папоротника — спорофит — с корневищем, корнями и мелкими листьями (рис. 8.15). Развитие идет медленно, и пройдет довольно много лет, пока папоротник будет в состоянии дать крупные листья и первые спорангии со спорами. Споры затем дадут новые заростки и т. д. Так у папоротника осуществляется **чередование поколений** — бесполого и полового (рис. 8.16).

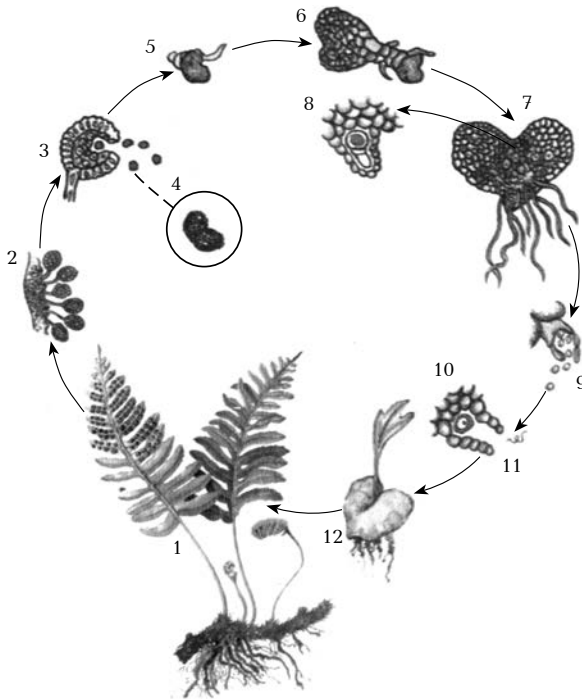


Рис. 8.16. Цикл развития папоротника: 1 — взрослый папоротник (спорофит); 2 — спорангии; 3 — вскрывающийся спорангий; 4 — спора; 5 — прорастающая спора; 6 — молодой заросток (гаметофит); 7 — зрелый заросток; 8 — архегоний; 9 — антеридий; 10 — яйцеклетка; 11 — сперматозоид; 12 — молодой спорофит

Нетрудно заметить, что в цикле развития папоротника, по сравнению с мхами, преобладает спорофит, который представлен мощным растением с корневищем, корнями и листьями. Гаметофит живет самостоятельно и представляет собой маленькую пластинку величиной в несколько миллиметров.

Разнообразие папоротников. В тенистых лиственных и смешанных лесах поодиночке или небольшими группами растет *щитовник мужской* (рис. 8.17). Его подземный стебель — корневище. От корневища отходят придаточные корни и листья.

Листья щитовника мужского крупные, с перисторассеченной пластинкой. Черешки листьев покрыты характерными буроватыми чешуйками. Молодые, еще не распусившиеся листья папоротника улиткообразно закручены и закрыты пленкой. Они пробиваются на поверхность почвы только на третий год жизни. Листья папоротников (их называют *вайи*) растут верхушкой, как и побег. Они соответствуют целым веточкам. Листья покрыты эпидермисом с устьицами на нижней стороне и пронизаны жилками. В основной ткани листа находятся хлоропласты.

Щитовник мужской — многолетнее растение. Осенью его листья отмирают, а корневище с зачатками новых листьев зимует под снегом. Весной на верхушке стебля появляются новые молодые листья.

В нашей стране встречаются и другие виды папоротников: в сосновых лесах — *орляк*, в еловых — *голокучник трехраздельный* и *щитовник игольчатый*; на заболоченных берегах рек — *телиптерис болотный*; по оврагам — *страусник обыкновенный* и *кочедыжник женский* (рис. 8.18). Некоторые папоротники, такие как *сальвиния* и *азолла*, живут только в воде (рис. 8.19). Нередко водные папоротники образуют сплошной покров на поверхности озер.

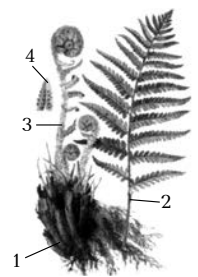


Рис. 8.17. Щитовник мужской: 1 — корневище; 2 — взрослый лист; 3 — молодые листья; 4 — спорангии

Рис. 8.18. Разнообразие папоротников: 1 — листовник обыкновенный; 2 — щитовник мужской; 3 — голокучник трехраздельный; 4 — кочедыжник женский; 5 — орляк; 6 — страусник обыкновенный

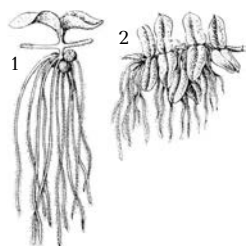
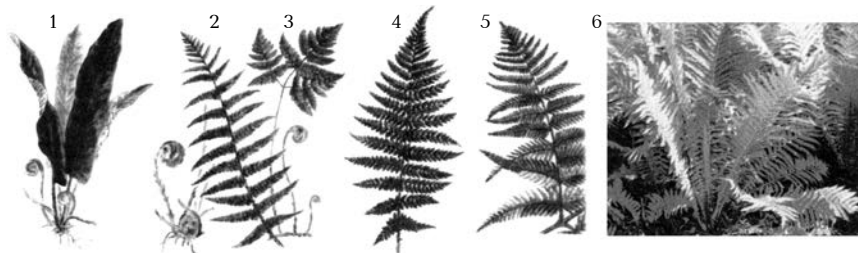


Рис. 8.19. Сальвиния плавающая: 1 — плавающие и погруженные листья мутовки; 2 — общий вид растения

Роль папоротников в природе. Папоротники являются компонентами многих растительных сообществ, особенно тропических и субтропических лесов. Многие папоротники, как и мхи, являются индикаторами определенного типа почвы и леса. Например, орляк предпочитает песчаные и сухие подзолистые почвы, в то время как щитовник мужской, кочедыжник женский, страусник обыкновенный поселяются на плодородных и влажных почвах.

Многие виды папоротников выращивают в садах, оранжереях и других помещениях, поскольку они легко переносят условия, неблагоприятные для большинства цветковых растений. Наиболее часто в декоративных целях в комнатных условиях выращивают папоротники из рода адриантум (например, адриантум «венерин волос»). В открытый грунт обычно высаживают страусник. Молодые побеги папоротника орляка можно использовать в пищу. Экстракт щитовника мужского применяется в качестве эффективного и относительно безопасного глистогонного средства.

Хвощи, плауны

Хвощи. Эти травянистые растения растут на влажных полях и лугах, на болотах и в сырых лесах. Хотя по внешнему виду они и отличаются от папоротников, но по характерным признакам схожи с ними. Хвощи, как и папоротники, являются споровыми растениями.

Хвощ полевой — типичный представитель этой группы растений (рис. 8.20). Он растет на полях и пашнях. Это многолетний сорняк. В почве находится подземное ветвистое корневище с придаточными корнями и почками, из которых каждый год развиваются надземные побеги. Растение, имеющее корневище, корни, надземные побеги, — это бесполое поколение хвоща — спорофит.

При обработке почвы корневища хвоща, разрезанные плугом, не погибают, и из каждого отрезка вырастает самостоятельное растение. Вот почему с этим сорняком трудно бороться.

Размножение. У хвоща полевого образуются два рода побегов. Ранней весной из почвы появляются желтовато-бурые неветвящиеся спороносные побеги. В их клетках нет хлорофилла. Их ребристый стебель состоит из междоузлий, которые легко отделяются друг от друга. В узлах мутовками располагаются спрощенные буроватые чешуевидные листья, тоже лишенные хлорофилла и не способные к фотосинтезу.

Рост весенних побегов происходит за счет органических веществ, запасенных в предыдущем году в корневище. На верхушках этих побегов образуются спороносные колоски, в спорангиях которых формируются споры (рис. 8.21). После созревания споры рассеиваются, а весенние побеги засыхают и отмирают. На спорах имеются особые ленты, которые в сухом воздухе раскручиваются и сцепливают споры друг с другом, в результате чего

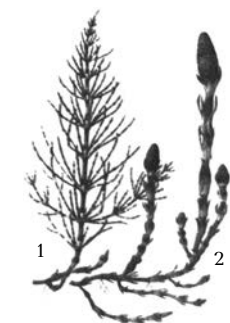


Рис. 8.20. Хвощ полевой: 1 — летние побеги; 2 — весенние побеги со спороносными колосками

они разносятся большими группами. Из спор в благоприятных условиях вырастают заростки двух видов. На одних заростках развиваются мужские органы полового размножения — *антеридии*, на других — женские — *архегонии*, в которых формируются половые клетки. Обязательным условием для оплодотворения является наличие воды. Мужские гаметы приближаются к заросткам с архегониями и сливаются с яйцеклетками. После оплодотворения из зиготы развивается молодое растение.

На хвощах, сбросивших весенние побеги, к началу лета из почек корневища развиваются ветвистые в виде елочек зеленые *летние побеги*. На боковых побегах, расположенных на главном стебле, находятся недоразвитые листья — *чешуйки*, сросшиеся между собой. Стебель пропитан кремнеземом, который придает ему большую прочность. В клетках стебля и боковых веточек находятся хлоропласты; в них происходит фотосинтез. Образовавшиеся органические вещества оттекают в корневище и там запасаются. Весной органические вещества используются не только на рост спороносных побегов, но и на образование новых корневищ.

Видовое разнообразие хвощей невелико. Они представлены одним родом — хвощ, который включает около 30 видов. В Беларуси произрастает восемь видов. Все виды хвощей — травянистые растения. В наших лесах на увлажненной почве распространен *хвощ лесной* с сильно разветвленными поникающими боковыми веточками. На песчаных почвах и в оврагах встречается *хвощ зимующий*, на заболоченных местах, по берегам рек и озер растут *хвощи болотный* и *приречный* (рис. 8.22).

Побеги некоторых хвощей (например, хвоща полевого) используются в народной медицине как мочегонное и вяжущее средство. Жесткие стебли хвоща зимующего из-за значительного количества кремнезема (очень твердое, хорошо полирующее вещество) издавна применялись для чистки металлических посуды и вместо наждачной бумаги.

Плауны. Чаще всего плауны произрастают в хвойных или смешанных лесах. Это травянистые растения с длинными, стелющимися по земле стеблями, густо покрытыми узкими зелеными листьями. От стебля отходят вертикальные густооблиственные побеги высотой 20—30 см. На верхушке таких побегов развиваются спороносные колоски со спорангиями.

Современные плауны — в основном травянистые растения. Сохранившиеся формы, подобные плауну булавовидному, распространены от тропиков до тундры.

Плаунов около 1200 видов. В Беларуси произрастает семь видов. В их числе — *плаун булавовидный*, *плаун сплюснутый*, *плаун годичный*, *плаун баранец* (рис. 8.23).

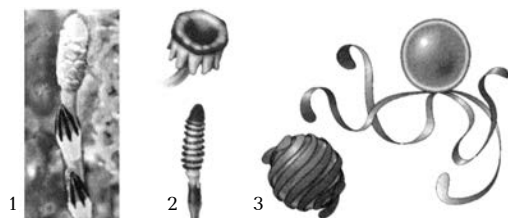


Рис. 8.21. Спороносный побег хвоща: 1 — спороносный побег с чешуевидными листьями и спороносным колоском; 2 — спороносный колосок, сверху — отдельный щиток; 3 — споры хвоща

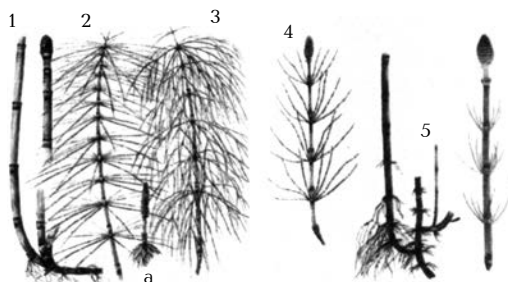


Рис. 8.22. Разнообразие хвощей: 1 — зимующий; 2 — луговой; 3 — лесной (а — репродуктивный побег весной); 4 — болотный; 5 — приречный (корневище и спороносный побег)

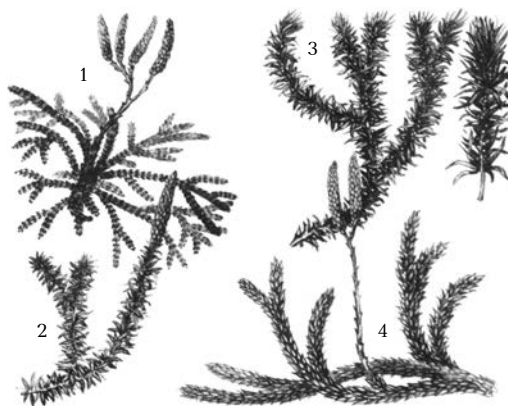


Рис. 8.23. Разнообразие плаунов: 1 — сплюснутый; 2 — годичный; 3 — баранец; 4 — булавовидный

Современные плауны — реликтовые растения и не оказывают существенного влияния на формирование растительного покрова.

Ограничено и практическое использование плаунов. Сухие споры плаунов (ликоподий) раньше использовали в качестве детской присыпки, а в металлургической промышленности — при фасонном литье металлов. Плаун баранец применяется для получения желтой краски.

Семенные растения

Кроме споровых, в природе существует обширная группа **семенных растений**. С ними вы постоянно встречаетесь в повседневной жизни. Ель и сосна, дуб и береза, морковь и капуста, рожь и пшеница — примеры семенных растений. Люди используют в пищу и в хозяйстве в основном семенные растения, производящие почти все органическое вещество в наземных экосистемах Земли.

Семенные растения возникли приблизительно 300 млн лет назад. В это время климат на планете стал более сухим и споровые растения начали интенсивно вымирать.

Семенные растения сумели освоить огромные пространства материков потому, что они приспособились обходиться только водой, содержащейся в почве. Для их полового размножения не нужна вода. Успех в расселении семенных растений связан по сравнению со споровыми с появлением у них семян (зачаточные растения с запасом питательных веществ), которые лучше выживают в окружающей среде, чем споры. В семени находится зародыш, защищенный семенной кожурой и снабженный запасом питательных веществ. В таком виде растение может пережить неблагоприятные условия — сильные засухи, зимние холода и т. д., что обеспечивает его успешное дальнейшее существование. Древние голосеменные дали начало покрытосеменным растениям. Таким образом, группа семенных растений представлена на Земле голосеменными и покрытосеменными, или цветковыми, растениями.

У голосеменных растений семена защищены только семенной кожурой. У покрытосеменных, кроме семенной кожуры, надежной защитой служит околоплодник.

Голосеменные растения

Общая характеристика голосеменных растений. Голосеменные широко распространены по всему земному шару и играют важную роль в формировании растительного покрова. Среди голосеменных нет травянистых растений, мало кустарниковых. В основном это древесные растения. И в наши дни представители голосеменных — **хвойные деревья** — образуют большинство лесов умеренного климата Северного полушария. Значительная часть хвойных обычна для флоры Беларуси: *сосна обыкновенная*, *ель европейская*, *можжевельник обыкновенный*, произрастающий под пологом сосновых лесов. В озеленении городов часто применяют *тисс ягодный*, разные виды *лиственниц*. На месте вырубленных участков часто высаживают *кедровые сосны* и другие виды.

Что же объединяет голосеменные растения? У большинства из них есть шишки (рис. 8.24). Шишка — это орган размножения, в котором на удлинённой оси спирально расположены чешуи, в пазухах которых формируются семена. Семена лежат на чешуях открыто, отсюда и название этой группы растений — голосеменные. Благодаря запасной ткани и зародышу, в котором



Рис. 8.24. Ветка сосны обыкновенной с шишками

есть зачатки стебля, листьев и корня, растение из семени растет гораздо быстрее, чем из споры (как это происходит у споровых растений).

Оплодотворение у голосеменных, в отличие от мхов, хвощей, плаунов и папоротников, происходит без наличия воды. Для этого у них возникли специальные приспособления.

Особенности строения голосеменных. Для таких мелких растений, как мхи, важно вынести листья из слоя отмерших остатков. Для более крупных растений важно не оказаться в тени соседей. Нехватка света заставляет деревья тянуться вверх. В силу этого в большинстве своем хвойные формируют мощный многолетний стебель — *ствол*, который может вынести листья очень высоко. Внутреннее строение стебля хорошо соответствует его функциям.

В центре стебля сосны расположена *сердцевина*, которая состоит из живых паренхимных клеток. В них откладываются запасные питательные вещества и конечные продукты обмена.

Большую часть стебля сосны занимает проводящая ткань — *ксилема*, или *древесина* (рис. 8.25). Она находится снаружи от сердцевины. Ксилема хвойных на 90 % состоит из *трахеид*. Это мертвые клетки с утолщенными одревесневшими оболочками, пронизанными порами. Трахеиды, образующие несколько наружных слоев, служат для переноса растворов минеральных веществ от корней к листьям. Внутренние слои трахеид воду не проводят, а выполняют механическую функцию.

Молодая древесина образуется каждый год из образовательной ткани — камбия. Камбий представляет собой слой клеток, располагающийся вокруг древесины в виде цилиндра. Клетки камбия делятся параллельно поверхности ствола. Внутрь ствола (в сторону центра) камбий образует трахеиды, ближе к периферии — клетки флоэмы.

На поперечном срезе ствола видны сменяющие друг друга более темные и более светлые кольца древесины (рис. 8.26). Темные кольца — это клетки ксилемы, возникшие в конце лета и осенью, когда формируются трахеиды с узким просветом. Светлые кольца — участки рыхлой ксилемы, образованной крупными трахеидами с широким просветом. Трахеиды с широким просветом образуются весной, когда по растущему стеблю идет обильный восходящий поток воды с растворенными минеральными веществами.

Снаружи от камбия залегает *флоэма* — проводящая ткань, по которой осуществляется транспорт продуктов фотосинтеза от листьев к местам их использования. В состав флоэмы хвойных входят ситовидные (проводящие) клетки и механические элементы. Концентрированный раствор сахара проталкивается по флоэме к частям растения, где сахар либо используется сразу, либо откладывается в запас.

Между ситовидными клетками расположены длинные клетки механической ткани с толстыми стенками, выполняющие опорную функцию, — *лубяные волокна*.

Снаружи от флоэмы расположен слой покровной ткани — *перидермы*. Эта ткань состоит из клеток, пропитанных веществами, отталкивающими влагу и препятствующими размножению микроорганизмов. Каждый год формируется новый слой перидермы. Ее слои образуют *корку*. Ткани, залегающие снаружи от камбия, формируют кору.

Кора старых сосен покрыта глубокими трещинами. Наружный слой коры самый старый. Он сформировался, когда дерево было гораздо тоньше.

При росте дерева в толщину наружные слои коры лопаются и расходятся, а в глубине нарастают новые, неповрежденные. Таким образом, кора не препятствует росту стебля в толщину. На коре есть разрывы, рыхло заполненные мелкими клетками, через которые осуществляется газообмен.

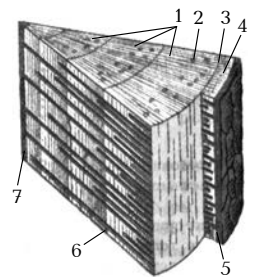


Рис. 8.25. Строение стебля сосны обыкновенной: 1 — ксилема; 2 — смоляные ходы; 3 — камбий; 4 — кора; 5 — корка; 6 — сердцевинные лучи; 7 — сердцевина

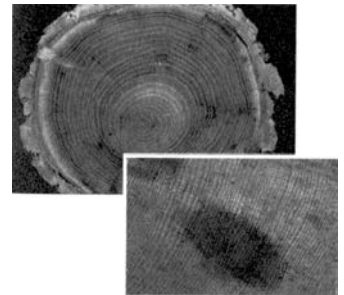


Рис. 8.26. Кольца древесины в стволе сосны



В просвет между клетками воздух проходит, а бактерии и споры грибов — нет. Воздух, пройдя сквозь разрывы, расходится по межклетникам древесины и проникает к живым клеткам.

В коре и древесине хвойных много смоляных ходов — пространств между клетками, заполненных смолой и маслами. При повреждении дерева жидкая смола подтекает к ранке и загустевает. Смола защищает внутренние ткани деревьев от бактерий и грибов.

Большинство видов голосеменных имеют игольчатые листья — **хвою**. Площадь их поверхности невелика, что обеспечивает более экономное испарение воды. Только некоторые хвойные являются листопадными (например, лиственница), у остальных же хвоя живет на стебле от трех до семи лет, опадая и заменяясь постепенно. Благодаря этому они и в зимнее время остаются зелеными, за что их называют вечнозелеными растениями.

Снаружи листья хвойных покрыты покровной тканью — эпидермисом. У многих видов эпидермис защищен снаружи тонким слоем кутикулы, образованной прозрачным водонепроницаемым веществом, содержащим воск. Среди клеток эпидермиса есть устьица, через которые осуществляется газообмен и испарение воды.

Под эпидермисом располагается фотосинтезирующая ткань. В центре листа расположен проводящий пучок. Образовавшиеся в клетках фотосинтезирующей ткани органические вещества передвигаются по флоэме в другие части растения.

У хвойных хорошо развита корневая система, которая позволяет надежно закрепиться в грунте и всасывать из почвы значительное количество воды с растворенными минеральными веществами.

Размножение голосеменных. Голосеменные были первыми истинно сухопутными растениями, которые смогли заселить относительно засушливые области. Это объясняется тем, что оплодотворение у них не зависит от наличия капельной воды.

Рассмотрим жизненный цикл голосеменных на примере сосны обыкновенной (рис. 8.27). Весной на растениях сосны развиваются мужские и женские шишки, в которых формируются микро- и мегаспоры. Таким образом, растения голосеменных представляют собой *спорофиты*.

Мужские шишки мелкие, зеленовато-желтые, собраны в *колоски*. Каждая шишечка состоит из оси, к которой прикреплены чешуи. На каждой чешуе находятся два пыльцевых мешка. Пыльцевой мешок — это знакомый нам по мхам и папоротникам спорангий. В пыльцевых мешках образуются споры, каждая из которых покрывается плотной оболочкой. Далее содержащее споры несколько раз делится. В результате формируются *мужские гаметофиты* — пыльцевые зерна (пыльца), в которых впоследствии образуются два спермия и вегетативная клетка (клетка трубки).

Женская шишка — ось с гранеными чешуями, мягкими на молодой шишке и твердыми на зрелой. На чешуях формируются по два семязачатка, в каждом из которых развивается *женский гаметофит* с двумя архегониями и крупной яйцеклеткой в каждом из них. В состав женского гаметофита входит запасная питательная ткань *эндосперм*, в клетках которого накапливаются запасные питательные вещества, главным образом масла.

Ветер заносит пыльцу на женскую шишку. Оказавшиеся на семязачатке пыльцевые зерна прорастают, образуя вырост (пыльцевую трубку), который внедряется в семязачаток. В это

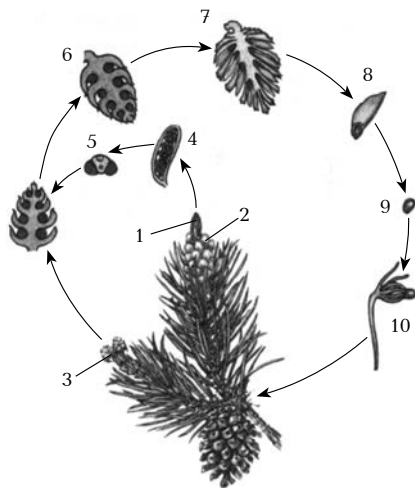


Рис. 8.27. Цикл развития сосны обыкновенной: 1 — ось побега; 2 — мужские шишки; 3 — женские шишки; 4 — пыльцевой мешок; 5 — пыльца (пыльцевое зерно); 6 — опыленная шишка; 7 — зрелая шишка; 8 — семя; 9 — семя; 10 — проросток

время в пылевом зерне образуются безжгутиковые мужские гаметы — спермии, которые по пылевой трубке проникают в семязачаток. Один из спермиев сливается с одной из яйцеклеток — образуется зигота. Другой спермий и вторая яйцеклетка погибают.

После оплодотворения зигота превращается в зародыш — зачаток нового растения, а семязачаток — в семя. Зародыш голосеменных защищен семенной кожурой и обеспечен запасом питательных веществ для прорастания.

Обратите внимание на особенности образования семян у голосеменных растений.

1. В оплодотворении участвует один спермий из двух, проникших в семязачаток.

2. Из клеток семязачатка формируется запасная питательная ткань — эндосперм, и, таким образом, зародыш имеет питательные вещества, а потому семена сохраняются дольше, чем споры. Следовательно, повышается гарантия появления новых организмов.

3. Для оплодотворения не требуется вода, поскольку спермии доставляются к яйцеклетке пылевой трубкой.

После оплодотворения женские шишки начинают усиленно расти. Сначала они зеленые, затем становятся бурыми. Примерно через полгода после оплодотворения чешуи подсохших шишек раскрываются и семена выпадают из них. Каждое семя благодаря крылышку относится ветром далеко от материнского дерева, обеспечивая тем самым расселение хвойных растений. У сосны обыкновенной от опыления до созревания семян проходит один год и восемь месяцев. У елей, пихт семена созревают в год опыления, т. е. осенью, а у лиственницы семена высеваются из шишек уже в августе.

Попав в благоприятные условия, зрелое семя прорастает в молодое растение. Через какое-то время растение становится зрелым, на нем образуются мужские и женские шишки, и цикл повторяется.

Таким образом, для голосеменных, как и для других растений, характерно закономерное чередование поколений в цикле развития — *бесполого (спорофит) и полового (гаметофит)*.

Спорофит у голосеменных — это взрослое многолетнее древесное или кустарниковое растение. Гаметофит же развивается на спорофите. Гаметофиты формируются в шишках и надежно защищены от неблагоприятного воздействия внешних условий специальными образованиями.

Значение голосеменных. Голосеменные играют важную роль в природе и жизни человека. Несмотря на небольшое число видов (более 700) в общей флоре Земли, они занимают огромные территории. Как и все зеленые растения, голосеменные способны к фотосинтезу. Потребляя углекислый газ и выделяя кислород, они вносят свой вклад в поддержание постоянного газового состава атмосферы. Кроме того, хвойные породы выделяют в атмосферу особые летучие вещества, убивающие бактерии, и таким образом очищают воздух. Эти вещества называют *фитонцидами* (гр. *фитон* — растение и *цаго* — убиваю). Многие хвойные неприхотливы, поэтому произрастают в таких условиях обитания, где другие виды древесных растений не могут жить (болота, пески, склоны гор). Это обогащает зеленый покров нашей планеты и предохраняет поверхность Земли от разрушения водой и ветром.

Сосна играет важную роль в борьбе с разрушением почвы. Естественное заселение лесных высеков и пожарищ, запущенных полей начинается с появления на этих участках светлюбивых неприхотливых сосны, березы, осины. Поселившись на сыпучих песках, сосна своими корнями укрепляет их.

Хвойные леса так же, как и лиственные, задерживают таяние снега, что обогащает почву водой. Кроме того, тенистые еловые леса удерживают влагу в почве и регулируют водный баланс на обширных территориях.

Произрастая в условиях невысоких температур и занимая бедные почвы, хвойные леса образуют тайгу, которая препятствует проникновению холодного северного воздуха Арктики в южные районы. Следовательно, хвойные леса смягчают климат средней полосы, в том числе и Беларуси.

Семенами хвойных питаются многие обитатели леса: белки, дятлы, сойки, клесты, мыши.

Голосеменные растения широко используются в народном хозяйстве. Древесина сосны и ели очень однородна, поэтому является прекрасным строительным материалом, сырьем для получения бумаги, тканей, идет на изготовление музыкальных инструментов, шпал, опор для линий электропередачи.

В результате подсочки сосны обыкновенной (поранение ствола специальными ножами) получают живицу (смолу), которая используется при изготовлении лаков, скипидара, канифоли, взрывчатых веществ, нитроглицерина и другой продукции.

Хвоя сосны, ели, пихты используется в приготовлении зубной пасты, туалетного мыла, одеколонов, в качестве добавок в корм скоту. Хвоя богата витамином С, поэтому применяется для лечения цинги, ревматизма.

В Сибири и на Дальнем Востоке, где произрастают кедровые сосны, их семена используются для получения масла, кедрового молока.

С учетом большой ценности хвойных растений в нашей республике постоянно ведутся работы по расширению их видового состава. В озеленении широко применяются различные подвиды туи, можжевельник казацкий, сосны Веймутова и Банкса, псевдотсуги, лиственницы, тисс. Лиственницу высаживают и на месте вырубленных лесов.

Цветковые растения

Основные особенности цветковых растений. *Цветковые, или покрытосеменные, растения* — это самая большая группа растительного мира, насчитывающая примерно 540 семейств, около 13 000 родов, более 250 000 видов. Цветковые превосходят по численности все остальные группы растений. Произрастают они в самых разнообразных условиях всех климатических зон (от тропических лесов до тундры). В результате приспособления к разным условиям существования они обрели огромное многообразие по размерам, внешнему и внутреннему строению, продолжительности жизни, тем не менее для цветковых характерны общие черты, отличающие их от других отделов растений.

Первая основная особенность цветковых растений — наличие цветка. В цветке образуются и прорастают споры, формируются мужские и женские гаметофиты с гаметамы, происходит опыление, оплодотворение и развитие плодов с семенами. У цветковых гаметофиты еще больше упрощены, чем у голосеменных. Женский гаметофит с яйцеклеткой, например, состоит всего из семи клеток.

В отличие от голосеменных у цветковых гаметофиты формируются не в шишках, а в специальных элементах цветка — тычинках и пестиках. Пыльца у покрытосеменных, как и у голосеменных, переносится ветром, но у значительной части растений этот процесс осуществляется насекомыми и другими животными, а у водных растений — водой. В связи с этим у них сформировались различные приспособления для опыления.

Вторая особенность цветковых — их покрытосемянность. В отличие от голосеменных семязачатки у них образуются внутри пестика и защищены от неблагоприятных условий. После оплодотворения из семязачатка форми-

руется семя, а нижняя часть пестика превращается в плод. Таким образом, семена всегда скрыты внутри плода и хорошо защищены, что значительно повышает сохранение потомства.

Третья особенность цветковых — двойное оплодотворение. В оплодотворении участвуют два спермия: один сливается с яйцеклеткой с образованием зиготы, из которой развивается зародыш, а второй сливается с ядрами центральной клетки зародышевого мешка. После оплодотворения из такой клетки формируется эндосперм — питательная ткань. Таким образом, у покрытосеменных эндосперм образуется после оплодотворения (у голосеменных — до оплодотворения).

Четвертая особенность цветковых — сложность внутреннего строения. В древесине этих растений, вместо трахейд, имеются более совершенные проводящие элементы — *сосуды*. Прочность стеблю придает специализированная механическая ткань (волокна), которая расположена в коре и древесине. Отток сахаров от листьев во все органы происходит *по ситовидным трубкам*.

Эти особенности характерны для всех видов данной группы и отличают их от растений других групп. У многих цветковых формируются видоизмененные органы, благодаря которым растения переносят неблагоприятные условия.

Только среди цветковых есть однолетние растения, у которых весь цикл развития происходит в течение одного вегетационного сезона. Это является одним из приспособлений к суровым условиям обитания.

Для цветковых характерно большое разнообразие вегетативного размножения (с помощью вегетативных органов, в том числе и видоизмененных), которое способствует расселению растений и быстрому освоению новых территорий.

Среди цветковых есть листопадные и вечнозеленые растения, древесные, кустарниковые, кустарничковые и травянистые, с прямостоячими, выющими и ползучими стеблями, с мочковатой и стержневой корневыми системами. Размеры покрытосеменных растений колеблются от нескольких миллиметров, как у ряски, покрывающей поверхность прудов, до нескольких десятков метров, как у эвкалиптов.

Приведенные особенности цветковых растений позволяют сделать вывод о том, что в своей эволюции они ушли далеко вперед по сравнению с другими растениями. Все их эволюционные изменения направлены на обеспечение сохранения и распространения видов в разнообразных условиях окружающей среды, что и обусловило появление их огромного многообразия.

СТРОЕНИЕ РАСТЕНИЙ

Корень и его функции. Корневые системы

Корень — осевой вегетативный орган растения, который выполняет функции поглощения воды и минеральных веществ из почвы и закрепления растений в грунте. Это основные функции.

Кроме того, в корнях запасаются различные вещества. Это могут быть сахара, тогда корень сладкий (морковь, сахарная свекла, солодка), или другие вещества, чаще всего крахмал.

Корни могут получать питательные вещества от других организмов (например, от бактерий и грибов при симбиозе), т. е. через корни осуществляется взаимосвязь растений с другими организмами.

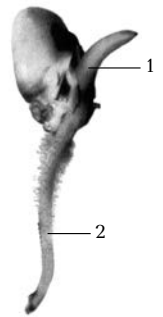


Рис. 8.28. Развитие корня при прорастании семени: 1 — стебель; 2 — корень

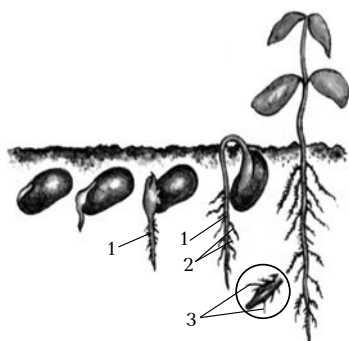


Рис. 8.29. Развитие корней у фасоли: 1 — главный корень; 2 — боковые корни; 3 — корневые волоски

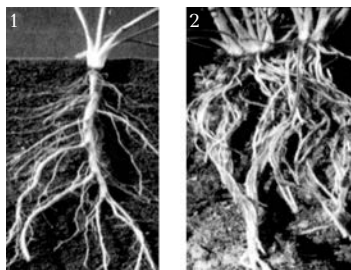


Рис. 8.30. Корневые системы: 1 — стержневая; 2 — мочковатая

У растений выделяют **главный** корень, который толще и длиннее других корней. Главный корень развивается из корешка зародыша семени и растет вертикально вниз (рис. 8.28), углубляется в почву и ветвится. На нем образуются **боковые** корни (рис. 8.29).

Корни могут возникать на стебле (кукуруза, томаты, картофель и др.) и листьях. Такие корни называются **придаточными**. На них также могут образовываться боковые корни.

Совокупность всех корней растения составляет **корневую систему**. Различают стержневую и мочковатую корневые системы.

Стержневая корневая система имеет хорошо выраженный главный корень (рис. 8.30). Такая корневая система характерна для двудольных растений: редьки дикой, клевера, одуванчика, петрушки, полыни и других растений. Длина главного корня различна: у капусты он проникает в почву на глубину до 1,5 м, у люцерны — до 10, а у верблюжьей колючки, обитающей в пустыне, он достигает 30 м.

Мочковатая корневая система образована придаточными корнями, которые отходят от нижней части стебля. Главный корень при этом или совсем не развивается или развивается слабо и по размерам и внешнему виду не отличается от других корней. Система придаточных корней характерна в основном для однодольных растений — пшеницы, ржи, ячменя и др.

У многих растений, для которых характерна стержневая корневая система, образуются и придаточные корни. Укоренение усов земляники, веток ивы, тополей, черенков комнатных растений происходит при помощи придаточных корней.

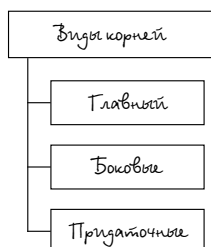
Чтобы вызвать дополнительный рост придаточных корней у картофеля, капусты, томатов, растения **окучивают**, т. е. подгребают к нижней части стебля рыхлую почву. Образование мощной системы придаточных корней способствует лучшему укреплению растения в почве и поглощению большего количества воды и растворенных в ней минеральных веществ.

Внешнее и внутреннее строение корня в связи с выполняемыми функциями

Внешнее строение корня. Корни большинства растений развиваются в почве, поэтому по внешнему виду не отличаются большим разнообразием. Чаще всего они имеют **цилиндрическую** (как у хрена) или **коническую** (как у одуванчика) форму. У многих растений корни имеют вид тонких нитей, их называют **нитевидными** (у ржи, пшеницы, лука, подорожника и т. д.). И главные, и боковые, и придаточные корни устроены одинаково. Все они могут ветвиться, на них никогда не образуются листья. Корни растут верхушкой, что обеспечивает их проникновение в почву.

Корни одних растений тянутся в глубь почвы, к запасам подземных вод, достигая в засушливых условиях длины 4—7 м, а иногда 30 м. Корни других растений тянутся вширь, располагаясь в толще самого плодородного верхнего слоя почвы.

Зоны корня. Верхушка корня защищена корневым чехликом — маленьким колпачком, образованным группой клеток. С его помощью корень раздвигает частички почвы (рис. 8.31). Стенки самых наружных клеток чехлика ослизняются, облегчая перемещение корня в почве. При этом наружные клетки постоянно слущиваются, а на смену им образуются новые.



Чехлик прикрывает мелкие живые клетки с крупными ядрами, которые представляют собой *верхушечную образовательную ткань* (верхушечную меристему). Клетки верхушечной меристемы составляют *зону деления*. Здесь клетки непрерывно делятся. Некоторые из образовавшихся клеток добавляются изнутри к корневому чехлику, благодаря чему происходит его постоянное обновление.

За зоной деления расположена *зона роста (растяжения)* длиной в несколько миллиметров. В этой зоне клетки растут, вытягиваются в длину. Корень таким образом продвигается в глубь почвы. В зоне роста клетки постепенно перестраиваются и превращаются в клетки других тканей — покровной, проводящей, механической и др.

За зоной роста находится *зона поглощения (всасывания)* — участок корня, покрытый корневыми волосками. Корневые волоски — это выросты клеток покровной ткани (ризодермы), через которые осуществляется всасывание воды и растворенных в ней минеральных веществ из почвы. Клетка корневого волоска имеет тонкую оболочку и содержит цитоплазму, ядро и вакуоль с клеточным соком (рис. 8.32). Более молодые короткие корневые волоски находятся ближе к кончику корня, более старые — они самые длинные и находятся дальше от кончика корня.

Живут корневые волоски недолго — обычно 10–20 дней. На смену отмершим волоскам в более молодой части корня развиваются новые волоски, и всасывающая зона все время перемещается в глубь почвы вместе с растущим корнем.

Выше зоны всасывания находится *зона проведения, или ветвления*. Это участок корня, выполняющий функцию транспорта растворов веществ и функцию опоры. В зоне проведения появляются боковые корни — здесь корень ветвится.

Для чего необходимо рыхлить почву? Клеткам корней для нормального функционирования нужна энергия. В клетках глюкоза окисляется до углекислого газа и воды, высвобождая энергию. Данный процесс идет с участием кислорода, поэтому для нормального роста корня в почве должно содержаться достаточное количество кислорода. Чтобы улучшить снабжение клеток корней кислородом, почву необходимо эпизодически рыхлить. В природных условиях эту работу выполняют почвенные животные — дождевые черви, роющие насекомые. В рыхлой, хорошо увлажненной и прогретой почве корни растут быстро, обильно ветвятся и образуют мощную корневую систему. При засухе, низкой температуре и недостатке кислорода рост корней замедляется.

Внутреннее строение корня. Строение корня хорошо приспособлено к выполняемым функциям. Снаружи молодой корень покрыт покровной тканью — ризодермой (рис. 8.33). В зоне поглощения ризодерма образует множество выростов — корневых волосков. К клеткам ризодермы примыкает кора, образованная крупными живыми тонкостенными клетками. Внутренний слой коры образован мертвыми клетками с толстыми, не пропускающими воду оболочками (эндодерма). Среди этого слоя клеток есть живые тонкостенные клетки — *пропускные*. Вода, поглощенная корневыми волосками, далее продвигается по клеткам коры и через пропускные клетки проникает в проводящую ткань ксилему, расположенную в центральной части корня. В состав ксилемы входят сосуды — вытянутые узкие трубки. Они образованы толстостенными мертвыми клетками, между которыми нет поперечных перегородок. По сосудам вода поднимается

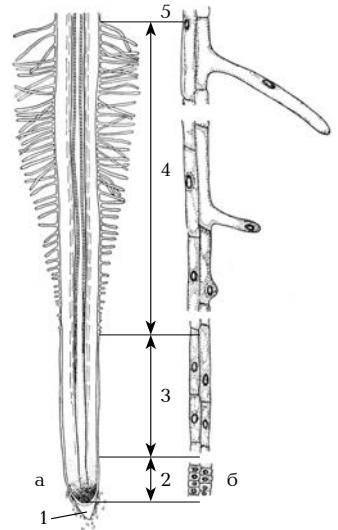


Рис. 8.31. Корень проростка пшеницы: а — схема строения корня; б — периферические клетки отдельных зон при большом увеличении: 1 — корневой чехлик; 2 — зона деления; 3 — зона растяжения; 4 — зона поглощения; 5 — зона проведения

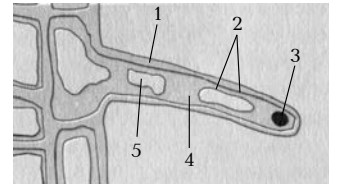


Рис. 8.32. Строение корневого волоска: 1 — клеточная оболочка; 2 — клеточные мембраны; 3 — ядро; 4 — цитоплазма; 5 — вакуоль

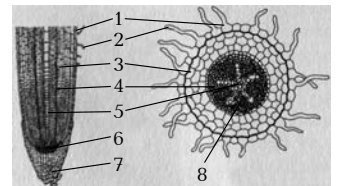
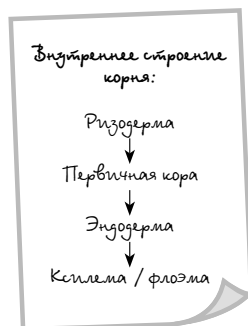


Рис. 8.33. Внутреннее строение корня: 1 — ризодерма; 2 — корневой волосок; 3 — кора; 4 — эндодерма; 5 — ксилема; 6 — образовательная ткань; 7 — корневой чехлик; 8 — флоэма



в стебель и расходится по всему растению. Рядом с ксилемой расположены клетки флоэмы, по которым в корень поступают органические вещества, образовавшиеся в листьях и молодых стеблях. Проводящие ткани образуют *центральный, или осевой, цилиндр*.

Прочность и упругость корня обеспечивает механическая ткань. Ее составляют вытянутые клетки с толстыми оболочками. Они рано отмирают и заполнены воздухом.

С возрастом между ксилемой и флоэмой возникает образовательная ткань — камбий. Благодаря делению клеток камбия образуются новые элементы ксилемы и флоэмы, механической ткани, что обеспечивает рост корня в толщину. Корень при этом приобретает дополнительные функции — опоры и запасающие питательных веществ.

Поглощение корнем воды. Из почвы вода поступает в корневые волоски осмотическим путем, проходя через их оболочки (рис. 8.34). При этом происходит наполнение клетки водой. Часть воды поступает в вакуоль и разбавляет клеточный сок. Таким образом, в соседних клетках создаются различные плотность и давление. В таких условиях клетка с более концентрированным вакуолярным соком берет часть воды из клетки с разбавленным вакуолярным соком. Разница в концентрации вакуолярного сока позволяет воде продвигаться от клетки к клетке внутрь корня. Кроме того, часть воды проходит по межклетникам, как по капиллярам между клетками коры. Достигнув эндодермы, вода устремляется через пропускные клетки в ксилему. Поскольку площадь поверхности пропускных клеток эндодермы намного меньше площади поверхности ризодермы корня, на входе в центральный цилиндр создается значительное давление, что позволяет воде проникать с определенным давлением в сосуды ксилемы. Это давление получило название *корневого*. Благодаря корневому давлению и испарению воды листьями вода не только поступает в центральный цилиндр, но и поднимается в стебель на значительную высоту.

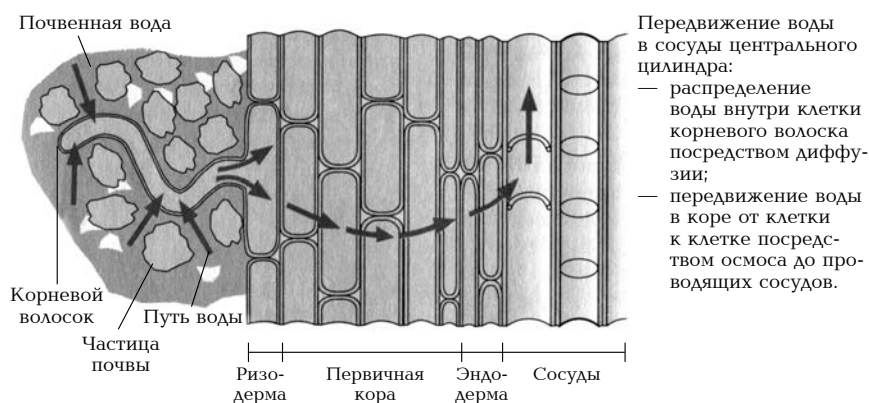


Рис. 8.34. Передвижение воды от корневого волоска до проводящего сосуда

Как вызвать образование боковых и придаточных корней? Каждый корень растет верхушкой за счет деления клеток меристемы. Если у главного корня молодого растения отрезать кончик, он перестает расти, на нем быстро образуются боковые корни, которые также растут своими кончиками. Неповрежденный корень начинает ветвиться позднее, и боковых корней на нем образуется меньше. Это явление используется для искусственного формирования корневой системы. При выращивании рассады овощных

и декоративных растений используется прием *пикировки* (рассаживание). При пересадке растений в грунт у них частично укорачивают главный корень. Удаление кончика главного корня и присыпка землей стебля вызывают усиленное образование боковых и придаточных корней.

Видоизменения корня

Если корни растений выполняют, кроме главных, другие функции или они формируются в несвойственных (нехарактерных) для них условиях, это приводит к их всевозможным изменениям. В таких случаях у растений наряду с обычными образуются *видоизмененные* корни: запасающие, дыхательные, ходульные, опорные, корни-прицепки и др.

Запасающие корни. При выполнении функции запасаения питательных веществ корни становятся толстыми, мясистыми и образуют *корнеплод*. Нижняя часть корнеплода по своему происхождению — это главный корень, верхняя — стебель (рис. 8.35). Корнеплоды образуются у двулетних растений. Запасные питательные вещества (крахмал, простые сахара) откладываются в главном корне к концу первого года жизни. На следующий год после перезимовки корнеплода эти вещества расходуются на образование и рост стебля, листьев и цветков. Корнеплоды образуются у многих овощных и кормовых растений: моркови, свеклы, репы, брюквы, редиса и т. д. У георгины, чистяка, ночной фиалки, батата запасающую функцию выполняют утолщенные боковые или придаточные корни (рис. 8.36). Их называют **корневыми шишками**, или **корневыми клубнями**.

Дыхательные корни. Они выполняют функцию дополнительного снабжения растения кислородом. Образуются такие корни, например, у ивы ломкой, если она произрастает по топким берегам рек. Они растут вертикально вверх, пока не достигнут поверхности почвы. По межклетникам дыхательных корней воздух перемещается в более глубокие корни, находящиеся в условиях недостатка кислорода. Дыхательные корни образуются также у некоторых тропических деревьев, например у авиценнии, произрастающих на заболоченных почвах (рис. 8.37).

Ходульные корни. У тропических растений морских побережий, образующих мангровые заросли (англ. *мангрове* — низкостовольные вечнозеленые леса затопляемых побережий тропических стран), вырастают мощные ветвистые ходульные корни, которые обеспечивают сопротивляемость растений прибойной волне. Растут они вниз, укрепляются в иле или песке и прочно удерживают растение. Во время отлива деревья возвышаются на корнях, как на ходулях. Такие корни характерны также для некоторых видов пальм, трав тропических лесов и даже для кукурузы. Наиболее развиты ходульные корни у фикуса бенгальского (баньяна). Они гирляндами свисают с ветвей, дорастают до земли, укореняются, утолщаются и становятся похожими на стволы. Благодаря таким корням-подпоркам крона фикуса сильно разрастается, покрывая площадь до 500 м². Одно растение фикуса образует целую рощу.

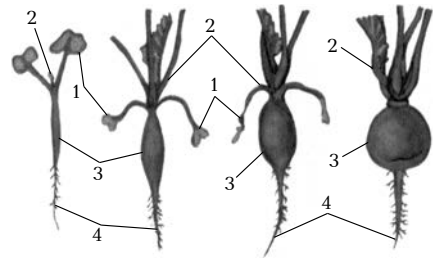


Рис. 8.35. Образование корнеплода свеклы: 1 — семядоли; 2 — верхушечная почка и розетка листьев; 3 — корнеплод; 4 — корневая часть

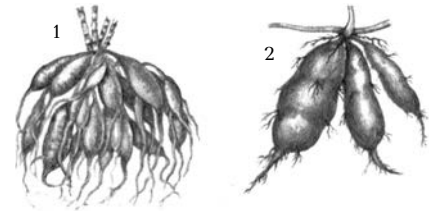


Рис. 8.36. Корневые клубни: 1 — георгина; 2 — батат

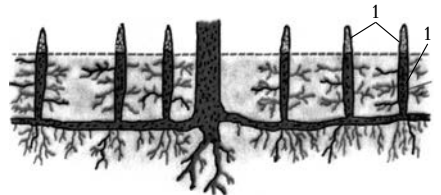


Рис. 8.37. Схема корневой системы авиценнии: 1 — дыхательные корни (пунктиром указан уровень грунта)

Опорные корни. Для наиболее крупных деревьев тропического леса характерны опорные досковидные корни. В отличие от ходульных опорные корни являются видоизмененными боковыми корнями. У поверхностно расположенных боковых корней развиваются плоские выросты, прилегающие к стволу. Слаборазвитые досковидные корни встречаются у некоторых деревьев умеренной зоны — тополя, вяза, бука.

У плюща придаточные корни видоизменяются в *прицепки*, с помощью которых стебель прикрепляется к отвесной опоре и поднимается по ней высоко над землей. Эта особенность позволяет использовать плющ для вертикального озеленения.

У тропических растений на стеблях часто развиваются шнуровидные придаточные *воздушные корни*, способные улавливать атмосферную влагу. Воздушные корни не контактируют с почвой. Они имеют особые клетки, которые во время дождя впитывают воду и могут долго ее хранить.

У некоторых растений (гладиолус, тюльпан, нарцисс и др.) образуются *сокращительные*, или *втягивающие*, корни, которые способны значительно сокращаться в продольном направлении. При этом они втягивают луковицы, клубни, нижнюю часть стебля глубже в почву и таким образом обеспечивают переживание ими холодного или засушливого периодов.

У растений, паразитирующих на других растениях и живущих за счет растения-хозяина, корни редуцируются (упрощаются по строению), и на стебле образуются небольшие *сосальца* (омела, повилика), при помощи которых растение-паразит высасывает питательные вещества из растения-хозяина.

Таким образом, корни могут видоизменяться и выполнять различные функции. Однако, как бы орган ни был видоизменен, его корневую природу всегда можно определить по отсутствию на нем листьев и наличию чехлика, прикрывающего верхушечную меристему.

Побег. Почка. Развитие побегов

Надземная часть растения представляет собой побег или систему побегов.

Побег — это стебель с расположенными на нем листьями и почками. Разнообразие побегов огромно: стебли бывают длинными и короткими, мясистыми, уплощенными, трубчатыми и т. д. Они могут располагаться вертикально, лежать, свисать, стелиться по земле, приподниматься над ней и т. д.

Место стебля, от которого отходит лист, называется *узелом*, а участки стебля между соседними узлами — *междоузлиями* (рис. 8.38). Угол между листом и стеблем называется *пазухой листа*.

Различают *удлиненные* и *укороченные* побеги. Удлиненные побеги имеют хорошо выраженные междоузлия. На укороченных побегах узлы сближены и междоузлия очень короткие. У плодовых деревьев (яблоня, груша, черешня и др.) укороченные побеги называют *плодушками*. Только на них образуются цветки и формируются плоды. Обычно побег заканчивается *верхушечной почкой*. Ниже по стеблю, в пазухах листьев, расположены *пазушные*, или *боковые*, *почки*. Пазушные почки могут размещаться на стебле *поочередно* (ива, липа, ольха, осина) или *супротивно* (бузина, клен, сирень, ясень).

Почка — это побег на ранней стадии развития, т. е. зачаточный побег. Почки различаются по внешнему виду (форме, окраске, размерам, опушению) и внутреннему строению.

По строению различают почки вегетативные и генеративные (цветочные). **Вегетативная почка** состоит из укороченного стебля и расположенных на нем зачаточных листьев (рис. 8.39). Листья сложены вдоль или свернуты

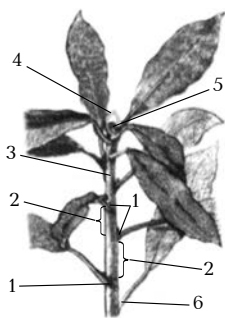


Рис. 8.38. Строение побега ивы: 1 — узел; 2 — междоузлие; 3 — почка; 4 — молодой лист; 5 — верхушка побега; 6 — пазуха листа

в трубочку. Иногда в пазухах листьев можно обнаружить крохотные зачаточные *пазушные почки*. Внутри почки на верхушке стебля находится *конус нарастания* (*верхушечная меристема*). Благодаря делению, росту и изменению его клеток растет стебель, образуются новые листья и почки.

В *генеративных (цветочных) почках* на стебле, кроме зачаточных листьев, находятся зачатки цветков или одного цветка (см. рис. 8.38). Это хорошо видно у бузины, каштана, сирени.

Генеративные почки многих древесных растений отличаются от вегетативных размерами и формой: они более крупные и нередко округлые.

В умеренных широтах в середине лета или осени, в тропиках с наступлением засушливого периода верхушечные и пазушные почки вступают в сезонный покой, который длится иногда несколько месяцев. В умеренных широтах такие почки называются *зимующими*, или *покоящимися*. Их наружные листья превращаются в плотные *кроющие почечные чешуи*, почти герметически закрывающие внутренние части почки.

Кроющие чешуи имеют различные приспособления, которые уменьшают испарение воды с поверхности внутренних частей почек, а также предохраняют их от вымерзания, склеивания птицами и т. д. Это слои кутикулы, железистые волоски. Иногда почечные чешуи пропитаны и склеены смолой, как, например, у тополя или березы. Они плотно прилегают друг к другу, края их сомкнуты, и почки оказываются надежно защищенными.

Почки некоторых кустарников и деревьев влажных тропиков, а также почки большинства видов травянистых растений не имеют защитных чешуй.

Развитие побегов. Весной почки деревьев и кустарников распускаются за счет запасов питательных веществ, отложенных в корне, стебле и боковых ветвях. Благодаря притоку воды почки набухают, т. е. увеличиваются в размерах. Почечные чешуи раздвигаются, и между ними появляются кончики зеленых листьев. Это происходит благодаря усиленному росту междоузлий. В почке листья расположены вплотную друг к другу, в результате на зачаточном стебле образуется множество узлов, междоузлия очень короткие. При разворачивании почки клетки стебля между узлами начинают быстро делиться и расти, а междоузлия быстро удлинняются. Одновременно происходит рост листьев (рис. 8.40).

Побег, развившийся из почки в течение лета, называют *годовичным побегом*.

При распускании почек почечные чешуи опадают, оставляя у основания почки *рубчики* в виде кольца (*почечное кольцо*), образующие границы годовичных приростов. По этим кольцам можно определить возраст побега.

Стебель

Стебель — это осевая часть побега растения, состоящая из узлов и междоузлий, которая несет на себе листья, почки, цветки и плоды. Стебель выполняет главным образом проводящую (по стеблю передвигаются из листьев к корням органические вещества, а из корней в листья — вода с растворенными в ней минеральными веществами) и опорную (стебель обеспечивает наиболее благоприятное для фотосинтеза расположение листьев) функции. Кроме того, в стеблях запасаются питательные вещества,

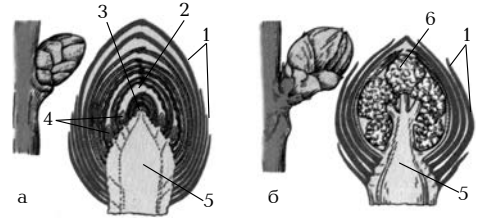


Рис. 8.39. Строение почки дуба (а) и бузины (б) — общий вид и продольный разрез: 1 — кроющие чешуи; 2 — зачаточные листья; 3 — конус нарастания; 4 — зачаточные пазушные почки; 5 — стебель; 6 — зачаточное соцветие



Рис. 8.40. Развитие побегов каштана конского обыкновенного из верхушечной и боковых почек

иногда вода (кактусы). Часто стебель является фотосинтезирующим органом (у большинства травянистых растений).

Разнообразие стеблей. Стебли одних растений прочные и самостоятельно удерживают листья и цветки в пространстве, другие обвивают опору или цепляются за нее. Опорой могут быть склоны, камни, другие растения или созданные человеком сооружения. Выющиеся и цепляющиеся растения не тратят вещества на создание прочного стебля.

Стебли растений очень разнообразны: у деревьев и кустарников они многолетние, древесные; у трав — отмирающие на зиму, травянистые.

По расположению в пространстве различают стебли прямостоячие (ель, сосна, береза, кукуруза, мятлик луговой и др.); лежащие: *стелющиеся* (горец птичий), *ползучие* (живучка ползучая, земляника лесная, тыква); *лазящие* (горошек мышиный); *вьющиеся* (хмель, фасоль многоцветная и др.) (рис. 8.41).

Прямостоячий стебель растет вертикально вверх и не нуждается в опоре. *Ползучие* стебли стелются по земле и укореняются в почве при помощи придаточных корней, *лазящие* — поднимаются вверх, цепляясь усиками или придаточными корнями за опору. *Вьющиеся* стебли выносят листья к свету, обвиваясь вокруг прямостоячих стеблей или искусственных опор. Растения с лазящими и вьющимися стеблями называются *лианами*.

Стебли травянистых растений живут один, реже два-три года; стебли древесных растений живут долго — от нескольких десятков до нескольких сотен и даже тысяч лет.

У деревьев главный стебель называется *стволом*. У кустарников главный стебель не выделяется, а образуются несколько одинаковой величины стеблей, которые называются **стволиками**.

Рост стебля. Стебель заканчивается верхушечной почкой. За счет деления и роста клеток конуса нарастания верхушечной почки осуществляется рост стебля в высоту. Такой рост называется *верхушечным*.

У некоторых растений сначала образуется укороченный стебель, несущий розетку листьев, а перед цветением вырастает безлистный стебель с соцветием — *стрелка* (первоцвет, одуванчик, подорожник). Стебель-стрелка растет основанием. Такой рост называется *вставочным*. Вставочный рост характерен также для стебля-соломины (пшеница, рожь, ячмень). Соломина растет благодаря делению и росту клеток оснований междоузлий.

Ветвление стебля. У большинства растений, кроме главного побега, имеются боковые. В основании конуса нарастания верхушечной почки образуются маленькие боковые бугорки, из которых возникают листья. В пазухах этих боковых бугорков образуются вторичные бугорки, которые дают начало боковым почкам (рис. 8.42).



Рис. 8.41. Расположение стеблей в пространстве: 1 — прямостоячий (мятлик луговой); 2 — стелющийся (арбуз); 3 — ползучий (клевер белый); 4 — вьющийся (фасоль многоцветная)

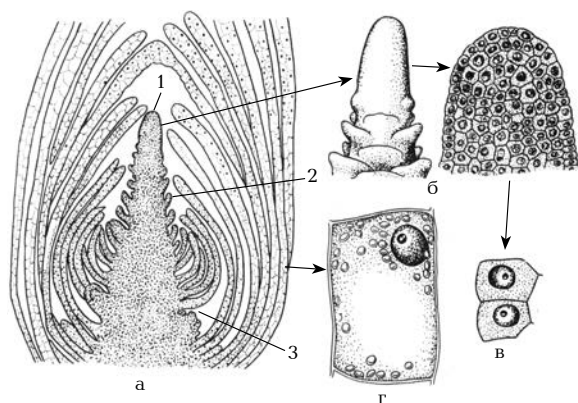


Рис. 8.42. Верхушечная почка побега злодеи: а — продольный разрез; б — конус нарастания (верхушечная меристема) (внешний вид и разрез); в — клетки первичной меристемы; г — клетка из сформировавшегося листа; 1 — конус нарастания; 2 — зачаток листа; 3 — бугорок пазушной почки

При разветвливании боковых почек образуются боковые побеги и происходит ветвление стебля. Ветвление определяет строение надземной части растения. За счет ветвления на растении увеличивается количество боковых побегов.

У деревьев главный стебель — ствол, который ветвится на некоторой высоте, образуя *крону*.

У березы, осины хорошо выражена главная ось — ствол дерева, от которого отходят боковые ветви. У большинства лиственных пород верхушечный рост ствола с течением времени ослабевает и главная ось теряется среди боковых ветвей. В результате у дерева образуется *раскидистая крона*. Боковые ветви имеют различные направления и интенсивность роста. От их расположения на стволе и в пространстве зависит внешний вид кроны.

Образование боковых ветвей можно ускорить, если обрезать верхушку главного побега.

Внутреннее строение стебля. Рост стебля в толщину. Стебель выполняет проводящую и опорную функции. Кроме того, в клетках стебля запасаются питательные вещества, необходимые для роста растения. Молодые стебли участвуют в фотосинтезе. Для выполнения этих важных функций в стебле хорошо развиты различные виды тканей. *Проводящие ткани* связывают стебель с корнями и листьями. Мощные *механические ткани* помогают стеблю удерживать огромную массу боковых ветвей и листьев, вынося их в условия наилучшего освещения.

Стебли в течение жизни подвергаются воздействию неблагоприятных условий окружающей среды — высоких и низких температур, потоков дождя, ветра, ударов частичек пыли, снега, града и т. п., поэтому в стебле хорошо развиты *покровные ткани*, которые выполняют защитную функцию.

В стебле есть и клетки *паренхимной ткани*, которые выполняют функцию запасаания питательных веществ, иногда воды или осуществляют фотосинтез.

Строение стебля липы. Познакомимся с расположением разных тканей в стебле на примере многолетней ветки липы. На поперечном срезе даже невооруженным глазом можно различить три слоя: кору, древесину и сердцевину (рис. 8.43). Снаружи расположена кора, в состав которой входят покровные, проводящие и механические ткани.

Под *эпидермисом*, который сохраняется, например, на ветке липы 3—4 года, находится буро-коричневая *пробка*. Клетки пробки расположены в несколько рядов. Их оболочки пропитаны веществом, которое не пропускает воду и воздух, поэтому живое содержимое клеток пробки отмирает. Пробка предохраняет живые ткани стебля от потери воды, влияния низких температур, проникновения микроорганизмов и т. д. Весной в пробке формируются *чечевички* — маленькие бугорки с отверстиями, через которые осуществляется газообмен. Осенью отверстия чечевичек закупориваются. С возрастом пробка и отмершие ткани между ее слоями образуют *корку* дерева. Под пробкой находятся живые клетки *основной ткани*.

Внутренний слой коры — *луб (флоэма)*. Луб состоит из *ситовидных трубок*, *лубяной паренхимы* и *лубяных волокон* (см. рис. 8.7). Ситовидные трубки проводят органические вещества из листьев в стебель и корень (нисходящий ток). Рядом с ситовидными трубками размещаются лубяные волокна — длинные клетки механической ткани. Они придают прочность и гибкость коре. Клетки паренхимы запасают питательные вещества.

Между корой и древесиной залегает слой боковой образовательной ткани — *камбия*, за счет деления клеток которого происходит нарастание стебля в толщину.

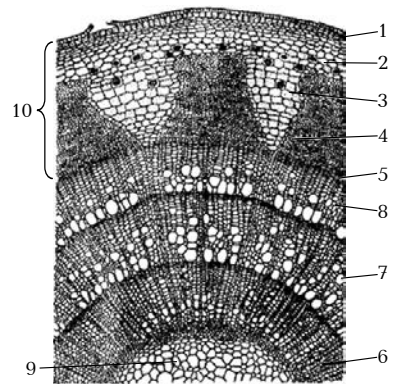


Рис. 8.43. Внутреннее строение трехлетней ветки липы: 1 — перидерма с остатками кожицы; 2 — паренхима первичной коры; 3 — первичный сердцевинный луч; 4 — луб; 5 — камбий; 6, 7, 8 — первый, второй и третий годовые приросты соответственно; 9 — сердцевина; 10 — вторичная кора



Под корой широким кольцом залегает твердая древесина (чем старше стебель, тем толще в нем слой древесины). Древесину (ксилему) в основном образуют отмершие клетки — сосуды, трахеиды и древесинные волокна (см. рис. 8.6). Сосуды стебля соединены с сосудами листьев и корня, и через них осуществляется транспорт воды и минеральных веществ из корня в стебель и листья (восходящий ток).

Древесинные волокна — длинные мертвые клетки механической ткани с заостренными концами и толстыми одревесневшими оболочками. Они придают древесине прочность.

Между сосудами и древесинными волокнами располагаются живые *паренхимные клетки*, по которым передвигаются вещества в горизонтальном направлении, а также откладываются в запас питательные вещества.

На долю древесины приходится около 80 % всего объема стебля. Столь большой объем древесины имеет первостепенное значение. Во-первых, для того чтобы обеспечить непрерывную фотосинтетическую работу огромного количества листьев, общая поверхность которых только на одном дереве липы может достигать нескольких гектаров, нужна мощная водопроводящая система, какой и является система сосудов и трахеид стебля древесного растения. Во-вторых, древесина, представленная сосудами с толстыми одревесневшими оболочками и элементами механической ткани, выполняет опорную функцию, т. е. поддерживает колоссальную тяжесть кроны дерева.

В центре стебля располагается мягкая сердцевина, в клетках которой откладываются запасные питательные вещества.

Рост стебля в толщину. Наибольшей толщины достигают стволы деревьев. Их утолщение происходит благодаря делению клеток камбия. Это четко выражено весной, когда начинается сокодвижение. Осенью и зимой клетки камбия не делятся. Из клеток, возникших в результате деления камбия весной, в древесине образуются сосуды с широкими просветами и относительно тонкими оболочками. В конце лета — начале осени в древесине формируются сосуды с узкими просветами и толстыми оболочками.

Все слои клеток древесины, которые образовались в течение одного вегетационного периода, называются *годовичным кольцом*.

Мелкие толстостенные осенние клетки отличаются от крупных тонкостенных весенних клеток следующего года, которые находятся рядом с ними, поэтому граница между каждым из годовичных колец на поперечном срезе стеблей деревьев хорошо различима.

По числу годовичных колец можно определить возраст дерева, а по их ширине — условия жизни в разные годы. В теплое и влажное лето образуются широкие годовичные кольца, во время засухи и холодов — узкие.

Особенности строения стеблей травянистых растений. У травянистых *двугольных растений* в основной ткани стебля кольцом расположены проводящие пучки, состоящие из флоэмы, камбия и ксилемы (рис. 8.44). Хорошо развиты кора и сердцевина. В клетках коры часто содержатся хлоропласты; такие стебли зеленые. В коре расположены клетки механической ткани, которые придают прочность стеблю. У многих травянистых растений (тыква, огурец) клетки сердцевинной разрушаются, и внутри стебля образуется воздухоносная полость.

Для стебля *однодольных растений* характерно расположение проводящих пучков по всей толще стебля без определенной закономерности и отсутствие сердцевин. Стебель однодольных практически не растет в толщину, так как проводящие пучки не имеют камбия. Центральная

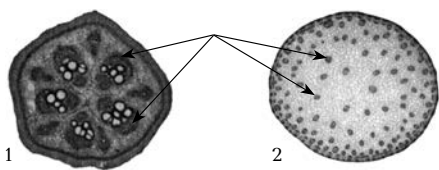


Рис. 8.44. Поперечный срез стебля двугольного (1) и однодольного (2) растения под микроскопом (стрелками показаны проводящие пучки)

часть стебля некоторых однодольных растений (пшеница, рожь, ячмень, кукуруза) разрушается, и образуется огромная воздухоносная полость. Такие стебли называются *соломиной*.

Лист

Лист — боковой плоский орган растения, который выполняет функции фотосинтеза, транспирации и газообмена. В клетках листа находятся хлоропласты с хлорофиллом, в которых на свету из воды и углекислого газа в результате фотосинтеза осуществляется образование органических веществ.

Вода для фотосинтеза поступает в листья из корня. Часть воды листьями испаряется, что предотвращает перегрев растений солнечными лучами, так как при испарении расходуется излишек тепла. Испарение воды листьями называется *транспирацией*.

Из воздуха листья поглощают углекислый газ, а выделяют кислород, образующийся при фотосинтезе. Ночью, когда фотосинтез не идет, листья поглощают кислород, а выделяют углекислый газ, образующийся при дыхании. Процесс обмена газами между растением и окружающей средой называется *газообменом*.

Внешнее строение листа. У большинства растений лист состоит из пластинки и черешка. *Листовая пластинка* — это расширенная пластинчатая часть листа, отсюда и ее название. Листовая пластинка выполняет основные функции листа. Внизу она переходит в *черешок* — суженную стеблевидную часть листа. При помощи черешка лист прикрепляется к стеблю. Листья, имеющие черешок, называют *черешковыми*. Черешок может менять свое положение в пространстве, а вместе с ним меняет положение и листовая пластинка, которая оказывается в условиях наиболее благоприятного освещения. В черешке проходят *проводящие пучки*, образованные из элементов проводящих и механических тканей. Проводящие пучки связывают сосуды стебля с сосудами листовой пластинки, придают черешку упругость. Благодаря этому листовая пластинка выдерживает удары капель дождя, града, порывов ветра.

У некоторых растений у основания черешка находятся *прилистники*, имеющие вид пленок, чешуек, маленьких листочков. Основная функция прилистников — защита молодых развивающихся листьев. Прилистники могут быть зелеными, и тогда они подобны листовой пластинке, но обычно гораздо меньших размеров. У гороха, чины луговой и многих других растений прилистники сохраняются в течение всей жизни листа и выполняют функцию фотосинтеза. У липы, березы, дуба пленчатые прилистники опадают в стадии молодого листа. У некоторых растений, например у акации белой, прилистники видоизменены в колючки и выполняют защитную функцию, охраняя растения от повреждений животными.

Существуют растения, листья которых не имеют черешков. Такие листья называются *сидячими*. Они прикрепляются к стеблю основанием листовой пластинки. Сидячие листья у алоэ, гвоздики, льна, традесканции. У некоторых растений (рожь, пшеница и др.) основание листа разрастается и охватывает стебель. Такое разросшееся основание называется *влагалищем* (рис. 8.45).

Разнообразие листьев. Листья разных видов растений различаются по внешнему виду и размерам, количеству листочков, наличию или отсутствию черешка и т. д. Листья с одной листовой пластинкой называются *простыми* (липа, осина, сирень, пшеница).

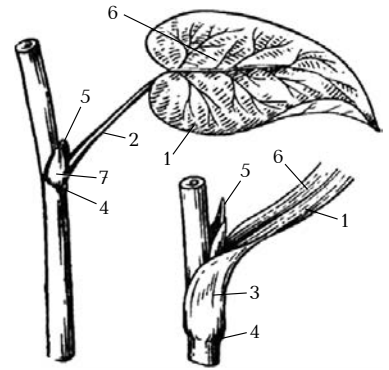


Рис. 8.45. Лист с черешком (слева) и сидячий с влагалищем (справа): 1 — листовая пластинка; 2 — черешок; 3 — влагалище; 4 — узел; 5 — пазушная почка; 6 — жилка; 7 — прилистник

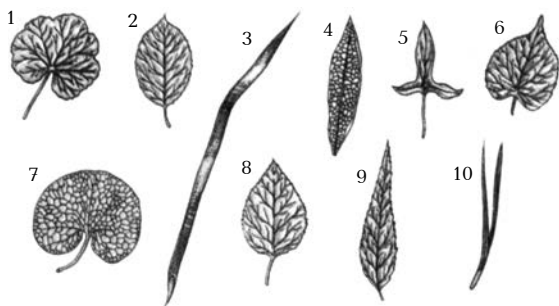


Рис. 8.46. Форма листовой пластинки: 1 — лист округлый; 2 — овальный, или эллипсовидный; 3 — линейный; 4 — продолговатый; 5 — копьевидный; 6 — сердцевидный; 7 — почковидный; 8 — яйцевидный; 9 — ланцетный; 10 — игловидный

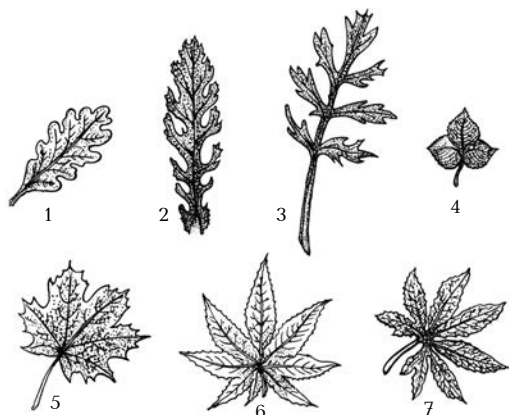


Рис. 8.47. Простые листья с расчлененной пластинкой: 1 — перистолопастный — у дуба черешчатого; 2 — перистораздельный — у крестовника Якова; 3 — перисторассеченный — у бедренца камнеломкового; 4 — тройчатолопастный — у печеночницы благородной; 5 — пальчатолопастный — у клена остролистного; 6 — пальчатораздельный — у клеверины; 7 — пальчаторассеченный — у лютика едкого

Форма листовых пластинок разнообразна. У осины, например, она округлая, у сирени и липы — сердцевидная, у пшеницы, ячменя — линейная и т. д. (рис. 8.46).

Листовые пластинки дуба и клена разделены вырезами на лопасти и называются *лопастными*. Листья одуванчика — *раздельные*, их вырезы более глубокие. Вырезы *рассеченных* листьев тысячелистника и полыни достигают центральной жилки (рис. 8.47). У рябины, каштана, акации желтой, земляники, клевера, люпина листья *сложные* (рис. 8.48). Они имеют несколько листовых пластинок, которые прикреплены к одному главному черешку маленькими черешками. Во время листопада сложные листья опадают не целиком: сначала осыпаются листочки, затем — черешки.

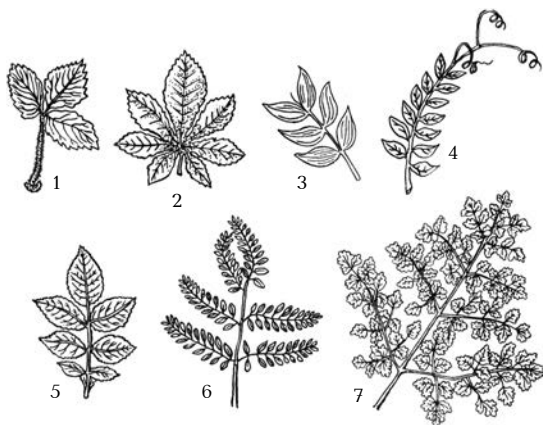


Рис. 8.48. Сложные листья: 1 — тройчато-сложный — у земляники лесной; 2 — пальчато-сложный — у каштана конского обыкновенного; 3, 4 — парноперисто-сложный — у чины весенней, горошка мышиного; 5 — непарноперисто-сложный — у розы собачьей; 6, 7 — многократноперисто-сложный — у мимозы, василистника водосборного

Жилкование листа. На нижней стороне листовой пластинки хорошо заметны жилки — проводящие пучки листа. Расположение в листьях проводящих пучков называется *жилкованием*. Жилки в листьях разных растений расположены не одинаково (рис. 8.49). У кукурузы, пшеницы они расположены параллельно одна другой. Такое жилкование называется *параллельным*, или *линейным*. У ландыша, подорожника жилкование *дуговое* — жилки по листу идут дугами. У березы, дуба, тополя жилки на листьях образуют сеть. При этом от крупной центральной жилки отходят боковые, которые также ветвятся. Такое жилкование называется *сетчатым*. Сетчатое жилкование может быть *перистым* (береза, дуб) и *пальчатым* (клен).

Листорасположение. Листья на стебле располагаются таким образом, чтобы избежать затенения одного другим. Чаще всего наблюдается *очеред-*

ное, или *спиральное*, листорасположение. При этом листья на стебле размещаются один за другим (ива, дуб, береза, злаки, голубика, колокольчик, яблоня, тополь). Если листья располагаются попарно, друг против друга, — это *супротивное* листорасположение (клен, сирень, молочай, жимолость, шалфей, мята, яснотка белая); если по три и более — *мутовчатое* (вербейник обыкновенный, подмаренник, вороний глаз, олеандр, элодея).

Движение листьев. У комнатных растений, которые стоят на подоконнике (например, пеларгония), все листовые пластинки обращены к свету. Если горшок с растением повернуть, черешки листьев через некоторое время изогнутся так, что листовые пластинки будут снова направлены к свету. Такое движение листьев объясняется тем, что затененная сторона листовых черешков растет быстрее, чем освещенная, поэтому листья поворачиваются к свету, а листовые пластинки при этом получают лучшее освещение.

Такое же явление можно наблюдать на опушке леса, где деревья и кустарники хорошо освещаются лишь с одной стороны. Здесь иногда образуется сплошная зеленая стена из ветвей и листьев.

На ветках дерева или кустарника листья расположены рядом и тесно примыкают друг к другу, причем мелкие листья занимают промежутки между крупными. Это достигается благодаря тому, что черешки листьев имеют разную длину. Такое размещение листьев называется *листовой мозаикой*. Листовая мозаика часто образуется у вяза, клена, липы, орешника и др. При таком расположении листья не заслоняют друг друга и получают больше света.

Внутреннее строение листа. Лист имеет *покровы*. Снаружи листовая пластинка покрыта эпидермисом (кожицей), который состоит из одного слоя живых клеток (рис. 8.50). Эти клетки плотно прилегают одна к другой и надежно защищают внутренние ткани листа. Сверху кожица может быть покрыта слоем воска или воскоподобного вещества — *кутина*, который также выполняет защитную функцию: препятствует проникновению в листья болезнетворных микроорганизмов, защищает от перегрева и излишнего испарения воды. Защитную роль выполняют и волоски, которые являются выростами клеток кожицы.

В клетках кожицы нет хлоропластов, поэтому они свободно пропускают свет к основной ткани листа.

У листьев, расположенных перпендикулярно солнечным лучам (береза, липа, мать-и-мачеха, брусника), строение кожицы верхней и нижней сторон несколько различается. В *нижнем эпидермисе* расположены устьица, через которые осуществляются газообмен и транспирация. В *верхнем эпидермисе* их меньше или вообще нет. Устьица — это изменяющиеся в размере щели между клетками эпидермиса. Они образованы двумя замыкающими клетками (рис. 8.51). Устьица открываются и закрываются в ответ на изменение освещения, влажности и температуры.

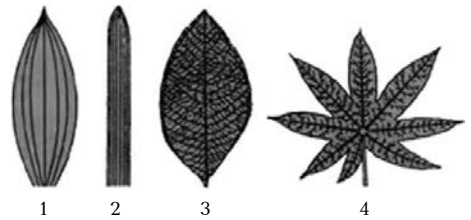


Рис. 8.49. Жилкование листьев: 1 — дуговое; 2 — параллельное; 3 — перистонервное; 4 — пальчатонервное

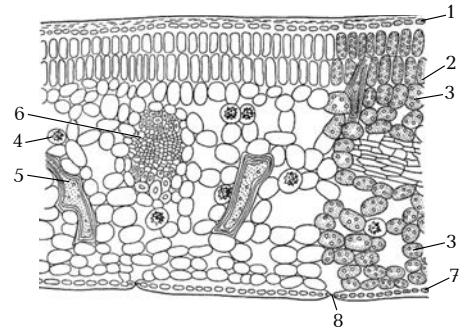


Рис. 8.50. Внутреннее строение листа камелии японской: 1 — верхний эпидермис; 2 — столбчатая паренхима; 3 — губчатая паренхима; 4 — клетка с друзой; 5 — склереида; 6 — проводящий пучок; 7 — нижний эпидермис; 8 — устьице

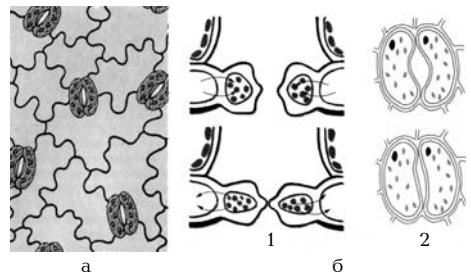


Рис. 8.51. Устьица: а — схематическое изображение; б — открывание и закрывание устьица (стрелками обозначен путь воды): 1 — поперечный разрез (вверху — расширение щели при высоком внутриклеточном давлении в замыкающих клетках; внизу — сужение щели при низком внутриклеточном давлении в замыкающих клетках); 2 — разрез через устьице в плоскости листа

У листьев же, расположенных ребром к свету (эвкалипт, ирис, осоки, некоторые злаки), обе поверхности листа освещаются одинаково и устьица имеются на обеих сторонах листа.

У плавающих листьев (кувшинки, кубышки) устьица расположены только на верхней стороне листа.

Таким образом, покровная ткань защищает лист от повреждений, пропускает свет, не дает растению засохнуть, но не препятствует испарению воды и движению газов.

Основная ткань листа. Под эпидермисом находится основная ткань листа. Эта ткань образует мякоть листа, в клетках которой происходит процесс фотосинтеза. Основная ткань листа представлена столбчатой и губчатой *паренхимой*. Клетки *столбчатой* паренхимы имеют удлинённую форму. Они расположены в два-три плотных слоя под верхним эпидермисом. В их цитоплазме находится много хлоропластов. В слое столбчатой паренхимы интенсивно идет процесс фотосинтеза.

Под столбчатой паренхимой находится *губчатая паренхима*, клетки которой имеют округлую или продолговатую форму и содержат меньше хлоропластов. Клетки здесь расположены рыхло, и между ними образуются крупные межклетники, заполненные воздухом. Губчатая ткань прилегает к нижнему эпидермису. Процесс фотосинтеза в губчатой паренхиме идет не так интенсивно, как в столбчатой, но здесь активно осуществляются транспирация и газообмен. В листьях, у которых обе стороны освещаются равномерно (рожь, пшеница, ирис, эвкалипт и др.), основная ткань, или мякоть листа, не дифференцируется на столбчатую и губчатую.

Необходимо отметить, что характер газообмена в листьях изменяется в зависимости от времени суток. В клетках листа одновременно происходят фотосинтез и дыхание. В процессе фотосинтеза выделяется кислород и образуются органические вещества, часть из которых направляется в стебель и остается в листьях, а часть используется на дыхание — окисление органических веществ с целью высвобождения энергии. Для этого используется кислород, выделяемый при фотосинтезе. Днем процесс фотосинтеза преобладает над дыханием, поэтому листья выделяют кислород в окружающую среду и потребляют из воздуха углекислый газ. Ночью фотосинтез не идет, но продолжает осуществляться процесс дыхания, поэтому в листья поступает кислород из воздуха, а воздух обогащается углекислым газом.

Проводящие и механические ткани. Обеспечение водой клеток, осуществляющих фотосинтез, и отток продуктов ассимиляции из листа идут по проводящим тканям — ксилеме и флоэме. Они образуют *систему проводящих пучков* (жилок), которые пронизывают основную ткань листа. В проводящих пучках флоэма обращена к нижней стороне пластинки листа, ксилема — к верхней. Проводящие пучки содержат также механическую ткань — волокна или отдельные клетки с утолщенными одревесневшими оболочками (см. рис. 8.50). Волокна укрепляют проводящие пучки и придают листу упругость.

Таким образом, мы видим, что внутреннее строение листа соответствует выполняемым им функциям. Пластинчатая форма листа обеспечивает большую поверхность улавливания солнечных лучей и углекислого газа, необходимых для образования органических веществ. Фотосинтез происходит в клетках мякоти основной ткани листа. К верхней стороне пластинки листа, на которую падают солнечные лучи, обращены клетки столбчатой ткани, богатые хлоропластами. Хлорофилл улавливает свет и направляет солнечную энергию на образование органического вещества. Необходимый для фотосинтеза углекислый газ поступает в клетки из воздуха, который циркулирует в межклетниках губчатой ткани. Сюда он попадает из внешней среды через устьица. Через устьица в окружающую среду выходит кислород,

который образуется в процессе фотосинтеза, и испаряется вода. Вода поступает по сосудам густой сети проводящих пучков. По ситовидным трубкам проводящих пучков из зеленых клеток ко всем тканям и органам растения поступают продукты фотосинтеза — растворы сахаров. Проводящие ткани листа связаны с проводящими тканями других органов, и вместе они образуют единую транспортную систему, по которой вода, минеральные соли и органические вещества передаются ко всем органам растения.

Чрезвычайно большое значение для растений имеет транспирация — испарение воды. Как вы уже знаете, при испарении происходит охлаждение растений. Кроме того, испарение способствует поднятию воды из корня в листья, т. е. поддерживает восходящий ток. Когда лист нагревается солнечными лучами, вода начинает испаряться с поверхности клеточных оболочек, ограничивающих межклетники. Мембрана клеток свободно пропускает воду, но непроницаема для растворенных веществ, находящихся в клетке. В результате концентрация веществ в этих клетках повышается, и они в свою очередь «отбирают» воду из других клеток, пока в конце концов «цепочка» не достигнет жилки. Сосуды жилки листа соединены с сосудами стебля. Из-за большой силы сцепления молекул воды друг с другом в растении существует непрерывный столб воды на всем протяжении стебля до самых корней. Таким образом вода из корней всасывается, продвигается по ксилеме и распределяется среди клеток листа, которые испаряют ее в атмосферу. Кроме того, подъем воды по сосудам обеспечивается и корневым давлением.

Листопад и его значение. Растения по наличию листьев в течение года делят на *вечнозеленые* и *листопадные*. Вечнозеленые растения покрыты листьями в течение всего года. Они растут в основном в тропиках — пальмы, фикус, маслина, лавр. В умеренных и холодных поясах вечнозеленые растения представлены хвойными — сосна, ель, пихта. К вечнозеленым относятся хорошо знакомые вам кустарнички: брусника, клюква, вереск. Под снегом зимуют листья копытня европейского, грушанок. У земляники, кислицы листья меняются весной и осенью, с зелеными листьями растения уходят в зиму. В сезонном изменяющемся климате вечнозеленость имеет особое биологическое значение: растение способно быстро возобновить фотосинтез, как только пригреет солнышко. На образование новых листьев растению не надо «тратить» время и энергию.

А вот кустарничек черника ежегодно сбрасывает листья, но стебли остаются зелеными весь год; процесс фотосинтеза в них возобновляется рано весной, еще до образования листьев, поэтому и ягоды созревают рано — в начале лета.

У листопадных растений листья какое-то время отсутствуют. Опадание листьев у деревьев и кустарников, реже — у трав, называется *листопадом*. Листопад является особым биологическим приспособлением растений к уменьшению испарения в неблагоприятные периоды года. У листопадных деревьев в определенный период года листья опадают почти одновременно. В умеренном климате растения сбрасывают листву перед наступлением зимы, в тропиках — перед засушливым периодом. Сигналом для листопада является уменьшение продолжительности светового дня.

Перед опадением листьев из них в стебель и другие органы оттекают органические вещества. В то же время в листьях накапливаются кристаллы минеральных солей, которые являются конечными продуктами обмена веществ; растения, сбрасывая листву, избавляются от них.

Опавшие листья утепляют на зиму корни растений, расположенные поверхностно. В подстилке из листьев дозревают семена многих древесных растений. Органические вещества, из которых состоят листья, со временем расщепляются бактериями и грибами до минеральных. Таким образом происходит естественное удобрение почвы.



Видоизмененные побеги

Наряду с типичными побегами, где листья осуществляют фотосинтез, а стебель обеспечивает наиболее целесообразное размещение листьев в пространстве и передвижение веществ, у растений часто развиваются видоизмененные побеги, что связано с выполнением ими других функций. Видоизмененные побеги могут выполнять функцию запасаания питательных веществ или воды, закрепления растения на опоре, обеспечивают перезимовку растений, защищают от поедания животными и т. д.

Видоизмененные побеги могут быть подземными и надземными. К подземным видоизмененным побегам относятся корневище, клубень, луковица и др. Они возникли в процессе длительного исторического развития растений как результат приспособления к неблагоприятным условиям зимы или засушливому периоду. «Уйдя» под землю, они накапливают питательные вещества в подземном побеге и продолжают свое дальнейшее развитие после окончания зимы или засухи.

Корневище — подземный видоизмененный долговечный побег многолетних трав (ландыш, ветреница, пырей и др.). Внешне корневище напоминает корень, но отличается от него рядом признаков (рис. 8.52).

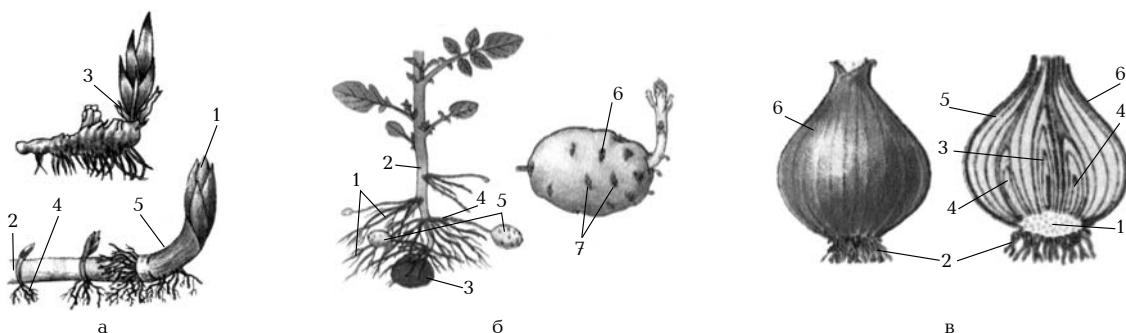


Рис. 8.52. Видоизмененные побеги: а — корневище (1 — верхушка; 2 — основание; 3 — пазушные почки; 4 — придаточные корни; 5 — чешуевидные листья); б — клубень (1 — корни; 2 — стебель; 3 — старый клубень; 4 — столоны; 5 — новые клубни; 6 — почки (глазки); 7 — бровки); в — луковица (1 — донце; 2 — придаточные корни; 3 — верхушечная почка; 4 — боковые почки; 5 — сочные чешуи; 6 — сухие пленочные чешуи)

Корневище, как правило, растет горизонтально, на нем имеются узлы с недоразвитыми листьями (или листовыми рубцами от рано опавших листьев) и междоузлия. В узлах на корневище развиваются придаточные корни. Молодая часть корневища заканчивается верхушечной почкой.

Клубень — это подземный видоизмененный побег с сильно утолщенным стеблем, в котором накапливаются запасные питательные вещества (крахмал, реже масла).

Клубни *стеблевого происхождения* встречаются редко, из культурных растений — у картофеля, земляной груши (топинамбура). Молодой клубень картофеля покрыт мелкими чешуевидными листочками. У более старых клубней на месте листьев остаются продолговатые листовые рубцы — *бровки*. Над бровками в небольших углублениях находятся пазушные почки — *глазки*.

В клубне легко различить основание и верхушку. На верхушке находится больше почек, при основании их меньше.

При посадке клубней часть почек развивается в зеленые побеги. Позднее из другой части почек образуются похожие на корневище подземные побеги — *столоны* — с молодыми клубнями на концах. В растущие клубни из зеленых побегов поступают органические вещества, откладывающиеся в основной ткани клубня.

Луковица — подземный укороченный побег с сочными чешуями, прикрепленными к короткому стеблю, называемому *донцем*. Чешуи — это видоизмененные листья. На верхушке донца располагается верхушечная почка, в пазухах сочных чешуй — боковые почки, дающие начало молодым луковицам-деткам. В сочных чешуях накапливаются запасные питательные вещества. Снаружи луковица у многих видов растений покрыта сухими чешуями, выполняющими защитную функцию. Луковицы образуются у многих луковичных растений (лук репчатый и медвежий, чеснок, тюльпаны, лилии и др.).

У некоторых растений развиваются надземные видоизмененные побеги. Видоизменению могут подвергаться как отдельные части побега (стебель, листья, почки), так и побеги в целом.

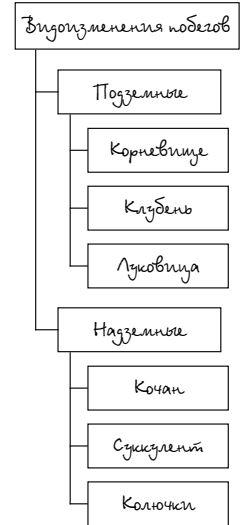
У капусты кольраби развивается съедобный мясистый запасующий стебель. Короткий и толстый, он поднимается над землей и несет несколько листьев. Обыкновенная, или кочанная, капуста находится с кольраби в близком родстве. Ее так называемый «кочан» состоит из короткого стебля с многочисленными перекрывающими друг друга листьями. *Кочан*, по существу, представляет собой крупную видоизмененную почку, т. е. зачаточный побег.

В засушливых районах, где растения испытывают недостаток влаги, основной функцией побегов является запасание воды. Растения с побегами, накапливающими воду, называют *суккулентами* (лат. *суккус* — сок, сочный). У суккулентов вода может запасаться в стеблях (стеблевые суккуленты) или в листьях (лиственные суккуленты). Стеблевыми суккулентами являются кактусы, молочаи. До 90 % стебля кактуса образовано крупными клетками водозапасающей ткани. К листовым суккулентам относятся алоэ, агавы, очитки, молодило.

Распространенными видоизменениями побегов или их частей являются *колючки*. У барбариса, кактусов в колючки превращаются *листья*, у белой акации — *прилистники*, у астрагалов — *черешок листа* после опадения листовой пластинки. У дикой яблони, дикой груши, боярышника в колючку превращается *стебель* некоторых боковых побегов.

У многих лазящих растений имеются *усики*. У гороха, например, в усики превращается верхняя часть сложного листа.

Наиболее интересные видоизменения листьев можно наблюдать у *насекомоядных* растений (росянка, пузырчатка, альдрованда, непентес). Эти растения способны улавливать и частично переваривать насекомых. Так они восполняют недостаток питательных веществ в почве, прежде всего соединений азота. Для ловли насекомых у них имеются особые листья-ловушки — ловчие аппараты.



РАЗМНОЖЕНИЕ ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Вегетативное размножение растений. Вегетативное размножение часто встречается в природе и используется в практике сельского хозяйства. Различают естественное и искусственное вегетативное размножение.

Естественное вегетативное размножение происходит в природных условиях без вмешательства человека. Наиболее часто встречается вегетативное размножение видоизмененными побегами: ползучими побегами, корневищами, клубнями, луковицами, а также корневыми отпрысками, отломившимися ветками, листьями.

Ползучими побегами размножается земляника, гусиная лапка, клевер, клюква, лютик ползучий и др. У земляники, например, формируются ползу-

Вегетативное размножение растений:

- 1) ползучими побегами;
- 2) корневищами;
- 3) луковицами;
- 4) клубнями;
- 5) корневыми отпрысками;
- 6) выводковыми почками;
- 7) отломившимися ветками

чие побеги с тонкими стеблями и недоразвитыми листьями — «усы». Ползучие побеги заканчиваются верхушечной почкой, из которой образуется укороченный побег. От стебля укороченного побега отрастают придаточные корни. На укороченном побеге снова формируются «усы» и т. д. К осени междоузлия ползучих побегов высыхают и отмирают, а укороченные побеги, перезимовав под снегом, начинают жить как самостоятельные растения, не связанные с материнским.

Корневищами размножаются пырей, ландыш, купена; *клубнями* — картофель, у которого они образуются на концах подземных побегов-столонов; *луковицами* — лук, тюльпаны, у которых из боковых почек материнской луковицы образуются легко отделяющиеся дочерние луковицы (детки).

Размножение *корневыми отпрысками* характерно для вишни, сливы, осины, сирени, малины, выюнка полевого, иван-чая, бодяка полевого. У них на корнях, особенно поврежденных, развиваются почки. Побеги, развившиеся из этих почек, называют корневыми, а сами растения — *корнеотпрысками*. Между растениями корни отмирают, и каждое из них развивается самостоятельно.

Некоторые растения размножаются *отломившимися ветками* (ивы, тополя).

Размножение *листьями* происходит реже. Оно встречается, например, у сердечника лугового. На влажной почве у основания отломившегося листа развивается придаточная почка, из которой вырастает новое растение.

Некоторые растения (каланхоэ) размножаются *выводковыми почками*, которые возникают в большом количестве на листьях. Почки дают маленькую (2—3 листа) розетку с 1—2 придаточными корешками и опадают. Из них развиваются новые растения.

Искусственное вегетативное размножение — это размножение растений человеком вегетативными органами. Люди прежде всего используют те способы, которые существуют в природе. Землянику размножают при помощи усов, картофель — клубнями, кустарники — делением куста, георгины — корневыми клубнями, тюльпаны — луковицами, гладиолусы — клубнелуковицами.

Ученые разработали и способы, которые в природе не существуют (культура тканей, прививка) или встречаются очень редко (черенкование).

При *размножении черенками* отделяют и укореняют часть материнского растения. Черенком (не путать с черешком!) называют часть любого вегетативного органа — побега (стебля, листа), корня. На черенке обычно уже есть почки, или они при благоприятных условиях могут возникнуть. Из черенка вырастает новое растение.

Зелеными облиственными побеговыми черенками размножают многие комнатные растения — традесканцию, пеларгонию, колеус. *Безлистными черенками* (участок молодого стебля с несколькими почками) размножают крыжовник, смородину, тополь, иву и другие растения.

Листовыми черенками размножают бегонию, гloxсину, узамбарскую фиалку, сансевиеру (щучий хвост). Для этого отдельный лист сажают в сырой песок, прикрыв черенок стеклянным колпаком, или ставят в воду.

Корневыми черенками размножают малину.

Отводки применяют при размножении крыжовника, смородины, липы. При этом нижние ветви пригибают к земле, прижимают их деревянными шпильками и присыпают землей. Рекомендуется на нижней стороне пригибаемой ветви делать надрезы. После образования придаточных корней ветку-отводок отрезают от материнского растения и пересаживают.

Прививки. У яблонь, груш и других плодовых растений при выращивании из семян не сохраняются ценные качества исходного растения, и они стано-

вятся дичками, поэтому растения размножают путем прививок. Растение, на котором прививают, называют *подвоем*, а растение, которое прививают, — *привоем*. Различают *прививку глазком* (рис. 8.53) и *прививку черенком*. Прививку глазком проводят следующим образом. Весной во время сокодвижения на коре подвоя делают Т-образный надрез, уголки коры отгибают и вставляют под нее глазок — почку, срезанную с привоя с небольшим участком коры и древесины. Кору подвоя прижимают, рану забинтовывают (обычно мочалом). Часть подвоя, расположенную выше привоя, удаляют.

Прививки черенком делают разными способами: *вприклад* (камбий на камбий), *врасщеп*, *под кору* (рис. 8.54). При всех способах важно соблюсти основное условие: камбий привоя и камбий подвоя должны совпадать. Только в этом случае произойдет срастание. Как и при прививке почкой, рану забинтовывают. Места тщательно выполненной прививки быстро срастаются.

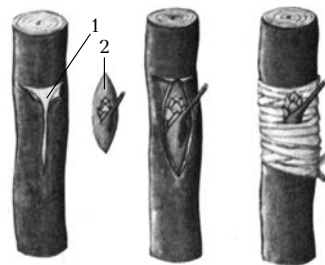


Рис. 8.53. Прививка глазком: 1 — Т-образный надрез коры; 2 — почка с частью коры

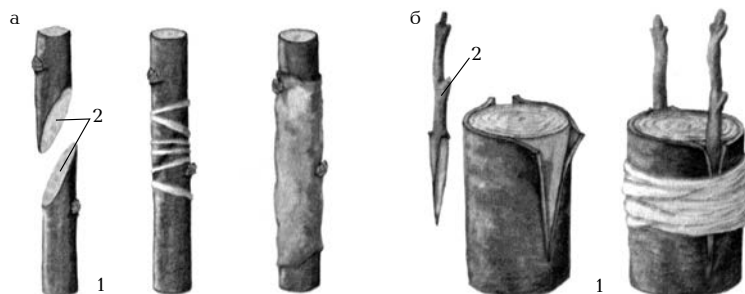


Рис. 8.54. Прививка черенком (а — вприклад; б — под кору): 1 — подвой; 2 — привой

В последние 20—30 лет получил развитие такой способ вегетативного размножения, как *культура тканей*. Сущность метода заключается в том, что из кусочка образовательной (или другой) ткани или даже из одной клетки на питательной среде при тщательном соблюдении условий освещения и температуры выращивают целое растение. При этом важно не допустить поражения растения микроорганизмами. Ценность метода в том, что, не дожидаясь образования семян, можно получить большое количество растений.

Вегетативное размножение растений широко используется в практике и имеет огромное биологическое и хозяйственное значение. При таком размножении новое поколение имеет все качества материнского организма, что позволяет сохранять сорта растений с ценными признаками, поэтому многие плодовые культуры размножаются только вегетативно. Кроме того, при размножении ценных сортов растений прививками новое растение сразу имеет мощную корневую систему, которая хорошо обеспечивает молодые растения водой и минеральными веществами, и растения оказываются более конкурентоспособными по сравнению с проростками, появившимися из семян.

Вегетативное размножение способствует довольно быстрому расселению растений и «захвату» новых территорий, обеспечивает расширение занимаемой ими площади. Однако у этого способа есть и недостатки: при многократном повторении вегетативного размножения происходит «старение» исходного растения, что снижает его устойчивость к неблагоприятным условиям среды и болезням.

Искусственное
вегетативное
размножение:

- зелеными облиственными стеблевыми черенками;
- безлиственными стеблевыми черенками;
- листовыми черенками;
- корневыми черенками;
- отводками;
- прививками

Цветок: его строение и функции. Соцветия

У всех цветковых растений, как и у голосеменных, формируются семена. Органом, в котором образуются семена, является цветок. *Цветок* — это видоизмененный укороченный побег, приспособленный для образования спор, гамет, для опыления, оплодотворения, формирования плодов и семян.

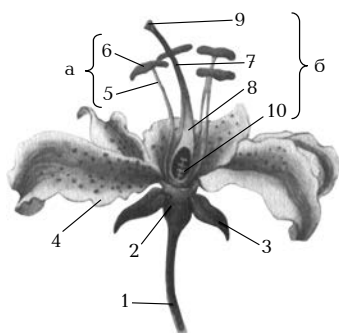


Рис. 8.55. Строение цветка: 1 — цветоножка; 2 — цветоложе; 3 — чашелистик; 4 — лепесток; а — тычинка; 5 — тычиночная нить; 6 — пыльник; б — пестик; 7 — столбик; 8 — завязь; 9 — рыльце; 10 — семязачаток

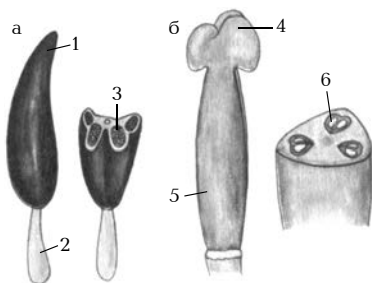
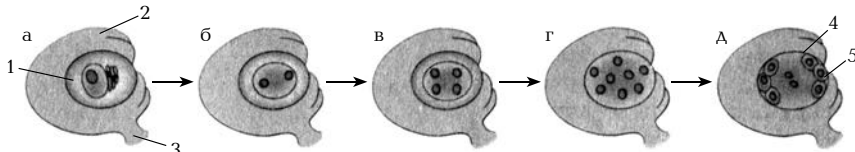


Рис. 8.56. Строение тычинки (а) и пестика (б) цветка: 1 — пыльник; 2 — тычиночная нить; 3 — пыльца; 4 — рыльце; 5 — завязь; 6 — семязачаток

Рис. 8.57. Прорастание мегаспоры и образование женского гаметофита: а — семязачаток; б—г — этапы прорастания мегаспоры и формирования женского гаметофита с яйцеклеткой; 1 — мегаспора; 2 — покровы семязачатка; 3 — семяножка; 4 — женский гаметофит; 5 — яйцеклетка



Строение цветка (рис. 8.55). Ось цветка называют *цветоножкой*, верхнюю расширенную ее часть, к которой прикрепляются все другие элементы цветка, — *цветоложем*. Наружными элементами у цветка являются похожие на настоящие листья *чашелистики*. Совокупность чашелистиков — это *чашечка*. Внутри чашечки расположен *венчик* цветка, образованный *лепестками*. И чашелистики, и лепестки могут быть *свободными* (яблоня, вишня, груша) или *сросшимися* (колокольчик, тыква, огурец, картофель, клевер). Чашечку и венчик вместе называют *околоцветником*. Он выполняет *двойную* функцию: защищает тычинки и пестики — самые важные элементы цветка — от неблагоприятных условий и выполняет «рекламную» роль: будучи часто ярко окрашенным, он привлекает насекомых-опылителей. Околоцветник называют *двойным*, если он состоит из чашечки и венчика (яблоня, груша, белая акация, колокольчик, картофель), и *простым*, если представлен только венчиком (тюльпан, ландыш, лилия) или только чашечкой (свекла, конопля, крапива).

К центру от околоцветника расположены *тычинки*, количество которых может достигать нескольких сотен. Каждая тычинка состоит из тычиночной нити и пыльника, в котором формируется пыльца (пыльцевые зерна) (рис. 8.56). Пыльник состоит из половинок. Каждая из них несет два (реже одно) гнезда, которые называются *пыльцевыми мешками*. Пыльцевые мешки являются *микроспорангиями*, в которых формируются *микроспоры*. Таким образом, взрослые растения представляют собой *спорофиты*, на которых формируются споры. При делении *микроспор* образуются *пыльцевые зерна*, представляющие собой мужской гаметофит с мужскими гаметами — *спермиями*.

В центре цветка находится *пестик*, который обычно состоит из завязи, столбика и рыльца. В завязи формируются *семязачатки*, которые являются *мегаспорангиями*. В них происходит образование *мегаспор*. Одна из мегаспор развивается в женский гаметофит с женской гаметой — *яйцеклеткой* (рис. 8.57). Женский гаметофит у покрытосеменных еще более редуцирован, чем у голосеменных, и представлен обычно семью клетками. Однако он развивается под защитой семязачатка и стенок завязи, поэтому надежно защищен от воздействия неблагоприятных условий среды обитания.

Если у цветка есть пестики и тычинки, он называется *обоеполым*. В таком цветке формируются женские и мужские гаметы (яблоня, груша, роза, тюльпан, лилия). Некоторые цветки имеют только пестики (их называют *пестичными*, или *женскими*) или только тычинки (их называют *тычиночными*, или *мужскими*).

Если женские и мужские цветки размещаются на одном растении, такие растения называются *однодомными* (тыква, огурец, кукуруза), если на разных растениях — *двудомными* (тополь, ива, облепиха, конопля, клен американский).

Если в цветке можно провести одну плоскость симметрии (горох, шалфей, клевер, акация белая, фиалка), его называют *неправильным*, если несколько (тюльпан, колокольчик, вишня, яблоня, тыква) — *правильным*.

Ботаническое описание растений — процесс сложный. Для его упрощения при описании цветков было принято использовать формулы, в которых элементы цветка обозначают начальными буквами названий: Ч — чашечка, Л — лепестки, Р — простой околоцветник, Т — тычинки, П — пестик. Справа внизу около каждой буквы ставят цифру, указывающую количество элементов, а слева перед буквами — значок симметрии цветка и отношение к полу. Правильный (симметричный) цветок обозначается звездочкой (*), неправильный (с одной плоскостью симметрии) — стрелкой (↑); обоеполый цветок обозначается значком (♂), мужской — ♂, женский — ♀. Например, формула цветка яблони выглядит так: $\ast \frac{\text{♂}}{\text{♀}} \text{Ч}_5 \text{Л}_{(5)} \text{Т}_{(5)} \text{П}_{(5)}$, что означает: цветок правильный, обоеполый, с двойным околоцветником, в котором по 5 чашелистиков и лепестков, тычинок много (знак бесконечности), пестиков 5 сросшихся. Формула цветка акации белой: $\uparrow \text{Ч}_{(5)} \text{Л}_{(2)+2+1} \text{Т}_{(9)+1} \text{П}_1$, т.е. неправильный обоеполый цветок, с двойным околоцветником, в котором чашелистики срослись все, в венчике срослись 2 лепестка, а 3 — свободные, тычинок 10, из них сросшихся 9, и 1 пестик.

На растении цветки могут размещаться одиночно, как, например, у тюльпанов, пионов, роз. Чаще же они располагаются группами. Такие группы цветков называют *соцветиями* (рис. 8.58).

Соцветия могут иметь одну ось, на которой на цветоножках или без них располагаются отдельные цветки. Такие соцветия называются *простыми*. У других соцветий от главной оси могут отходить оси второго порядка (боковые), на которых в свою очередь расположены в определенном порядке не отдельные цветки, а простые соцветия. Это *сложные* соцветия.

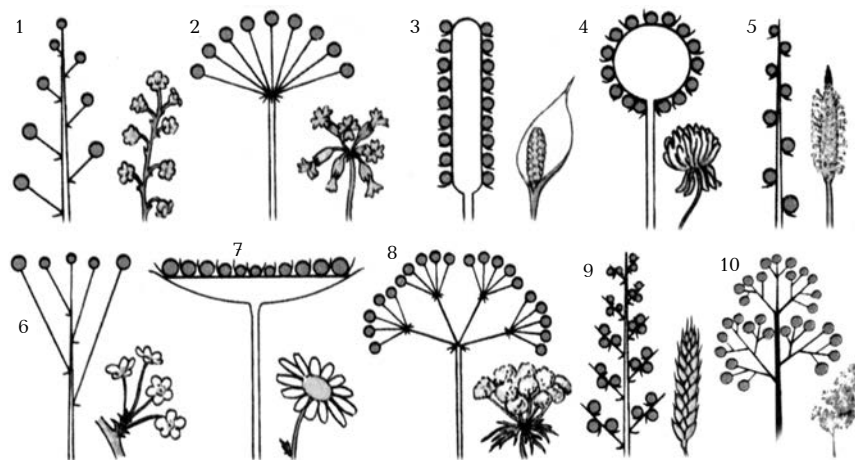


Рис. 8.58. Основные виды соцветий (схемы): 1 — кисть; 2 — зонтик; 3 — початок; 4 — головка; 5 — колос; 6 — щиток; 7 — корзинка; 8 — сложный зонтик; 9 — сложный колос; 10 — сложная кисть

В природе встречаются различные типы соцветий. Наиболее распространены следующие простые соцветия:

кисть — соцветие, в котором цветки на цветоножках располагаются на оси в очередном порядке (акация белая, черемуха, ландыш, пастушья сумка, люпин, донник);

простой колос — сидячие цветки (без цветоножек) расположены на длинной оси (подорожник, ятрышник);

початок — сидячие цветки расположены на сильно утолщенной и мясистой оси (кукуруза);

корзинка — сидячие цветки расположены на утолщенном, блюдцевидном расширенном цветоложе (подсолнечник, одуванчик, мать-и-мачеха, календула, ромашка, астра). Снаружи вся совокупность цветков окружена зелеными листочками — оберткой;

головка — цветки на коротких цветоножках расположены на укороченной утолщенной оси (клевер);

простой зонтик — цветоножки одинаковой длины и отходят от общей оси как бы из одной точки (вишня, примула);

щиток — в отличие от кисти нижние цветоножки длиннее верхних, вследствие чего цветки расположены почти в одной плоскости (груша, пузыреплодник калинолистный).

Сложные соцветия по общему плану строения сходны с простыми соцветиями и носят одноименные с ними названия:

сложная кисть, или *метелка* (вероника, овес, мятлик);

сложный зонтик (укроп, морковь, петрушка, борщевик);

сложный колос (рожь, пшеница, пырей).

Количество цветков в соцветии может быть разным. Размер их также разнообразен — от нескольких сантиметров до нескольких метров в длину, как у некоторых пальм. Среди наших растений длинные соцветия имеют коровяк, аир, полынь.

Биологическое значение соцветий состоит в том, что мелкие цветки в группе более заметны и опылители быстро их находят. Это повышает гарантию опыления; кроме того, опыление происходит более продуктивно. Неодновременное распускание цветков в соцветиях удлиняет общий период цветения, таким образом снижая негативное влияние погодных условий (дожди, заморозки) на опыление растений.

Опыление цветковых растений

Всем известно, что, если во время цветения садов идут дожди, а значит, не летают пчелы, урожая не будет. Почему? Причина простая: не было условий для опыления. Такой же результат можно получить у растений с раздельнополыми цветками, если во время цветения женские (пестичные) цветки закрыть марлевыми мешочками. Таким образом, образованию плодов у цветковых растений предшествует *опыление* — перенос пыльцевых зерен (пыльцы) с тычинок на рыльца пестиков.

Различают самоопыление и перекрестное опыление. При *самоопылении* пыльцевые зерна попадают на рыльце пестика того же цветка.

Перенос пыльцы с тычинок одного цветка на рыльца пестиков других называется *перекрестным опылением*. Перекрестное опыление может осуществляться *насекомыми* (яблоня, слива, вишня, мак, тюльпан), *ветром* (осока, пырей, райграс, ольха, орешник, дуб, береза), *птицами* (эвкалипт, акация, фуксия, алоэ и др.) и *водой* (водные растения, например элодея, валлиснерия).

Перекрестное
опыление:

- ветром;
- насекомыми;
- птицами;
- водой

В процессе длительной эволюции растения приспособились к вполне определенным видам опыления, что обеспечило их выживание. У насекомоопыляемых растений образуется много пыльцы (она служит питанием для многих насекомых), поверхность пыльцевых зерен липкая или шероховатая (для лучшего прикрепления к насекомым), околоцветник крупный и яркий у одиночных цветков, мелкие же цветки, как правило, собраны в соцветия. У многих растений (клевер, тыква) функцию привлечения насекомых и птиц выполняет нектар (жидкость с большим содержанием сахаров), выделяемый нектарниками. Многие цветки выделяют большое количество эфирных масел и своим запахом привлекают насекомых (акация, розы, некоторые виды лилий, ландыш, черемуха и др.). Перелетая с цветка на цветок для сбора нектара и пыльцы, насекомые, естественно, непроизвольно переносят пыльцу с одного цветка на другой.

Ветроопыляемые растения, наоборот, имеют простые цветки — околоцветник у них отсутствует или плохо развит и не препятствует движению ветра, тычинки длинные, свисающие. Пыльцы образуется много, она мелкая, невесомая и легко переносится ветром. Вспомните, когда «пылит» лещина (орешник), ольха. Еще снег в лесу полностью не сошел, а лещина уже цветет.

Самоопыление в биологическом отношении менее «выгодно», так как будущее растение, развивающееся после слияния гамет, повторяет материнское. В то же время процесс самоопыления не зависит от погодных условий и посредников, а значит, оно осуществляется при любых условиях, часто даже в нераспустившихся цветках, и гарантированно обеспечивает появление нового потомства.

Насекомоопыляемые цветки:

- крупные;
- с ярко окрашенным венчиком;
- выделяют сладкий нектар;
- ароматны;
- мелкие цветки собраны в соцветия

Оплодотворение у цветковых растений

Вы уже знаете, что половые клетки (гаметы) формируются в пыльцевых зернах (спермии) и в семязачатках (яйцеклетки).

Пыльцевые зерна, или пыльца, представляют собой мелкие (до 0,5 мм в диаметре), разнообразные по форме зернышки. На их поверхности есть бугорки, выступы, что позволяет им удерживаться на рыльце пестика (рис. 8.59). Каждое пыльцевое зерно под оболочкой имеет две клетки: *большую (вегетативную)* и *маленькую (генеративную)*.

При опылении пыльцевое зерно попадает на рыльце пестика, которое удерживает его благодаря своему опушению или выделяющейся клейкой жидкости. Попадая на рыльце пестика, пыльцевое зерно набухает и прорастает, т. е. вегетативная клетка начинает вытягиваться в пыльцевую трубку в направлении завязи, проникая между клетками столбика (рис. 8.60). К этому времени в семязачатке формируется зародышевый мешок — женский гаметофит с яйцеклеткой. Он представляет собой мешковидную структуру, состоящую из семи клеток. Центральная клетка зародышевого мешка содержит два ядра, все остальные — по одному. Покровы на верхушке семязачатка не срываются и образуют пыльцевход. В зародышевом мешке, ближе к пыльцевходу, находится яйцеклетка.

По мере продвижения пыльцевой трубки по столбику пестика генеративная клетка делится с образованием двух спермиев. Когда трубка проникает через пыльцевход, ее содержимое попадает в зародышевый мешок. При этом один спермий сливается с яйцеклеткой и образуется зигота. Из зиготы в результате многократных делений будет развиваться зародыш нового растения.

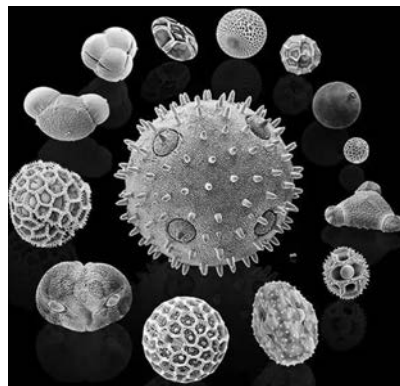


Рис. 8.59. Пыльцевые зерна разных видов растений под электронным микроскопом

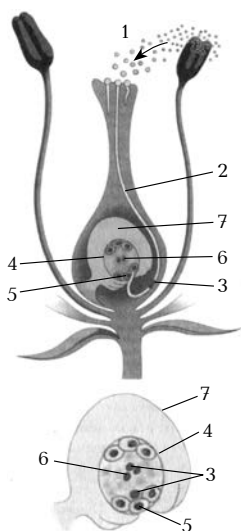


Рис. 8.60. Двойное оплодотворение у цветковых растений: 1 — пыльца; 2 — пыльцевая трубка; 3 — спермии; 4 — зародышевый мешок; 5 — яйцеклетка; 6 — центральная клетка с двумя ядрами; 7 — семязачаток

Второй спермий сливается с двуядерной центральной клеткой, в результате чего образуется триплоидная клетка, из которой формируется *эндосперм* — запасная питательная ткань.

За счет питательных веществ эндосперма развивается зародыш нового растения. Оплодотворение, в котором участвуют два спермия, называют *двойным*. Оно открыто в 1898 г. русским ученым С. Г. Навashiным. Двойное оплодотворение характерно только для цветковых растений.

Формирующийся организм цветковых растений надежно защищен внутри семязачатка и обеспечен питательными веществами, поэтому его развитие осуществляется относительно независимо от условий окружающей среды.

Какова же судьба цветка после двойного оплодотворения? Из семязачатка развивается *семя*, при этом покровы семязачатка превращаются в семенную кожуру. Из центральной клетки, как уже было сказано, после оплодотворения образуется *эндосперм*, а из зиготы развивается *зародыш*. Таким образом, семя представляет собой новое миниатюрное растение, снабженное запасом питательных веществ и защищенное семенной кожурой. Так как из одного семязачатка развивается одно семя, то можно сказать, что в завязи было столько семязачатков, сколько семян внутри плода. Однако это бывает не всегда, так как не во всех семязачатках происходит оплодотворение и не все они превращаются в семена.

Из стенок завязи после оплодотворения развивается *околоплодник*, который вместе с семенами образует *плод*. Околоплодник надежно защищает семена от воздействия неблагоприятных условий окружающей среды. Тычинки, лепестки, чашелистики обычно сохнут и опадают.

Плоды

Строение плода. Общее строение плодов растений однотипное.

Снаружи расположен околоплодник, т. е. разросшиеся стенки завязи пестика, под которым находятся семена. Таким образом, плод состоит из околоплодника и семян.

Плод характерен только для цветковых растений. Это многоклеточный орган, формирующийся из завязи пестика после двойного оплодотворения.

Возникновение плодов в процессе эволюции растений имело огромное биологическое значение, так как в отличие от голосеменных растений у цветковых семена оказались защищенными от неблагоприятных воздействий внешней среды. Следовательно, возросла гарантия появления новых особей. Кроме того, плоды обеспечивают распространение семян птицами, млекопитающими, ветром, водой и т. д.

Классификация плодов. Плоды очень разнообразны по внешнему виду, строению околоплодника, способам вскрывания, количеству семян.

По консистенции околоплодника плоды делятся на сухие и сочные. Если околоплодник к моменту созревания подсыхает и не содержит запаса питательных веществ, плод называется *сухим* (рис. 8.61). Если к моменту созревания околоплодник содержит много запасных питательных веществ и воды, плоды относятся к *сочным*.

Сухие плоды делятся на вскрывающиеся и нескрывающиеся. *Вскрывающиеся* плоды растрескиваются по одному или нескольким швам, и семена выбрасываются во внешнюю среду (горох, акация белая, мак, белена, дурман). *Нескрывающиеся* плоды сохраняют свою целостность (желудь дуба, орех лещины, семечка подсолнечника).

В зависимости от количества семян внутри плода различают плоды *односемянные* (зерновки у злаков, семечки у подсолнечника, орех у орешника, желудь у дуба) и *многосемянные* (бобы гороха, коробочки мака, тыква кабачка).

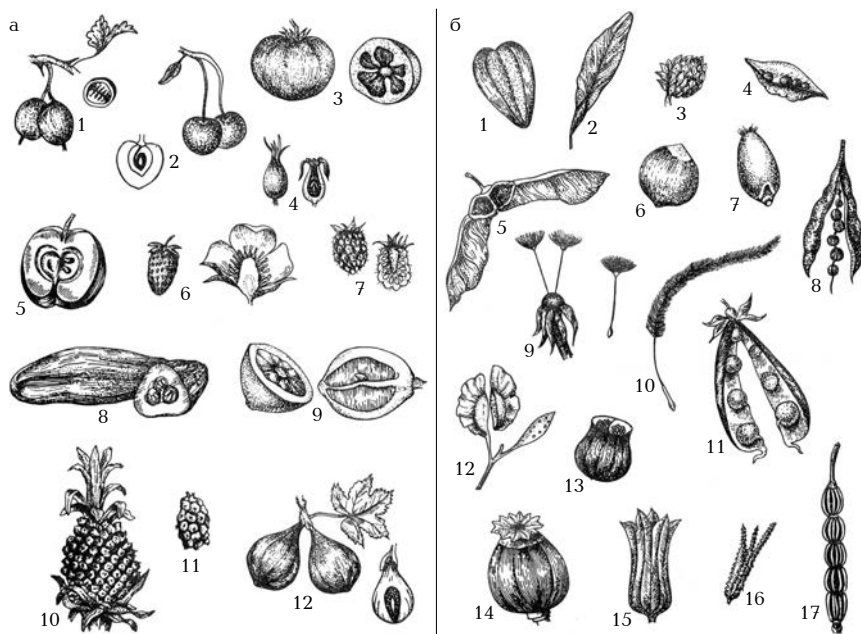


Рис. 8.61. Плоды: *а* — сочные плоды: 1 — ягода (у крыжовника обыкновенного); 2 — костянка (у вишни); 3 — ягода (у томата); 4 — циноргий — сборный орешек (у шиповника); 5 — яблоко (у яблони домашней); 6 — фрага — сборный орешек (у земляники лесной); 7 — сборная костянка (у малины); 8 — тыква (у огурца полевного); 9 — померанец (у лимона); 10, 11, 12 — соплодие (соответственно у ананаса, шелковицы и инжира); 10, 11, 12 — сухие плоды: 1 — семянка (у подсолнечника); 2 — крылатка (у ясеня обыкновенного); 3 — сборный орешек (у лютика); 4 — листовка (у живокоста полевой); 5 — двукрылатка (у клена остролистного); 6 — орех (у лещины обыкновенной); 7 — зерновка (у пшеницы); 8 — стручок (у капусты); 9 — семянка с хохолком (у одуванчика); 10 — самозарывающаяся зерновка с летучкой (у ковыля); 11 — боб (у гороха посевного); 12 — стручок (у ярутки полевой); 13, 14 — коробочки (соответственно у белены черной и мака); 15 — сборная листовка (у водосбора обыкновенного); 16 — семянка с прицепками (у череды трехраздельной); 17 — членистый стручок (у редьки дикой)

В природе наиболее часто можно встретить следующие типы сочных и сухих плодов.

Костянка — сочный односемянный плод, у которого внутренний слой околоплодника деревянистый и образует косточку, внутри которой расположено семя. Наружный слой околоплодника — кожица, средний — сочная мякоть (вишня, слива, абрикос, черемуха, алыча).

Ягода — сочный многосемянный плод, у которого, в отличие от костянки, нет деревянистого слоя, семена располагаются в сочной мякоти (помидор, картофель, виноград, смородина, черника).

Яблоко — сочный многосемянный плод (яблоня, груша, рябина). В образовании плода участвуют, кроме завязи, и другие элементы цветка (цветоложе, околоцветник).

Зерновка — сухой односемянный невскрывающийся плод с тонким околоплодником, сросшимся с кожурой семени (рожь, пшеница, кукуруза, рис).

Семянка — сухой односемянный невскрывающийся плод с кожистым околоплодником, не срастающимся с кожурой семени (подсолнечник, одуванчик, мать-и-мачеха).

Орех — сухой односемянный невскрывающийся плод с деревянистым околоплодником (орешник, липа, дуб).

Боб — сухой многосемянный вскрывающийся плод, в котором семена прикреплены к стенкам плода (горох, фасоль, люпин, акации белая и желтая).

Стручок — сухой многосемянный вскрывающийся плод, у которого семена крепятся к перегородке, разделяющей плод на две части (капуста, редька, репа, пастушья сумка).

Коробочка — сухой многосемянный вскрывающийся или невскрывающийся плод, который нельзя отнести ни к одному из указанных выше (мак, белена, дурман, каштан конский).

Каждый плод образуется из одного пестика, а у некоторых растений в цветке пестиков много (ежевика, малина, земляника). В этом случае

формируются **сборные** плоды, состоящие из нескольких плодиков. Например, у малины, ежевики плод — *сборная костянка*. У земляники мелкие плоды орешки вдавлены в разросшееся мясистое цветоложе.

Распространение плодов. У цветковых растений в процессе их исторического развития сформировались различные приспособления для распространения семян и плодов и расселения растений.

У многих растений плоды и семена распространяются *ветром*. Они небольшие по величине, легкие, часто снабжены крылышками (береза, вяз, ясень, клен). У бодяка, одуванчика семянки имеют пушистые «парашютики», при помощи которых они переносятся ветром на большие расстояния. *Парашютики* — это видоизмененные чашелистики.

Плоды некоторых растений распространяются *водой* (ольха, кирказон, а также плоды осоки, которые имеют мешочки, заполненные воздухом). Плоды кокосовой пальмы переносятся морскими течениями на тысячи километров и, будучи вынесенными на песчаный берег, прорастают.

Плоды многих растений распространяются *животными*. При этом у одних растений плоды (преимущественно сухие) имеют *прицепки*, крючочки, при помощи которых они прикрепляются к шерсти животных (лопух, череда, липучка). Плоды других растений имеют богатый различными веществами околоплодник. Животные поедают их, а семена, пройдя через пищеварительный тракт, выводятся с испражнениями. Тяжелые плоды (орехи, желуди), которые опадают с дерева и лежат под кроной, распространяют кабаны, белки, мыши, бурундуки. Животные, делая запасы на зиму, часто о них забывают, и семена прорастают.

Семена некоторых растений способны к *самораспространению*. Созревшие плоды растрескиваются, и створки околоплодника, раскручиваясь, отбрасывают семена на некоторое расстояние от материнского растения (желтая акация, недотрога).

Особая роль в распространении плодов и семян принадлежит **человеку**. Семена ценных растений он завозит в новые районы выращивания. Так, из Америки в Европу были завезены кукуруза, табак, подсолнечник. Семена сорных растений заносятся человеком с транспортом, фуражом. Так, например, во Францию был занесен лопух вместе с овсом, которым кормили лошадей в российской коннице. Из Европы в Америку занесен подорожник, который индейцы называют «след белого человека», поскольку он появился в местах поселения европейцев.

Семена и проростки

Строение семян

Семя — это зародышевое растение, снабженное запасом питательных веществ и защищенное семенной кожурой. После созревания на материнском растении и до прорастания семя находится в покое. У покоящегося семени все процессы обмена веществ замедлены. При наступлении благоприятных условий семя пробуждается и прорастает. Преждевременное прорастание семян чревато гибелью зародыша. У семян, проросших поздней осенью или в оттепель, зародыш погибает. Чтобы пережить неблагоприятные условия и обеспечить рост органов после начала прорастания, семя должно быть защищено от бактерий, грибов и животных и снабжено запасом питательных веществ. В семенах запасаются углеводы (чаще всего крахмал), белки и жиры. Средством защиты семени является прочная семенная кожура и различные вещества: с резким запахом, вкусом и ядовитые.

Распространение плодов и семян:

- ветер;
- вода;
- птицы;
- млекопитающие;
- муравьи;
- человек;
- саморазбрасывание

Химический состав семян:

- органические вещества;
- минеральные соли;
- вода

Строение семян двудольных растений (рис. 8.62). Главное в семени — зародыш. Он состоит из зародышевого побега и зародышевого корешка. Зародышевый побег имеет два толстых листа, называемых семядолями. Между семядолями находится зародышевый стебелек, постепенно переходящий в зародышевый корешок. На верхушке стебелька находится почечка с хорошо заметными зачаточными листочками. Таким образом, зародыш — это миниатюрное растение, которое имеет все органы взрослого растения: корень, стебель, листья. Цветковые растения, зародыш которых имеет две семядоли, называют *двудольными* (картофель, томат, морковь, огурец, яблоня, вишня, дуб и многие другие).

Снаружи семя покрыто блестящей толстой семенной кожурой, которая развивается из покровов семязачатка. На вогнутой стороне семени хорошо заметно пятнышко, или *рубчик*, — место прикрепления семяножки, которая соединяет семязачаток со стенкой завязи. Рядом с рубчиком есть маленькое отверстие — *пыльцевход*. При намачивании семян через него внутрь семени проникает вода.

В семенах содержится запас питательных веществ. Одни растения запасают питательные вещества в семядолях, например у фасоли, гороха, бобов. У других растений питательные вещества запасаются в эндосперме (сирень, мак, липа, перец сладкий). У ясеня питательные вещества находятся в семени как в семядолях, так и в эндосперме.

В зависимости от соотношения питательных веществ в семенах различают растения: *крахмалистые* (пшеница, рис, рожь, кукуруза), *масличные* (рапс, лен, конопля, подсолнечник, орех грецкий), *белковые* (бобы, горох, соя, фасоль, чечевица, люпин). В ходе прорастания семян питательные вещества расходуются на рост и развитие проростка.

Строение семян однодольных растений. Нетрудно догадаться, что важнейшим отличием однодольных растений от двудольных является наличие в зародыше всего *одной семядоли*. К однодольным растениям относятся лук, чеснок, лилия, ландыш, тюльпан, ирис, овес, рис, кукуруза, пшеница, рожь и др. Рассмотрим строение зерновки пшеницы (рис. 8.63). Вам уже известно, что *зерновка не семя, а плод, у которого околоплодник плотно срастается с кожурой семени*. В верхней части зерновки есть хохолок из волосков. На продольном разрезе зерновки видно, что ее большую часть занимает эндосперм — питательная ткань, клетки которой содержат крахмал, белки, жиры. Зародыш очень маленький, и рассмотреть его можно только в лупу. Он имеет стебелек, корешок и почечку, но семядоля у него одна. Видоизмененная семядоля зародыша — щиток — не содержит питательных веществ и отделяет зародыш от эндосперма. Когда семя начинает прорастать, сложные органические вещества (например, крахмал) превращаются в более простые и через щиток поступают в зародыш.

Не у всех однодольных растений семена устроены одинаково. Например, у стрелолиста, частухи подорожниковой семена не имеют эндосперма, и запасные питательные вещества сосредоточены в зародыше. У лука, ландыша эндосперм есть, но он расположен вокруг зародыша.

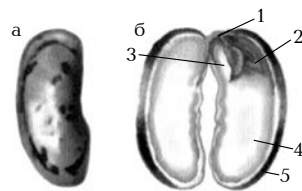


Рис. 8.62. Строение семени фасоли: а — внешний вид; б — семя в разрезе: 1 — стебелек; 2 — почечка; 3 — корешок; 4 — семядоли; 5 — семенная кожура

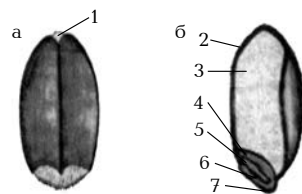


Рис. 8.63. Строение зерновки пшеницы: а — внешний вид; б — зерновка в разрезе: 1 — хохолок; 2 — околоплодник, сросшийся с семенной кожурой; 3 — эндосперм; 4 — семядоля; 5 — почечка; 6 — стебелек; 7 — корешок

Прорастание семян

Образование семян — важнейшее условие существования цветковых растений. Однако, чтобы из зародыша выросло новое растение, требуются определенные условия. Для прорастания семян необходимы *вода, кислород и тепло*.

Условия
прорастания семян:

- тепло;
- вода;
- кислород

На прорастание семян влияют температурные условия. Семенам одних видов растений для прорастания нужно мало тепла, другим — много. Например, семена ржи, пшеницы, гороха, льна, редиса прорастают даже в холодной почве, а семена огурцов, тыквы, томатов — только в теплой. Эти особенности учитываются при определении сроков посева семян.

В сухой почве семена не прорастают даже в тепле — кожура должна размокнуть до того, как начнется прорастание. Вода необходима семенам для набухания и процессов превращения сложных веществ в более простые. Последние в растворенном виде поступают в зародыш.

Для обмена веществ любой клетке необходим кислород, поэтому, даже находясь в теплой почве с достаточным количеством влаги, без доступа воздуха семена не прорастут, а если и прорастут, то погибнут.

Таким образом, перед посевом почву нужно рыхлить, что способствует обогащению почвы воздухом, а значит, и кислородом, а также замачивать семена и высевать их в определенные сроки, когда воздух и почва прогреются до определенной температуры.

Однако даже в благоприятных условиях семена прорастают только тогда, когда зародыш живой. Если зародыш погиб (вредители, неблагоприятные условия и т. д.), значит, семена утратили всхожесть и не прорастут.

Семена многих растений могут не прорасти в течение длительного времени — находиться в состоянии покоя несколько лет. Для того чтобы заставить их пробудиться, растениеводы перед проращиванием прибегают к определенным приемам: царапают семенную кожуру, ошпаривают семена горячей водой, смачивают кислотой, выдерживают при повышенной или пониженной температуре, на свету или в темноте. Существуют растения, семена которых способны прорасти сразу же после созревания, еще на материнском растении. Таковы, например, рожь, пшеница. Именно по этой причине в дождливый год часто собирают некачественный урожай с проросшими семенами. Такое зерно невозможно заложить на хранение и из него нельзя получить муку высокого качества, пригодную для выпечки хлеба.

Семенам растений в странах с холодным климатом нужно провести в холоде длительный срок, чтобы стать способными прорасти в теплой и сырой почве. Этот период называется *периодом покоя*. Если бы семена таких растений проросли сразу после созревания или после кратковременного охлаждения, то проростки могли бы оказаться в неблагоприятных зимних условиях и погибнуть. Тепло после долгой зимы — сигнал к началу роста зародыша.

У семян некоторых растений формируется недоразвитый зародыш, состоящий из нескольких клеток (например, у лилий и др.). Такие семена должны естественным путем дозреть уже после отделения от материнского организма. Из-за этого семена данных растений нельзя высевать в первую весну после сбора, так как они не способны к прорастанию.

Пробудившиеся семена впитывают влагу и набухают. Семенная кожура лопается, и наружу выходит зародышевый корешок. Он быстро растет и укрепляется в почве, всасывает из нее воду и минеральные вещества, запас которых в семени невелик. Затем начинает расти зародышевый стебелек, который выносит из почвы семядоли и почечку (рис. 8.64). Клетки верхушки стебелька все время делятся. Значительная часть образовавшихся таким образом новых клеток увеличивается в размере и превращается в клетки постоянных тканей, и по большей части делиться уже не может.

Из почечки развивается надземный стебель с настоящими листьями. Такое прорастание называется *надземным*. У некоторых

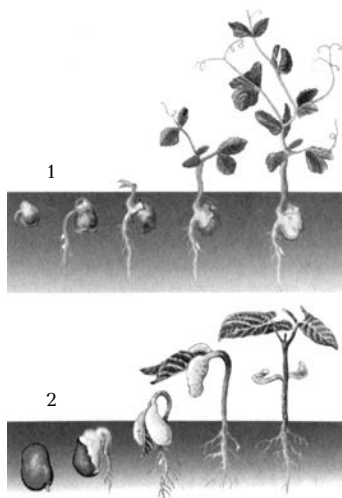


Рис. 8.64. Прорастание семян и развитие проростков: 1 — гороха; 2 — фасоли

растений семядоли на поверхность почвы не выносятся (например, у гороха); это *подземное* прорастание.

Молодое растение, развивающееся из семени, называется *проростком*. Таким образом, в ходе прорастания семян наблюдается развитие растений.

Зародыш, находясь в семени, потребляет мало питательных веществ. При прорастании все процессы жизнедеятельности усиливаются, сложные вещества начинают превращаться в более простые. Если разжевать сухую и проросшую зерновку пшеницы, можно заметить, что проросшая имеет сладковатый вкус. Это объясняется тем, что при прорастании под действием специальных веществ — ферментов — крахмал расщепляется до простых сахаров и поступает в зародыш (ведь крахмал в воде нерастворим!). Такое же явление происходит во рту, если вы пожуете подольше кусочек черного хлеба. Но, как мы отмечали, в семени содержится небольшой запас воды и питательных веществ, поэтому первым из семени появляется корень, чтобы обеспечить растение водой и минеральными веществами. Как только покажутся зеленые листочки, в них сразу начинает происходить фотосинтез — процесс создания органических веществ на свету. С этого момента рост и развитие нового растения уже не зависят от веществ семени.

Итак, при прорастании семени главную роль выполняет зародыш — он должен быть живым. Именно поэтому перед посевом семена проверяют на всхожесть. *Всхожесть* — это отношение количества проросших семян к количеству высеванных, выражающееся в процентах. Семена с низкой всхожестью для посева не рекомендуют. С учетом всхожести устанавливают и *нормы высева* семян различных растений на один гектар: чем выше всхожесть, тем меньше норма высева.

Посев семян

Хранение и подготовка семян к посеву. Изученный материал о составе и строении семян, условиях их прорастания имеет большое значение для ведения хозяйства: хранения семян, подготовки их к посеву, посева и ухода за всходами.

Хранить семена необходимо в сухих холодных помещениях после просушивания их до влажности не более 13 %. Такие условия хранения позволяют резко снизить процессы жизнедеятельности семян и продлить сроки их хранения.

Перед посевом необходимо определить всхожесть семян и с учетом ее определить норму высева. При низкой всхожести посев этими семенами не производится. Для этого отбирают более крупные семена, с большим запасом питательных веществ, что обеспечит хорошее питание проростка за счет семени, и растение будет лучше развиваться.

Сроки посева зависят от вида и сорта растений, влажности и температуры почвы и воздуха, так как семена большинства растений прорастают при низких положительных температурах, а некоторые предпочитают более высокие температуры. Эта особенность является одной из характеристик, по которой растения делят на *холодостойкие* и *теплолюбивые*.

Перед посевом почву хорошо *взрыхляют*, что способствует ее аэрации и создает условия для прорастания семян. Почва должна содержать достаточное количество влаги для набухания семян.

Глубина заделки семян зависит от их величины. Чем крупнее семена, тем глубже их можно заделывать в почву. Мелкие семена (репа, лук, морковь) заделывают на глубину 1—2 см, семена средних размеров (огурцы) — на 2—4,

крупные (горох, фасоль, бобы) — на 4—5 см. Если семена заделывать неглубоко, то они погибнут от пересыхания.

На глубину заделки семян влияет и *характер прорастания*. При надземном прорастании глубокая заделка препятствует выносу семядолей из почвы, семена же с подземным прорастанием можно заделывать глубже.

Глубина заделки семян определяется также и *свойствами почвы*. В песчаных почвах они заделываются глубже, чем в глинистой, так как в песчаных почвах содержится меньше влаги, лучшее снабжение воздухом и семядоли легче выносятся на поверхность.

При недостатке воды в почве необходим *полив*. Кроме того, обязательным условием нормального развития растений и получения высоких урожаев является *внесение удобрений*. Ведь ежегодно с урожаем из почвы выносятся большое количество минеральных веществ, и их содержание в почве необходимо пополнять.

Удобрения подразделяются на органические и минеральные.

Органические удобрения (от слова «*организм*») — это или отходы жизнедеятельности животных (навоз, птичий помет), или разлагающиеся остатки умерших животных и растений (перегной, торф).

Наиболее распространенным органическим удобрением является *навоз*. В нем содержатся азот, фосфор и калий, необходимые для роста и развития растений. Однако эти элементы усваиваются растениями только после разложения навоза, т. е. после расщепления органических веществ до неорганических. Расщепление органических веществ осуществляют, как вы помните, бактерии и грибы, поэтому навоз вносят в почву осенью, чтобы за осень, зиму и весну органические вещества минерализовались. Хорошим удобрением является зола, которая содержит много калия.

Минеральные удобрения получают на химических заводах. В зависимости от содержания тех или иных химических элементов различают *азотные, фосфорные и калийные* минеральные удобрения. Минеральные удобрения растворяются в почвенной влаге и быстро используются растениями. Хорошо растворяются в воде азотные и калийные удобрения, поэтому их вносят в почву перед самым посевом или во время активного роста стеблей и листьев (азотные удобрения). Калийные удобрения усиливают рост корней, луковиц и клубней, поэтому их вносят во время формирования и роста этих органов.

Фосфорные удобрения растворяются хуже, чем азотные и калийные, поэтому их вносят осенью вместе с навозом. Фосфор ускоряет созревание плодов.

Внесение удобрений во время роста растений называют подкормкой. Подкормка может быть сухой и жидкой. При *сухой подкормке* вносят золу, сухие минеральные удобрения, а также навоз. При *жидкой подкормке* междурядья поливают навозной жижей или птичьим пометом, разбавленным водой. Подкармливать растения лучше после дождя, когда почва насыщена влагой.

Вносить удобрения нужно в определенное время и строго *по норме*. Их излишек может навредить растениям.

Для получения высоких урожаев недостаточно только внесения удобрений. За посевами необходимо тщательно *ухаживать*: производить прореживание растений, периодическую прополку (удаление сорняков), рыхление почвы, а при необходимости — ее полив. Нужно также вести борьбу с вредителями и возбудителями болезней сельскохозяйственных растений. Для этого используют разнообразные химические препараты и биологические средства защиты.

МНОГООБРАЗИЕ ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Классификация растений

Цветковые растения составляют наиболее совершенную и обширную группу растений. Эта группа включает около 250 тыс. видов, распространенных по всему земному шару. Особенно много видов встречается во влажных тропиках. В Беларуси насчитывается более 2 тыс. видов цветковых растений, которые произрастают в лесах, на лугах, болотах, рядом с жильем человека. Кроме того, в нашей стране известно более 6 тыс. видов и сортов интродуцированных растений (лат. *интродукцио* — введение), т. е. перенесенных с других территорий и успешно произрастающих на территории нашей страны.

Все цветковые растения подразделяют на две большие группы (два класса): Дву- и Однодольные. У однодольных растений зародыш семени имеет одну семядолю, у двудольных — две. Однако следует помнить, что принадлежность к тому или иному классу определяют не только по числу семядолей зародыша, но и по ряду других признаков. Эти отличительные признаки представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Отличительные признаки растений классов Однодольные и Двудольные

Однодольные	Двудольные
1. У зародыша одна семядоля	1. У зародыша две семядоли
2. Корневая система мочковатая, главный корень рано отмирает	2. Корневая система стержневая, главный корень хорошо развит
3. Листья простые с параллельным или дуговым жилкованием	3. Листья простые и сложные с сетчатым жилкованием
4. Проводящие пучки без камбия	4. В проводящих пучках есть камбий
5. Проводящие пучки рассеяны равномерно, не кругами	5. Проводящие пучки расположены по кругу или сливаются в цилиндр
6. Главным образом травянистые растения	6. Древесные, кустарниковые и травянистые растения
7. Большинство растений ветроопыляемые	7. Большинство растений опыляются насекомыми
8. Цветки трехчленные	8. Цветки пяти- или четырехчленные

Среди одно- и двудольных встречаются растения, у которых отдельные признаки не совпадают с перечисленными. Так, например, травянистое лесное растение вороний глаз имеет листья с сетчатым жилкованием, но зародыш с одной семядолей (на этом основании его относят все же к однодольным). У подорожника жилкование листьев дуговое, мочковатая корневая система, но его относят к двудольным растениям, поскольку зародыш имеет две семядоли. Значит, *судить о принадлежности растений к тому или иному классу можно только по совокупности признаков*.

Классы Дву- и Однодольные делятся на семейства. Растения каждого семейства имеют общие признаки, такие как строение цветка и плода, тип соцветий, а также особенности внешнего и внутреннего строения вегетативных органов.

Жизненные формы растений



Рис. 8.65. Для деревьев характерен деревянистый ствол



Рис. 8.66. Кустарник



Рис. 8.67. Банан



Рис. 8.68. Фиалка трехцветная

Цветковые растения характеризуются чрезвычайно большим разнообразием как по числу видов, так и по внешнему строению, их распространению и использованию человеком. Для цветковых растений характерны различные жизненные формы. *Жизненная форма* — это своеобразный внешний вид растения, отражающий его приспособленность к определенным условиям окружающей среды.

Цветковые растения существуют в виде деревьев, кустарников, кустарничков, трав. Для *деревьев*, как вы знаете, характерно наличие ствола (рис. 8.65). Деревья обычно крупные растения с многолетними деревянистыми стволами. Ствол дерева живет столько же, сколько и все растение в целом, — от нескольких десятков до нескольких сотен (иногда тысяч) лет. Для нашей природной зоны типичными деревьями являются дуб, береза, липа, клен, ясень, рябина и др.

Кустарники отличаются от деревьев тем, что ствол у них начинает ветвиться почти у самой почвы, и его трудно распознать среди боковых ветвей (рис. 8.66). Кустарники, таким образом, имеют не один ствол, как деревья, а несколько стволиков, которые образуются у основания главного побега. Длительность жизни кустарника может быть очень большой, но отдельные стволики его живут сравнительно недолго (от 2 лет, например, у малины до 60 лет — у акации желтой, сирени). В наших лесах широко распространены кустарники: орешник (лещина), жимолость лесная и татарская, бузина черная и красная, крушина обыкновенная, бересклет бородавчатый и др. В ботанических садах, парках и скверах, во дворах, в палисадниках разводят сирень обыкновенную, чубушник тонколистный, рябинник рябинолистный, пузыреплодник калинолистный и другие кустарники.

Кустарнички — это маленькие кустарники. Высота их не превышает 1 м. Они широко распространены в тундре, высоко в горах, на болотах, в хвойных лесах. Типичными кустарничками являются: черника, брусника, голубика, клюква, водяника, вереск, багульник и др.

Травы, или *травянистые растения*, имеют, как правило, зеленые сочные стебли (рис. 8.67). Обычно они ниже деревьев и кустарников, но есть и исключения. Борщевик сибирский, например, бывает выше роста человека. Высокими растут также подсолнечник, крапива двудомная, иван-чай узколистный, дудник лесной. Банан (тоже трава!) достигает в высоту 7 м. Травы бывают одно-, дву- и многолетними.

Однолетние растения живут в течение одного вегетационного периода. Весной они развиваются из семян, затем цветут, на них образуются плоды с семенами, и после этого растения отмирают. Таковы сурепка, пастушья сумка, крупка весенняя, лебеда, фиалка трехцветная (рис. 8.68) и др.

Двулетние растения живут два вегетационных периода. В первый год у них развиваются вегетативные органы, на второй формируются новые побеги, растения цветут, на них образуются плоды и семена, а к осени растения отмирают (морковь, свекла, капуста).

У *многолетних* травянистых растений надземные побеги после цветения и плодоношения отмирают почти до основания, но на остающейся подземной части формируются зимующие почки, из которых на будущий год развиваются новые побеги. К многолетним травянистым растениям относятся, например, одуванчик лекарственный, цикорий обыкновенный (стержнекорневые); подорожник средний и ландыш майский (кистекарневые); купена лекарственная, нивяник обыкновенный, тимopheевка луговая (короткокорневищные); пырей ползучий, ландыш майский (длиннокорневищные); любка двулистная (клубневые); тюльпан, лук (луковичные).

Большинство многолетних трав в течение жизни цветут и плодоносят много раз (поликарипические травы). Другие, наоборот, цветут и плодоносят один раз в жизни и после этого целиком отмирают (монокарипические травы). К монокарипическим травам относятся одно-, дву- и некоторые многолетние (тмин, бамбук) травы (рис. 8.69).

Некоторые семейства класса Двудольные

Семейства цветковых растений выделяют по совокупности многих признаков, важнейшими из которых являются особенности строения цветка и плода.

Семейств цветковых растений много, только в классе двудольных более 350. Рассмотрим несколько семейств, широко представленных на территории нашей страны. Многие из них имеют большое хозяйственное значение.

Семейство Крестоцветные (или **Капустные**). В это семейство входит около 3200 видов, среди них преобладают травянистые растения, в том числе одно-, дву- и многолетние, лишь изредка встречаются полукустарники. Крестоцветные распространены в основном в умеренной зоне северного полушария. К крестоцветным относятся, например, *капуста*, *хрен*, *редька*, *горчица*, *сурепка*, *пастушья сумка* и др. (рис. 8.70).

Листья простые и сложные, обычно цельные или рассеченные, без прилистников; расположение очередное, нередко образуют прикорневую розетку. Корневая система — стержневая, причем некоторые крестоцветные образуют корнеплоды (редька, репа).

У всех представителей капустных одинаковое строение цветка: чашечки состоят из четырех чашелистиков, венчик — из четырех свободных лепестков, тычинок шесть, из них две короткие и четыре длинные, пестик один. Все они насекомоопыляемые, поэтому цветки большинства из них имеют нектарники и пахнут.

Цветки часто собраны в соцветие — кисть. Плод — стручок и стручок. Многие представители крестоцветных — давние культурные растения: *капуста*, *редька*, *репа*, *брюква*, *турнепс*, *редис*, *горчица*, *хрен*.

Из *рапса*, в семенах которого содержится до 50 % масла, получают растительное масло. Большинство крестоцветных — хорошие медоносы; среди крестоцветных есть лекарственные растения и декоративные растения (*левкой*, *иберис*, *бурачок*). Значительное число видов этого семейства — злостные сорняки (*пастушья сумка*, *ярутка полевая*, *сурепка обыкновенная*, *редька дикая*).

Семейство Розоцветные. В него входит более 3000 видов, среди которых встречаются деревья (яблоня, груша, вишня, слива, черешня, персик, абрикос, миндаль, черемуха, рябина и др.), кустарники (малина, ежевика, шиповник, боярышник, спирея и др.) и травы (манжетка, лапчатка, гравилат, таволга, земляника и др.).

Вегетативные органы розоцветных очень разнообразны. Листья у древесных и кустарниковых форм обычно простые, цельные, с прилистниками (яблоня, вишня) либо сложные (шиповник, роза). У травянистых форм листья могут быть сложными, тройчатыми с прилистниками (земляника).

Стебли у большинства розоцветных — прямостоячие с длинными междоузлиями. У земляники стебли короткие, несут розетку листьев, а из пазушных почек развиваются ползучие побеги — усы.

Корневая система обычно стержневая. У древесных и кустарниковых форм — сильно ветвящаяся.



Рис. 8.69. Бамбук



Рис. 8.70. Растения семейства Крестоцветные: 1 — редька дикая; 2 — сурепка обыкновенная; 3 — гулявник лекарственный; 4 — пастушья сумка; 5 — ярутка полевая

Строение цветка в основном сходно у всех видов. Цветок правильный, с широким или чашевидным цветоложем. Околоцветник двойной, состоит из пяти чашелистиков и пяти лепестков. Под чашечкой у многих имеется подчашие — пять зеленых листовидных зубчиков, прилегающих снизу к чашечке. Тычинок у большинства розоцветных в цветке много, они развиваются по краю цветоложа. Количество же пестиков может быть неодинаковым. У некоторых растений в цветке всего один пестик (например, у вишни, сливы, персика, абрикоса, яблони, груши, рябины, боярышника и др.). В таком случае развивается плод *костянка* или *яблоко*. У других растений много пестиков, расположенных в центральной части плоского, выпуклого или бокаловидного цветоложа, формируется несколько плодов. Из каждого пестика образуется сухой односемянный орешек (шиповник, лапчатка) или сочный — *костянка* (малина, ежевика). В таких цветках цветоложе может по мере созревания плодов разрастаться и становиться сочным (шиповник, земляника).

Исключением (по строению цветка) является лапчатка прямостоячая. Ее цветок имеет четыре чашелистика и четыре лепестка. Растет она на открытых влажных местах, опушках, полянах, среди кустарников. Для лапчатки прямостоячей характерно мощное корневище, которое используют для получения лекарств.

Среди розоцветных много ценных плодовых деревьев, выращиваемых человеком (*яблоня, груша, вишня, черешня, слива, айва, абрикос, миндаль*); кустарников (*малина, ежевика*); трав (*земляника садовая*). Есть ценные дикорастущие плодовые (*костяника, рябина, черемуха, морозка*); множество лекарственных растений (*лапчатка прямостоячая, релешок, шиповник*).

Красивейшие розоцветные рода *роза* с тысячами ее сортов, *сакура* (или *черешня мелкопильчатая*) и другие представители семейства украшают сады, скверы, парки. Из лепестков масличных роз получают розовое масло.

Некоторые виды являются злостными сорняками (*лапчатка гусиная, манжетка*).

Семейство Пасленовые. Это семейство объединяет около 2300 видов. В средних широтах пасленовые представлены главным образом травянистыми растениями. В тропических же странах, особенно в Южной Америке, преобладают лазающие кустарники и деревья. В это семейство входят *картофель, томат, баклажан, перец* — основные пищевые растения людей во всем мире, а также *табак*. Все они выходцы из Нового Света.

Среди пасленовых много декоративных древесных и травянистых форм, одно- и многолетних (*петунья, душистый табак, физалис, схищантус*), ценных лекарственных растений: *красавка-белладонна, скополия, белена* (рис. 8.71).

Листья у пасленовых очередные, без прилистников, простые, с цельной или рассеченной пластинкой. Стебли с длинными междоузлиями и своеобразным внутренним строением: в сосудистых пучках флоэма находится внутри, а ксилема — снаружи. Корневая система стержневая.

Цветки имеют двойной околоцветник. Чашечка состоит из пяти сросшихся чашелистиков и обычно сохраняется при плодах, венчик — из пяти сросшихся лепестков. Тычинок всего пять, пестик — один. Плод — ягода (*картофель, томат, паслен*) либо коробочка (*табак, гурман, петунья, белена*).

Многие пасленовые содержат ядовитые алкалоиды, используемые для получения лекарств. К их числу относятся *белладонна*, или *красавка*, *гурман*, *белена черная*. Целый ряд пасленовых имеет огромное хозяйственное значение,



Рис. 8.71. Растения семейства Пасленовые: 1 — паслен черный; 2 — белена черная; 3 — паслен сладко-горький; 4 — петунья гибридная; 5 — гурман обыкновенный

особенно *картофель, томат, баклажан, перец*. Некоторые однолетние пасленовые имеют красивые цветки, что позволяет выращивать их как декоративные растения (*табак душистый, петуния* и др.).

Курительный табак также относится к семейству Пасленовые и содержит в листьях много ядовитых наркотических веществ, в первую очередь алкалоид никотин.

Семейство Мотыльковые (или Бобовые). Это одно из самых больших семейств двудольных, которое охватывает более 17 тыс. видов. Сюда входят *горох, фасоль, соя, чина, люцерна, клевер, акация, астрагал, арахис, нут, люпин*.

Среди мотыльковых много древесных форм, кустарников, трав. Деревья (*белая акация, или робиния, гледичия*) и кустарники (*карагана, акация желтая*) на территории Беларуси произрастают в посадках.

Листья у растений этого семейства сложные, с прилистниками: перистые (у желтой и белой акации, гороха, сои, фасоли), пальчатые (у люпина), тройчатые (у клевера).

Корни, как правило, стержневые. Корневая система хорошо развита (у верблюжьей колючки, люцерны корни достигают в глубину нескольких метров).

Преобладающее большинство растений семейства Мотыльковые на корнях имеет клубеньки, которые образуются в результате проникновения в корневые волоски азотфиксирующих бактерий из почвы. Ткани корней при этом разрастаются. В данном случае имеет место симбиоз растений с бактериями. После отмирания травянистых растений этого семейства почва обогащается соединениями азота.

Цветки у бобовых одиночные или собраны в соцветия — кисти (*белая акация, люпин, донник, фасоль, глициния*) или головки (*клевер*). Цветки мотылькового типа. Они приспособлены к опылению насекомыми. Цветок имеет двойной околоцветник: чашечка из пяти сросшихся чашелистиков; венчик из пяти лепестков, причем два из них сросшихся. Лепестки имеют особые названия: верхний, обычно самый крупный, — парус, два боковых — весла, а два сросшихся нижних — лодочка. Внутри лодочки расположен пестик, окруженный десятью тычинками. У большинства бобовых девять тычинок сростаются, а одна остается свободной (рис. 8.72).

Плод — боб, поэтому семейство часто называют *Бобовые*.

Представители семейства Мотыльковые — *соя, горох, нут, фасоль, чечевица, арахис* — древнейшие культурные растения.

Мотыльковые являются незаменимым кормом для травоядных животных, в том числе домашнего скота (*клевер, люцерна, вика*, в пустынях — *верблюжья колючка*). Многие используются как лекарственные растения (*термосис ланцетный, кассия остролистная, солодка голая*). Есть хорошие медоносы, к ним относятся *донник, чина, клевер*. Среди мотыльковых много красиво цветущих растений, специально выращиваемых в садах и парках (*душистый горошек, люпин, желтая и белая акация, глициния*).

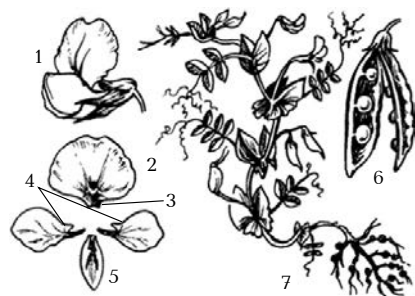


Рис. 8.72. Горох посевной: 1 — цветок; 2 — расчлененный венчик; 3 — парус; 4 — весла; 5 — лодочка; 6 — плод боб; 7 — корни с клубеньками

Растения класса Однодольные

Класс однодольных цветковых растений объединяет около 80 семейств и более 60 тыс. видов. Это преимущественно травянистые растения (*пшеница, рожь, лилия, ландыш, тюльпан, тимopheевка, овес, кукуруза*). Древесные, кустарниковые, лианы и эпифиты из однодольных встречаются лишь в тропиках (*бамбук, пальма, алоэ, панданус, монстера, грациена, орхидея*).

Среди них есть растения, достигающие в длину 60—70 м (например, *пальма-корифа*, *королевская пальма*), а лазающая пальма *каламус ротанговый* вырастает до 150—180 м в длину. Вместе с тем есть растения очень маленькие, например различные виды *ряски*.

Многие однодольные ведут водный образ жизни (*рвгесты*, *рогоз*, *белокрыльник*, *айр*, *циперус-папирус*), нередко живут в кронах деревьев как эпифиты (*орхидеи*, *бромелии*, *хлорофитумы*).

В классе Однодольные множество красивоцветущих растений, вошедших в комнатное или садовое цветоводство: *гладиолусы*, *нарциссы*, *гиацинты*, *ирисы*, *тюльпаны*. Ряд видов вошли в декоративное цветоводство из-за красивых листьев, стеблей: *традесканция*, *монстера*, *филогендрон*, *диффенбахия*, *сингониум*, *аспарагус*, *агава*, *алоэ*.

Многие представители однодольных являются древними культурными пищевыми растениями. В первую очередь это *хлебные злаки*, а также *лук*, *чеснок*, *ананас*, *сахарный тростник*, *пальмы* — *финиковая*, *кокосовая*, *сахарная* и др.

Семейство Злаки (или Мятликовые). Это семейство объединяет до 10 тыс. видов (около 700 родов). Злаки распространены по всей суше земного шара. Это семейство отличается большим разнообразием. Преобладающие виды у злаков — травы, большей частью многолетние, но есть и однолетние. Многие из злаков — высокотравные растения; *сахарный тростник*, *тростник обыкновенный* вырастают до 4—5 м в высоту. Представители бамбуковых, достигающие иногда размеров древесных растений (в тропических районах до 30—40 м высоты) и имеющие сильно одревесневшие стебли, тем не менее сохраняют строение, типичное для злаков, и к древесным формам отнесены быть не могут.

В отличие от других растений, у большинства злаков особый, цилиндрический стебель, с хорошо развитыми узлами и полостью внутри. Его называют *соломиной*. У некоторых видов тропического происхождения междоузлия заполнены (кукуруза, сахарный тростник, сорго и др.). Для стеблей характерен вставочный рост за счет меристемы, расположенной в основаниях междоузлий. Подземные стебли злаков представляют собой корневища.

Листья злаков обычно узкие, длинные, с параллельным жилкованием и длинными влагалищами. Влагалище у злаков имеет вид трубочки. Оно охватывает стебель выше узла, от которого отходит лист, и защищает вставочную меристему. В месте отхождения листовой пластинки от влагалища имеется пленчатый вырост — *язычок*. Он не позволяет воде проникнуть между влагалищем и стеблем.

Ветвятся почти все представители злаков только путем кущения, т. е. ветвление происходит в самом основании побегов. Многие при этом образуют рыхлую или плотную дерновину, поэтому плотно покрывают почву.

При прорастании семян злаков образуется свойственная однодольным мочковатая корневая система. В дальнейшем многочисленные придаточные корни образуются либо на подземных корневищах, либо из узлов стебля, находящихся над поверхностью почвы. Последние играют роль опорных корней (например, у кукурузы). Корни у злаков обычно тонкие, нитевидные.

Цветки злаков мелкие, невзрачные, собраны в соцветия — *колоски* (рис. 8.73), из которых образуются более сложные соцветия: сложные колосья (рожь, пшеница), метелки (овес), султаны (тимopheевка, лисохвост), початки (кукуруза). Цветки в большинстве случаев обоеполые, но иногда бывают раздельнополыми, собранными в разные соцветия (кукуруза). Наиболее типичным для злаков является следующее строение колоска: на довольно короткой оси в нижней части расположены две сближенные между

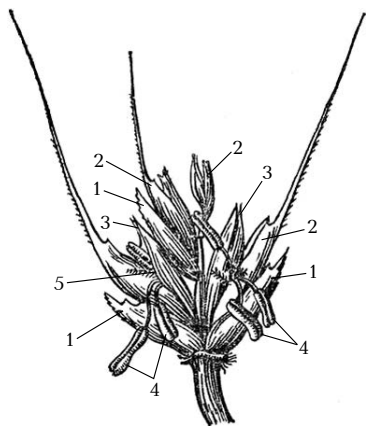


Рис. 8.73. Схема колоска пшеницы: 1 — колосковая чешуя; 2 — наружная цветковая чешуя; 3 — внутренняя цветковая чешуя; 4 — тычинки; 5 — рыльце. Каждый цветок имеет две цветковые чешуи — нижнюю, или наружную (у остистых сортов она несет ость), и верхнюю, или внутреннюю, более тонкую, нежную и плоскую. Между цветковыми чешуями расположены завязь с одной семяпочкой и двумя перистыми рыльцами и три тычинки (у риса шесть); у основания цветковых чешуй еще имеются две небольшие тонкие пленки, набухание которых во время цветения обуславливает раскрытие цветка

собой колосковые чешуи — нижняя и верхняя. Далее на оси лежат один или несколько цветков (в зависимости от вида). Они имеют вытянутую форму.

Каждый цветок состоит из двух *цветковых чешуй*, заменяющих околоцветник. Одна из них более крупная и может быть вытянута в длинную *ость*. Имеются три тычинки с крупными пыльниками на длинных тонких тычиночных нитях и один пестик с двумя перистыми рыльцами. Цветки злаков приспособлены к опылению ветром. Однако некоторым видам свойственно самоопыление (все виды рода *пшеница*, некоторые цветки у видов *костер*, *ковыль*).

Плод злаков чаще всего зерновка, в которой тонкий пленчатый околоплодник срастается с семенем. Эндосперм примыкает сбоку к зародышу, прилегая непосредственно к единственной семядоле — щитку.

Злаки играют огромную роль в формировании травянистого покрова Земли: лугов, степей, саванн, пампасов. Злаковые являются основными пастбищными травами, обеспечивающими кормом травоядных животных. Так как кормовые достоинства многих злаков очень высоки, то целый ряд из них введен в культуру (лисохвост, тимофеевка, ежа сборная и др.).

Злаки представляют собой главные пищевые (хлебные) растения. Их выращивают как хлебные и крупяные растения. Важнейшими хлебными злаками являются *пшеница*, *рожь*, *ячмень*, *овес*, *кукуруза*, *рис*, *просо*, *сорго*. Особое место среди культурных злаков занимает сахарный тростник, у которого сочная сердцевина стеблей содержит до 20 % сахара.

Дикорастущие и культурные растения

Цветковые растения занимают доминирующее положение в современном растительном мире. Благодаря различным приспособлениям к условиям окружающей среды (с которыми вы познакомились ранее), они обитают почти повсеместно на земном шаре, образуя леса, луга, покрывая горы и холмы. Многие цветковые растения приспособились к жизни в водоемах, другие обитают на болотах. Некоторые цветковые растения живут в пустынях и на засоленных почвах. Это дикорастущие растения. Цветковые растения (вместе с голосеменными и споровыми) образуют растительный покров любой местности. Исключение составляют лишь вершины гор, покрытые вечными снегами и ледяными шапками, да Антарктида и Арктика, где цветковые растения из-за чрезмерно низких температур существовать не могут.

Цветковые растения — самые многочисленные по количеству видов. Среди них свыше 190 тыс. видов двудольных и около 63 тыс. видов однодольных. Двудольные растения представлены всеми жизненными формами, однодольные — преимущественно травами.

Среди цветковых растений есть не только дикорастущие, но и культурные растения, которые возделываются человеком и используются им для различных нужд. В их семенах, плодах, запасающих органах содержатся питательные вещества, витамины и минеральные соли. Культурные растения являются источником получения продуктов питания человека, витаминов, кормов для животных.

В процессе своего развития человечество перешло от собирательства и охоты к современным формам скотоводства и земледелия. Тысячи лет назад, перейдя к оседлому образу жизни, человек начал окультуривать дикорастущие растения. Сельское хозяйство постепенно стало играть ведущую роль. Сегодня оно является одной из главных отраслей материального производства.

Число культурных растений превышает 2,5 тыс. видов. К ним в первую очередь относятся пшеница, ячмень, рожь, овес, кукуруза, фасоль, соя, горох, картофель, сахарная свекла, рапс, репа, подсолнечник, а также капуста, морковь, брюква, томат, салат, тыква, огурец, спаржа и др.

Среди плодовых растений древесные, такие как яблоня, груша, слива, доминируют над кустарниковыми и травянистыми ягодными культурами.

Зерновые культуры давно используются человеком. Выращивание *пшеницы* началось в VII тысячелетии до нашей эры в странах Ближнего и Среднего Востока (современные Ирак, Иран, Турция). Многие культурные растения произошли от дикорастущих (например, однозернянка и двузернянка, которые являются предками пшеницы). С IX по IV тысячелетие до нашей эры в Египте и на Ближнем Востоке был окультурен *ячмень*. *Рожь* как сорная трава 5 тыс. лет назад распространилась со своей родины (Кавказ, Афганистан, Туркмения) в Северную и Центральную Европу, где затем была окультурена.

Дикие формы *овса*, известные уже в V тысячелетии до нашей эры на Ближнем Востоке (Ирак, Иран), распространились вместе с дикой пшеницей и ячменем в Центральную Европу. В бронзовом веке (со II тысячелетия до нашей эры) началась селекция овса. Исходной формой овса посевного является широко распространенный и в настоящее время *овес дикорастущий* (рис. 8.74).

Биологически зерновые культуры относятся к злакам. Злаки имеют полый цилиндрический стебель и узкие листья с параллельным жилкованием. Мелкие цветки объ-

единяются в элементарные соцветия — колоски, образующие сложное соцветие — колос (колоски сидят непосредственно на главной оси), или метелку (колоски сидят на боковых веточках главной оси). Все злаки опыляются ветром. Плод — зерновка. В зерновке накапливаются органические питательные вещества — крахмал и белок. Злаки — основа повседневного питания человека и домашних животных.

Одним из важнейших культурных растений является картофель. Его родина — Южная Америка, где он был введен в культуру около 14 тыс. лет назад. В XVI в. картофель был завезен морями в Европу и поначалу выращивался в ботанических садах как декоративное растение. Размножается клубнями, на которых развиваются почки. В картофельных клубнях накапливаются крахмал, минеральные вещества, белок и витамин С. Картофель — полезный и необходимый продукт питания.

С середины XIX в. началось выращивание сахарной свеклы. Свекла — двулетнее культурное растение. В первый год у нее формируется корнеплод, в котором накапливаются питательные вещества, прежде всего сахара, а цветки и плоды образуются на второй год.

Осенью первого года корнеплоды убирают и отправляют на сахарный завод. Там их моют и измельчают. Из измельченной массы отжимают сок, из которого с помощью фильтрации, испарения и очистки получают сахар. Сахар используется для производства кондитерских и хлебобулочных изделий, шоколада и конфет, соков и вин, мармелада, варенья, повидла, конфитюра, в консервировании фруктов.

К культурным растениям относятся различные овощные и плодовые растения.

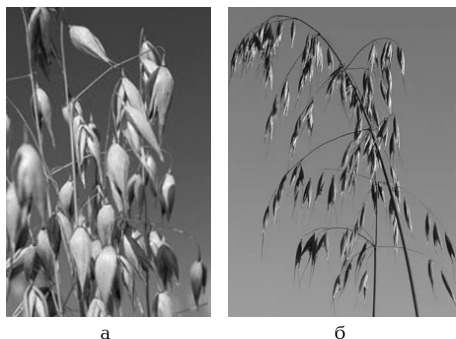


Рис. 8.74. Овес посевной (а) и овес дикорастущий (б)



Рис. 8.75. Овощи

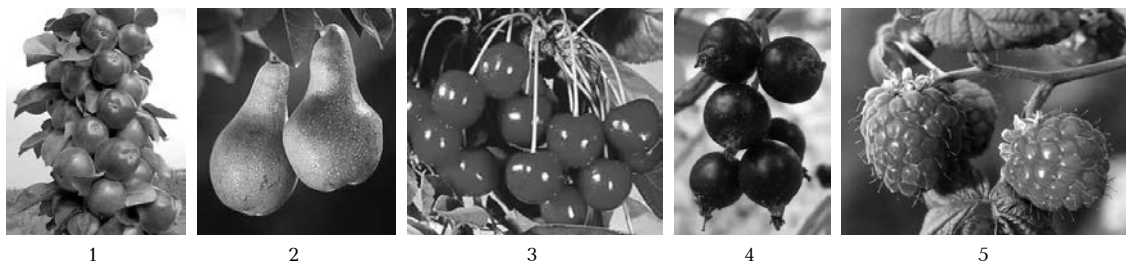


Рис. 8.76. Плодово-ягодные растения: 1 — яблоня; 2 — груша; 3 — вишня; 4 — черная смородина; 5 — малина

Овощные растения отличаются высоким содержанием витаминов и минеральных веществ. Они являются важным элементом питания человека (рис. 8.75).

Для поддержания здоровья человеку необходимо употреблять в пищу *плодовые* и *плодово-ягодные растения* — фрукты и ягоды (рис. 8.76). Наиболее важные растения этой группы: груша, яблоня, вишня, слива, алыча, черешня, абрикос, крыжовник, малина, ежевика, смородина, земляника. Плоды этих растений содержат витамины, минеральные вещества и сахара.

Важную роль в питании человека играют растительные масла, которые получают из богатых маслами семян *масличных растений* (рапс, горчица, подсолнечник, соя) (рис. 8.77).

К культурным растениям относятся также *пряильные* (лен), *кормовые* (клевер, люцерна, люпин, тимopheевка, райграс, ежа сборная) и *декоративные*. Декоративными растениями являются многие двудольные (сирень, чубушник, роза, астра, гвоздика, георгина, рудбекия и др.) и однодольные (гладиолусы, ирисы, ландыши, лилии, нарциссы, тюльпаны и др.).

Таким образом, культурные растения играют важную роль в жизни человека.

Помимо культурных растений в пищу, в качестве кормов для животных и в других целях человек использует и многие дикорастущие растения. Растения являются сырьем для многих отраслей промышленности: деревообрабатывающей, фармацевтической, пищевой — и используются для постройки домов и других сооружений, в кораблестроении.

Из целлюлозы, которая входит в состав оболочек клеток растений, делают бумагу, картон, древесноволокнистые плиты.

В коре многих деревьев имеется пробковая ткань, состоящая из мертвых клеток, заполненных, как правило, воздухом. Такая ткань надежно изолирует растения от неблагоприятных условий. Она плохо проводит тепло и не пропускает воду. Оболочки клеток этой ткани пропитаны особым водоотталкивающим веществом. Такую ткань можно срезать у некоторых деревьев без вреда для дерева. Из коры пробкового дуба, например, делают пробки для бутылок и легкие, упругие, не пропускающие воду и воздух облицовочные плиты.

Многие растения содержат ядовитые, сильно пахнущие или целебные вещества, которые используются в изготовлении лекарственных препаратов, духов. Цветки, листья, стебли или плоды некоторых растений используются в качестве пряно-ароматических добавок к пищевым блюдам.



Рис. 8.77. Рапс масличный

Значение растений в природе и их охрана

Роль растений. Растения играют важнейшую роль в природе. Благодаря способности осуществлять процесс фотосинтеза, они являются главными производителями органического вещества, которое обеспечивает

существование всех живых организмов, а также кислорода, необходимого большинству организмов для дыхания. Растения являются неотъемлемой частью ландшафтов и формируют облик нашей планеты. Красивоцветущие растения используются для украшения парков, скверов, приусадебных участков. Природа делает более гармоничной жизнь людей. Она является источником вдохновения и творчества для человека.

Охрана растений. Богат и разнообразен растительный мир нашей страны. Однако многие виды растений становятся редкими или вообще исчезают, прежде всего, по вине человека. Его интенсивная хозяйственная деятельность: вырубка лесов, распашка земель, осушение болот, строительство дорог, городов, предприятий, добыча полезных ископаемых — существенно изменяет естественную среду обитания многих видов растений. В результате это отрицательно сказывается на состоянии растительного покрова, обедняет его видовой состав. За последние 100—150 лет из растительного мира (флоры) Беларуси исчезло около 100 видов.

С нарушением природной гармонии ухудшаются естественные условия жизнедеятельности самого человека. Именно поэтому необходима научно обоснованная охрана природной среды, ее видового разнообразия.

Для решения этой важнейшей проблемы разрабатываются и применяются меры по практической охране редких и исчезающих видов, выделяют специальные территории с различным режимом охраны — заповедники, заказники, национальные парки; для информирования жителей страны о состоянии природы издается Красная книга. Ученые многих стран предпринимают совместные действия, заключаются международные соглашения по охране ценных видов растений и животных, флоры и фауны.

Современные проблемы рационального использования растений должны включать в себя мероприятия по всестороннему изучению растительного покрова и изменений, происходящих в нем, разработке способов его защиты от дальнейшего уничтожения, восстановлению его там, где был нанесен ущерб. Следует придерживаться простого правила: использовать растительные богатства нужно с последующим их восстановлением в тех же объемах.

За последние 15 лет в нашей стране выявлено и передано под охрану землепользователей 230 мест произрастания 65 редких видов растений. Для их охраны создано 88 заказников местного значения. В заказниках и заповедниках поддерживаются условия, способствующие сохранению всего природного комплекса в естественном состоянии.

В Красную книгу Республики Беларусь включено 143 вида цветковых растений, которые подлежат охране, причем редкие и исчезающие виды должны охраняться в неразрывной связи с охраной естественных местобитаний и растительных сообществ, в которых они произрастают.

Необходимо помнить, что охрана окружающего нас мира живой и неживой природы — это дело каждого человека. Прежде чем сорвать цветок, сломать ветку или поймать бабочку, следует подумать, а так ли это необходимо. Нужно помнить, что жизнь каждого существа так же ценна, как и твоя собственная, и никто не имеет права ее отнимать. Жизнь — это самая большая ценность на Земле. Сохранение и приумножение живой природы — залог благополучия нашего и грядущих поколений людей.

ГЛАВА 9

Животные

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИВОТНЫХ И ИХ РАЗНООБРАЗИЕ

Зоология — наука о животных. Зоология (зоон — животное и логос — наука) — раздел биологии, изучающий животных. Царство Животные включает более 1,5 млн описанных видов. Животные очень разнообразны по размерам, форме тела, особенностям строения, характеру движения, питания, размножения и развития.

Знания о животных накапливались в течение многих веков. Появление и совершенствование различных, в том числе оптических, приборов, применение новых методов исследований позволили более детально и глубоко изучить эту группу живых организмов. Полученные сведения дали возможность оценить значение животных в природе, эффективно использовать их в практической жизни человека, убедительно доказать необходимость охраны животных в местах естественного обитания.

Основные признаки животных. Несмотря на значительное разнообразие животных, для них характерны некоторые общие признаки.

1. *Гетеротрофный тип питания.* Животные используют в пищу готовые органические вещества растительного и животного происхождения.

2. *Подвижность.* Большинство животных, в отличие от растений и грибов, передвигаются. Для этого у них имеются органы передвижения: ноги, крылья, лапы, плавники и др. Известны неподвижные или малоподвижные (коралловые полипы, гидра, некоторые моллюски) животные. Однако все они имеют подвижные личинки, обеспечивающие их расселение и распространение.

3. Для большинства животных характерен *ограниченный рост*. Растут они лишь в определенный период развития, поэтому размеры взрослых животных одного вида различаются незначительно. Лишь немногие растут в течение всей жизни (некоторые раки, крокодилы, черепахи).

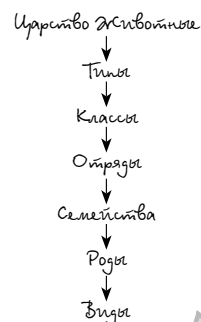
Классификация. Основные систематические категории животных. Основной единицей классификации животных, как вы знаете, является *вид*. Сходные виды объединяются в *роды*, роды — в *семейства*, семейства — в *отряды*. Более крупные систематические группы — *классы* и *типы*.

В связи с большим многообразием животных ученые-зоологи в пределах указанных систематических категорий ввели промежуточные группы: подсемейство, подотряд, надотряд, подкласс и т. п.

В современной системе животного мира выделено более 25 типов, из которых в школьном курсе биологии изучаются представители семи типов, наиболее крупных и широко распространенных. В их числе Кишечнополостные, Плоские черви, Круглые черви, Кольчатые черви, Моллюски, Членистоногие и Хордовые.

Животные — многоклеточные гетеротрофные организмы, для которых характерны:

- подвижность;
- ограниченный рост;
- развитие в эволюции систем органов;
- клетки без оболочки, плазмид и вакуолей с клеточным соком;
- запасной углевод — гликоген



Роль животных в природе и жизни человека. Их роль чрезвычайно разнообразна и велика. Насекомые и птицы опыляют растения. Дождевые черви и другие обитатели почвы вместе с бактериями разрушают органические остатки, способствуя образованию перегноя, повышают плодородие почвы. Животные входят в разнообразные цепи питания: растения служат пищей растительноядным животным, которых в свою очередь поедают хищники. Многих животных использует человек, добывая их в процессе рыболовства и охоты. Животные обеспечивают нас продуктами питания (мясо, молоко, мед и др.) и сырьем (кожа, мех, шерсть и др.) для разнообразных производств.

Однако известны и животные, наносящие вред человеку и его хозяйству. К ним относятся вредители растений, паразиты животных и человека.

Более подробно значение разных групп животных будет изложено в последующих главах учебного пособия.

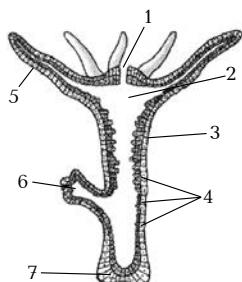


Рис. 9.1. Строение гидры: 1 — рот; 2 — кишечная полость; 3 — наружный слой клеток; 4 — внутренний слой клеток; 5 — щупальце; 6 — почка; 7 — подошва

ТИП КИШЕЧНОПОЛОСТНЫЕ

Особенности строения, жизнедеятельности и распространения кишечнополостных. Более 9 тыс. представителей этого типа обитают преимущественно в морях, редкие виды живут в пресных водоемах. Это радиально-симметричные хищные животные. Они имеют мешковидное тело, состоящее из наружного и внутреннего слоев клеток, прикрепленных к опорной пластинке. У них отсутствуют ткани, органы и системы органов. Разные по строению клетки наружного и внутреннего слоев выполняют определенные функции, обеспечивая жизнедеятельность животного. Одна из разновидностей клеток наружного слоя — *стрекательные* — характерны для всех кишечнополостных. Размножаются бесполом и половым способами.

Большинство из них имеют развитие с планктонной личиночной стадией. Для кишечнополостных характерны две формы существования: малоподвижные, одиночные или прикрепленные к субстрату колониальные *полипы* и свободноживущие в толще воды подвижные *медузы*. Колониальные каменистые коралловые полипы образуют подводные рифы и коралловые острова — атоллы.

Типичным представителем кишечнополостных является пресноводный полип *гидра*.

Среда обитания. Строение гидры. Гидры обитают среди зарослей растений прудов, озер, медленно текущих рек. Их тело имеет вид вытянутого мешочка. К водным растениям гидра прикрепляется расширенным нижним концом — подошвой. На противоположном, верхнем конце находится рот, окруженный венчиком из 5—12 длинных щупалец. Гидра имеет размеры около 5—7 мм, а длина щупалец может достигать нескольких сантиметров.

Гидра, как и все кишечнополостные, — радиально-симметричное животное. Ее тело, как и у всех кишечнополостных, состоит из двух слоев клеток: наружного (покровного) и внутреннего (пищеварительного; рис. 9.1). Между этими слоями расположена плотная опорная пластинка, не имеющая клеточного строения. Внутренний слой тела гидры выстилает кишечную полость, которая общается с внешней средой посредством

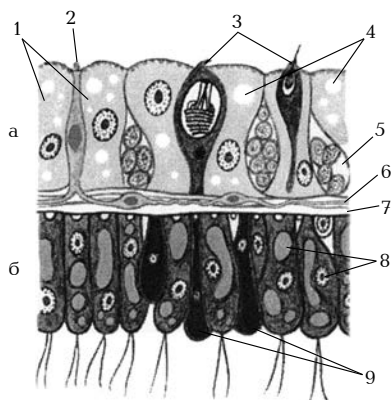


Рис. 9.2. Клетки тела гидры (а — наружный слой; б — внутренний слой): 1 — пигментные клетки; 2 — чувствительная клетка; 3 — стрекательные клетки; 4 — кожно-мускульные клетки; 5 — резервные клетки; 6 — нервные клетки; 7 — опорная пластинка; 8 — пищеварительные клетки; 9 — железистые клетки

ротового отверстия. *Тканей, органов и систем органов* гидра, как и все кишечнополостные, не имеет. Различные функции выполняются специализированными клетками, расположенными в наружном и внутреннем слоях.

Наружный (покровный) слой состоит из клеток нескольких типов. Основу его составляют *кожно-мускульные клетки*. В основании каждой клетки, прилегающей к опорной пластинке, есть сократительный мускульный отросток, идущий параллельно продольной оси тела гидры. При одновременном сокращении отростков кожно-мускульных клеток тело животного укорачивается. Между кожно-мускульными клетками расположены *пигментные*, которые придают определенную окраску телу гидры (серую, буроватую, зеленую); *стрекательные*, обеспечивающие защиту от врагов и ловлю добычи; *нервные*, чувствительные и *резервные (промежуточные)* клетки (рис. 9.2).

Стрекательные клетки расположены на всей поверхности тела животного и особенно многочисленны на щупальцах. Стрекательная клетка имеет капсулу, заполненную ядовитой жидкостью и содержащую спирально свернутую стрекательную нить (рис. 9.3). На внешнем крае клетки имеется чувствительный волосок, механическое или химическое раздражение которого вызывает стремительное выбрасывание стрекательной нити. Благодаря имеющимся на ней зубинам, направленным острием назад, стрекательная нить закрепляется в теле жертвы, как гарпун, а яд, содержащийся в капсульной жидкости, убивает или парализует ее.

Нервные клетки имеют звездчатую форму. Своими отростками они соединяются друг с другом, образуя нервную сеть. Такая впервые возникшая примитивная нервная система называется *диффузной (рассеянной)* (рис. 9.4).

Если дотронуться до гидры в любом месте ее тела, раздражение воспринимается нервными клетками, быстро распространяется по всей сети, а от них передается к кожно-мускульным клеткам. Мускульные отростки сокращаются, и гидра сжимается в комок. Ответная реакция животного на воздействие раздражителя из внешней или внутренней среды называется *рефлексом*. Рефлекс включает три последовательных этапа: восприятие раздражения, передачу возбуждения по клеткам нервной сети и ответную реакцию организма, которая проявляется в каком-либо действии.

Большую роль в жизни гидры играют *резервные*, или *промежуточные*, клетки (см. рис. 9.2). Они не выполняют определенной функции и могут превращаться в любые другие клетки тела животного. Благодаря наличию резервных клеток гидра обладает большой способностью к *регенерации* — восстановлению утраченных или поврежденных частей тела. Они могут восстанавливать даже целый организм из отдельной его части. Было установлено, что регенерация свойственна и другим животным, имеющим сходные неспециализированные клетки (плоские, кольчатые черви и др.). Это явление наблюдается и у высокоорганизованных животных и человека и выражается в заживлении поврежденных тканей. Вы знаете, что и растения способны устранять повреждения благодаря наличию у них раневой меристемы.

Внутренний слой тела гидры, выстилающий кишечную полость, образован двумя видами клеток — пищеварительными и железистыми. Клетки имеют мускульные отростки, но идущие поперек тела животного. Их сокращение вызывает уменьшение толщины тела. Одновременно расслабляются мускульные отростки покровных клеток, делая тело гидры длинным и тонким.

Питание и пищеварение. Основная роль клеток внутреннего слоя — пищеварительная. Гидры — хищники, питаются мелкими животными (рачками, дафниями, циклопами). Они поражают их нитями стрекательных клеток, схватывают щупальцами и заглатывают. Когда в кишечную полость попадает пища, *железистые* клетки выделяют пищеварительные ферменты, которые



Рис. 9.3. Стрекательные клетки: а — в покое; б — выпстрелившая



Рис. 9.4. Нервная система гидры

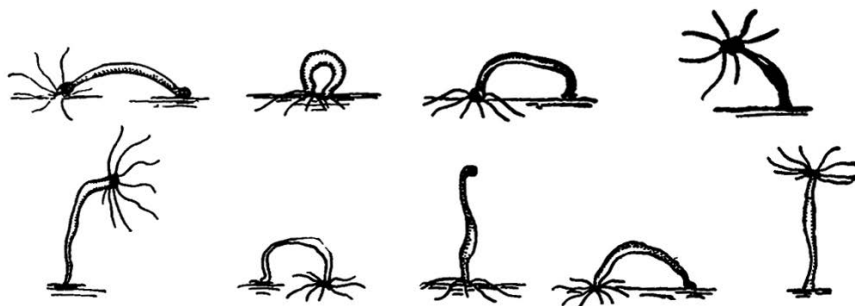


Рис. 9.5. Передвижение гидры

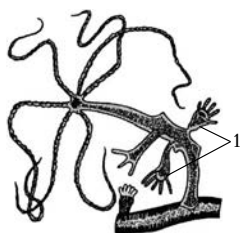


Рис. 9.6. Почкование гидры: 1 — молодые гидры

частично переваривают пищу. Жгутики пищеварительных клеток подтягивают полупереваренную пищу, а образующиеся ложноножки захватывают ее. Таким образом, для гидры характерно сочетание полостного и внутриклеточного пищеварения. Непереваренные остатки выводятся наружу через рот.

Дыхание и выделение. Дышит гидра кислородом, растворенным в воде, поглощая его клетками наружного слоя. Выделение углекислого газа и других ненужных веществ, образующихся в процессе жизнедеятельности, осуществляется из клеток непосредственно в воду.

Движение. Передвигаются гидры медленно. Чаще они висят, прикрепившись к растениям, расправив щупальца и двигая ими в поисках добычи. Они способны «шагать», прикрепляясь к предметам ротовым полюсом и подтягивая подошву, либо «кувыркаться», касаясь опоры то подошвой, то ротовым концом (рис. 9.5).

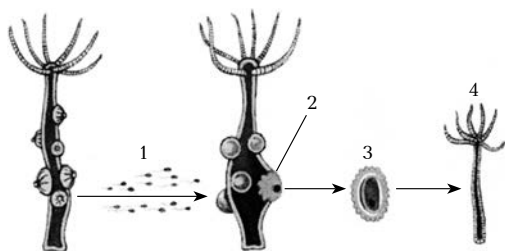


Рис. 9.7. Половое размножение гидры: 1 — сперматозоиды; 2 — яйцеклетка; 3 — оплодотворенная яйцеклетка; 4 — молодая гидра

Размножение. В летнее время гидры размножаются бесполом способом — *почкованием* (рис. 9.6). На теле гидры образуется бугорок — почка. Она постепенно увеличивается в размерах. На свободном конце почки вскоре образуется ротовое отверстие и щупальца. Молодая гидра отделяется от материнского организма и переходит к самостоятельному существованию.

Половое размножение происходит в конце лета (рис. 9.7). Во внешнем слое тела гидры из резервных клеток образуются мужские и женские половые клетки. Оплодотворенная яйцеклетка покрывается плотной защитной оболочкой и зимует на дне, а весной из нее развивается молодая гидра, размножающаяся в теплый период года почкованием.

В пресных водоемах обитают семь видов гидр. В Беларуси встречаются четыре вида: длинностебельчатая, зеленая, тонкая и обыкновенная гидры.

Многообразие кишечнополостных

Тип Кишечнополостные включает три класса.

Класс Гидрозои. Представлен, кроме пресноводных гидр, большим количеством морских обитателей.

Морские гидроиды — колониальные прикрепленные полипы и свободноплавающие в толще воды медузы. Колонии полипов прикрепляются к камням, скалам, крупным водорослям и напоминают небольшие кустики. Образуются такие колонии в результате почкования, при котором молодые дочерние особи не отделяются от материнской, а остаются связанными с ней.

Они имеют общую кишечную полость, в которой происходит пищеварение и распределение питательных веществ между всеми особями колонии.

Гидроидные медузы — одиночные, подвижные, мелкие и даже микроскопические животные. Они имеют форму зонтика, на нижней стороне которого расположен ротовой стебелек. Кишечная полость образует систему радиальных и кольцевого каналов. По краю зонтика находятся щупальца. Медузы плавают в толще воды за счет ритмичных сокращений зонтика. При расслаблении зонтика его внутреннее пространство заполняется водой, при сокращении — вода с силой выталкивается наружу. При этом медуза движется в противоположную сторону, подобно ракете. Такой тип движения называется *реактивным*.

В связи с подвижностью нервная система у медуз устроена сложнее, чем у полипов: нервные клетки образуют скопления по краю зонтика.

У медузы, в отличие от полипа, сильно развита студенистая опорная пластинка, содержащая до 98 % воды. Прозрачное студенистое тело медуз почти сливается с морской водой и делает их малозаметными для хищников и жертв.

Гидроидные медузы — раздельнополые животные. Оплодотворение происходит в воде. Из оплодотворенной яйцеклетки образуется свободноплавающая личинка.

Класс Сцифоидные (гр. *сцифос* — чаша). Включает крупных медуз, диаметр которых в поперечнике от 30 до 200 см. Есть и истинные гиганты. В арктических водах обитает *полярная медуза*, имеющая зонтик диаметром 1,5 м при длине щупалец около 10—15 м. В Черном море массовым видом является плоская, как блюдо, *ушастая медуза* с диаметром зонтика до 10 см и более.

В связи с крупными размерами и большой подвижностью у сцифоидных медуз сильно разветвлена система пищеварительных каналов (рис. 9.8). Усложнена и нервная система: по краю зонтика у них имеются скопления нервных клеток — ганглии, светочувствительные глазки и органы равновесия.

Класс Коралловые полипы. Коралловые полипы многочисленны и разнообразны в теплых водах тропических и субтропических морей и океанов, где зимой температура воды не опускается ниже 20 °С. Это одиночные и колониальные кишечнополостные, у которых нет поколения медуз. На дне мелководий морей и океанов многочисленны *актинии*, способные медленно передвигаться (рис. 9.9, а). Их крупное мешковидное тело прикрепляется к субстрату широкой подошвой. На свободном конце вокруг рта расположены многочисленные толстые щупальца. Яркая окраска и подвижные венчики щупалец делают полипы похожими на цветы. Даже латинское название класса **Антозоа** отражает это сходство (лат. *антон* — цветок, *зоон* — животное).

В отличие от одиночных актиний, *каменистые кораллы* (рис. 9.9, б), имеющие известковый или роговой скелет, образуют многолетние колонии. Живые особи в них расположены на поверхности, а основную часть составляет скелет отмерших поколений коралловых полипов, иногда достигающих огромных размеров. Так образуются коралловые рифы: береговые, барьерные и кольцевые рифы, атоллы. Береговые и барьерные рифы представляли большую опасность для парусных судов с деревянным корпусом. Вместе с тем барьерные рифы, например Большой барьерный риф Австралии, создают в прибрежной части спокойную зону для рыболовства и туризма, защищая ее от разрушительных волн Тихого океана.

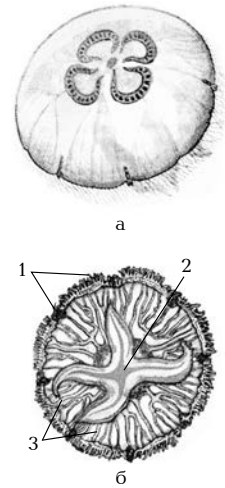


Рис. 9.8. Аурелия (ушастая медуза), вид сверху (а) и вид снизу (б): 1 — щупальца; 2 — рот; 3 — каналы пищеварительной системы

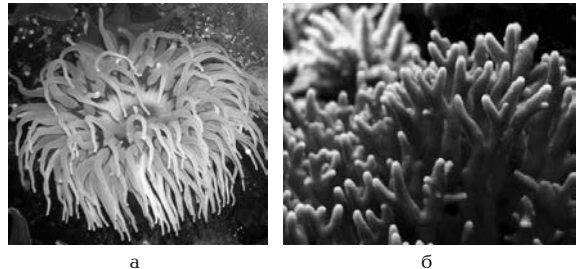


Рис. 9.9. Коралловые полипы: а — актиния; б — каменистые кораллы

Значение кишечнорастных

Кишечнорастные наиболее распространены и многочисленны в морях. Здесь они имеют существенное значение в цепях питания. Кишечнорастные питаются мелкими плавающими животными, а их самих едят многие виды рыб. Кроме того, щупальца и колокол, например полярной медузы, служат убежищем для мальков трески. Некоторые виды актиний поселяются на панцире раков-отшельников и защищают их от врагов, а актинии, в свою очередь, питаются остатками пищи раков.

Очень разнообразны морские кишечнорастные. Наиболее разнообразны и многочисленны они на коралловых рифах.

Для Черного и других морей характерна медуза *корнерот*, в некоторых странах употребляемая в пищу. Ее называют «хрустальное мясо».

Питаясь взвешенными органическими частичками, коралловые полипы играют важную роль в очищении морской воды.

Известковый скелет колониальных коралловых полипов используется в качестве строительного материала. Из рогового скелета *красного благородного коралла* изготавливают украшения.

Стрекательные клетки многих видов кишечнорастных опасны для человека. Так, в Японском море и вблизи Курильских островов в летнее время в массе встречается маленькая (диаметр зонтика 15—25 мм) гидроидная медуза *крестовичок*. Она обычно держится на мелководьях в зарослях морской травы. У человека крестовичок вызывает ощущение сильного ожога. На месте поражения появляются волдыри, а через 10—30 мин человек испытывает общую слабость, у него затрудняется дыхание, немеют руки и ноги. Если не оказать своевременную помощь, человек может погибнуть.

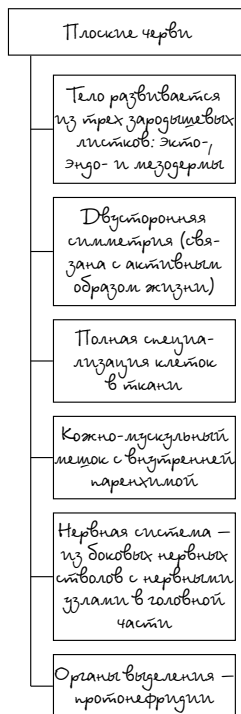
Сильный ожог, сопровождающийся острой болью, общим тяжелым состоянием, вызывают *физалии*, или «португальские кораблики», иногда образующие на поверхности моря массовые скопления. Неприятные ощущения, похожие на ожог крапивы, возникают и при соприкосновении с черноморским *корнеротом* и крупными *ушастыми медузами*.

ТИП ПЛОСКИЕ ЧЕРВИ

Тип включает около 25 тыс. видов морских и пресноводных свободноживущих хищных животных, а также опасных паразитов позвоночных животных и человека. Животные имеют двустороннюю симметрию тела, развиты ткани, органы и системы органов. Тело плоское, листовидное или лентовидное. Стенку тела образует кожно-мускульный мешок, в котором заключены все внутренние органы. Пространство между кожно-мускульным мешком и внутренними органами заполнено клетками паренхимы. Пищеварительная трубка замкнутая, так как нет задней кишки и анального отверстия. Гермафродиты, оплодотворение внутреннее. Развитие прямое или со стадией личинки. Наиболее широко распространены и известны представители трех классов: Ресничные черви, Сосальщико и Ленточные черви.

Класс Ресничные черви

В ручьях и реках, озерах, прудах, канавах на нижней стороне подводных предметов, камнях, в пазухе листьев растений обитают *планарии*



(рис. 9.10). Это небольшие (до 2 см) хищные черви. Днем они прячутся в укромных местах, ночью охотятся. Добычей их являются различные мелкие черви, моллюски, рачки.

Кожно-мускульный мешок. У планарий, как и у всех червей, развит кожно-мускульный мешок (рис. 9.11, а), в котором заключены все внутренние органы. Он образован одним слоем эпителиальных клеток, несущих реснички, и расположенными под ним тремя видами мышц: кольцевыми, косыми и продольными. С помощью биения ресничек и движений мышц планарии могут плавно скользить по поверхности подводных предметов и плавать.

Пространство между кожно-мускульным мешком и внутренними органами заполнено *паренхимой* — рыхлой клеточной массой соединительной ткани. Паренхима служит опорой для мышц, переносит питательные вещества и продукты жизнедеятельности, в ее клетках содержится запас питательных веществ. Благодаря паренхиме планарии способны к регенерации — восстановлению целого организма из части тела и заживлению повреждений.

Пищеварительная система (рис. 9.11, б). Представлена двумя отделами: *передним* (рот, глотка) и *средним*, сильно разветвленным и слепо замкнутым кишечником. Рот у планарий находится на брюшной стороне тела и ведет в мускулистую глотку. При захвате добычи червь выворачивает наружу глотку, проникает в тело жертвы и высасывает ее. У напившейся планарии сквозь покровы хорошо виден разветвленный кишечник. В кишечнике пища переваривается и всасывается, а непереваренные остатки удаляются через рот. У планарии, как и у всех плоских червей, кишечник замкнутый, поскольку нет задней кишки и анального отверстия.

Кровеносной и специальной **дыхательной систем** нет. Дышат планарии всей поверхностью плоского тела, извлекая из воды кислород, поэтому ресничные черви живут в чистой, богатой кислородом воде. Удаление углекислого газа происходит также через покровы тела.



Рис. 9.10. Планария

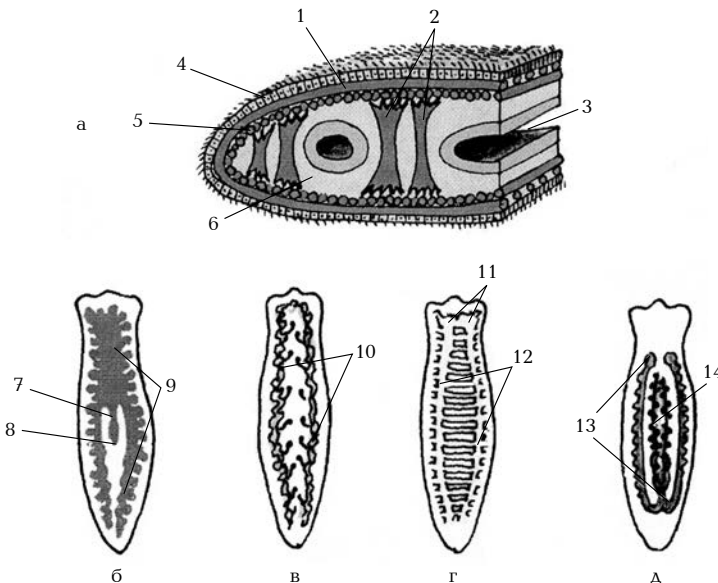


Рис. 9.11. Строение планарии: поперечный разрез (а), системы органов: пищеварительная (б), выделительная (в), нервная (г), половая (д): 1 — кольцевые мышцы; 2 — спинно-брюшные мышцы; 3 — кишечник; 4 — эпителий; 5 — продольные мышцы; 6 — паренхима; 7 — глотка; 8 — рот; 9 — кишечник; 10 — каналы; 11 — парный нервный узел; 12 — нервные стволы; 13 — женская; 14 — мужская

Выделительная система. Выведение продуктов жизнедеятельности от клеток тканей и органов происходит через специальные, пронизывающие все тело планарии, многочисленные тонкие каналы. Конец каждого бокового канала заканчивается клеткой с пучком постоянно колеблющихся ресничек. Благодаря движению ресничек просачивающиеся в каналы жидкие продукты обмена веществ, выделяемые клетками организма, поступают далее в более крупные выделительные каналы, а из них выводятся наружу. Такая впервые появившаяся выделительная система называется *протонефридной* (рис. 9.11, в).

Нервная система. У планарий, ведущих подвижный хищный образ жизни, нервная система устроена сложнее, чем у кишечнотелостных. В передней части тела нервные клетки концентрируются и образуют парный нервный узел, от которого отходят нервные стволы, дающие многочисленные ответвления нервов к органам и тканям (рис. 9.11, г). Есть у планарий и органы чувств: глаза, органы равновесия. Они также воспринимают вкусовые и обонятельные раздражители.

Размножение и развитие. Планарии — гермафродиты. Каждая особь имеет мужскую и женскую половые системы (рис. 9.11, г). Их размножение происходит летом при обилии пищи и благоприятных условиях среды. Оплодотворение внутреннее. Отложенные яйца покрываются оболочкой и образуют кокон, который прикрепляется к различным подводным предметам и листьям растений. Из кокона выходят молодые планарии.

Паразитические плоские черви

Среди плоских червей много паразитов, которые относятся к классам Сосальщики и Ленточные черви.

Сосальщики в отличие от планарий не имеют ресничек на покровах. Покровы их уплотненные и выделяют слизь, защищающую червей от действия пищеварительных соков кишечника хозяина, где они обитают. Чтобы удержаться в кишечнике, сосальщики имеют две присоски — ротовую с ротовым отверстием и брюшную (рис. 9.12). Рот ведет в глотку, за которой следует разветвленный слепо замкнутый кишечник. Пищу черви всасывают из организма хозяина.

Выделительная и нервная системы. У сосальщиков эти системы такие же, как и у планарий, но часто отсутствуют некоторые органы чувств (например, орган зрения) из-за паразитического образа жизни.

Размножение и развитие. Сосальщики — гермафродиты. Половая система у них устроена сложно и занимает большую часть тела. Взрослые черви живут и размножаются в организме позвоночных животных. Рассмотрим особенности размножения и развития сосальщиков на примере печеночного сосальщика.

Печеночный сосальщик имеет размер 2,5—3 см, живет в протоках печени коров, овец, коз, оленей, зубров, редко у человека (рис. 9.13). Это основные хозяева — в них происходит половое размножение паразита. Червь питается кровью и клетками печени. Очень плодовит, в сутки червь выделяет до 20 тыс. яиц, которые через пищеварительную систему хозяина выводятся во внешнюю среду. Для дальнейшего развития яйца должны попасть в воду, где из яиц выходит личинка, покрытая ресничками. Она плавает некоторое время, и ее дальнейшее развитие происходит в теле пресноводной улитки — малого прудовика. В печени улитки паразит развивается и размножается, в результате чего образуется новое поколение подвижных личинок, покидающих прудовика и выходящих в воду. Они плывут к прибрежным

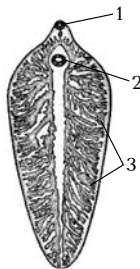


Рис. 9.12. Пищеварительная система печеночного сосальщика: 1 — ротовая присоска; 2 — брюшная присоска; 3 — кишечник

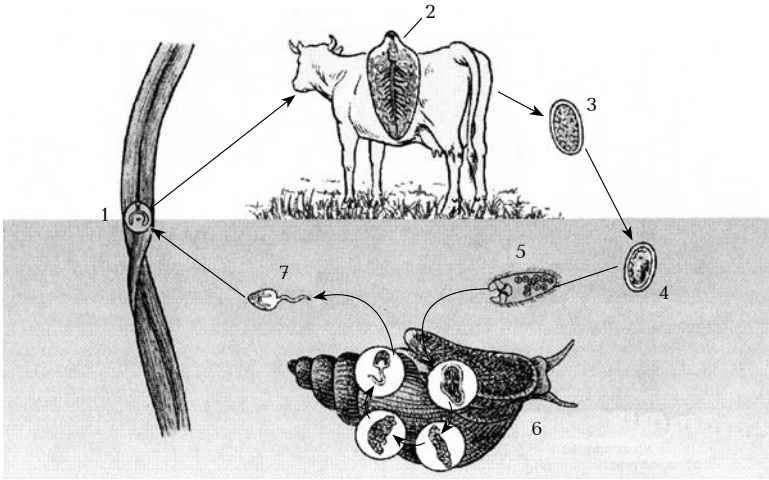


Рис. 9.13. Цикл развития печеночного сосальщика: 1 — циста; 2 — взрослый червь; 3 — яйцо; 4 — яйцо с личинкой; 5 — личинка; 6 — развитие сосальщика в теле прудовика; 7 — новое поколение личинок

растениям, прикрепляются к ним, покрываются оболочкой и превращаются в цисты. В таком покоящемся состоянии они могут оставаться долгое время, пока не будут проглочены животными-хозяевами вместе с прибрежной растительностью или при питье воды. В кишечнике хозяина оболочка цисты разрушается, личинка проникает в протоки печени и развивается во взрослого червя.

Сосальщики, паразитируя в печени сельскохозяйственных животных, ослабляют их, нарушают пищеварение, снижают их продуктивность.

Ленточные черви являются паразитами позвоночных животных. Тело их напоминает ленту, состоящую из разного числа (от 4 до 1000) члеников (рис. 9.14). На переднем конце находится головка с присосками для прикрепления к стенке кишечника хозяина. За головкой расположена шейка — зона роста, от которой постоянно отделяются новые молодые членики, которые постепенно увеличиваются в размерах. Отличительной особенностью ленточных червей является отсутствие у них пищеварительной системы. Пищу они всасывают покровами тела, покрытыми мелкими ворсинками, увеличивающими поверхность всасывания.

У ленточных червей в каждом членике имеется своя гермафродитная половая система. Оплодотворенные яйца накапливаются в члениках и постепенно, после отделения новых члеников от шейки, смещаются к концу тела. Здесь находятся членики, набитые яйцами. Эти членики называются зрелыми.

Бычий цепень живет в кишечнике плотоядных животных и человека 18—20 лет. За это время в его члениках образуются и выделяются около 11 млрд яиц.

Развитие проходит со сменой двух хозяев (рис. 9.15). Одним из основных хозяев может быть человек. Зрелые членики выводятся из кишечника. Они могут быть проглочены крупным рогатым скотом с загрязненной травой. В кишечнике коровы (промежуточного хозяина) из яиц выходят личинки, через стенку кишечника проникают в кровь, которая разносит их по телу животного, и оседают в мышцах. Здесь образуются новые личинки — финны.

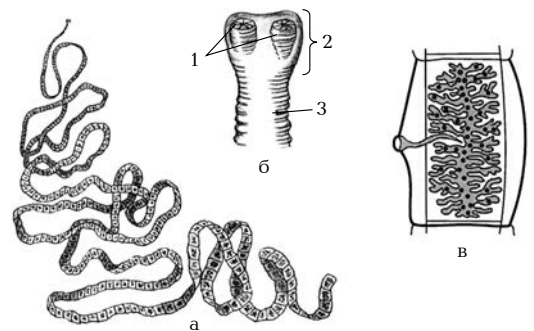
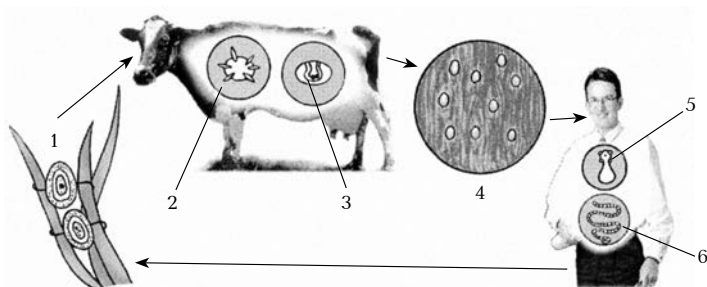


Рис. 9.14. Бычий цепень: а — взрослый червь; б — передний конец тела; в — зрелый членик с наполненной яйцами маткой; 1 — присоски; 2 — головка; 3 — шейка

Рис. 9.15. Цикл развития бычьего цепня: 1 — яйца; 2 — личинка; 3 — финна; 4 — финнозное мясо (мышцы); 5 — головка цепня; 6 — взрослый червь



Финна имеет форму пузыря, на одном конце которого завернута внутрь головка с шейкой. Если человек ест плохо проваренное или прожаренное финнозное мясо, попробует сырой фарш, из него финна попадает в кишечник, в котором головка с шейкой выворачивается и прикрепляется к стенке кишечника. Червь растет и отпочковывает членики. В каждом членике развивается половая система, в которой образуются половые клетки и происходит оплодотворение. Зрелые членики с яйцами отрываются и выводятся наружу.

Ленточные черви не только истощают организм человека, питаются за его счет. Они нарушают пищеварение, отравляют его продуктами жизнедеятельности и вызывают малокровие.

У человека могут паразитировать также *свиной цепень* и *эхинококк*. Свиной цепень имеет на головке не только присоски, но и крючья, поэтому изгнание его из кишечника больного человека более затруднительно. Промежуточным хозяином его являются дикие кабаны и свиньи.

Эхинококк — маленький червь около 5 мм паразитирует у собак и других хищников, которые являются основными хозяевами. Яйца эхинококка, выделенные пастушьими собаками, лисами, волками, могут оказаться на траве, на шерсти собак. Промежуточные хозяева эхинококка — человек и травоядные животные. Личинка эхинококка развивается в разных органах промежуточных хозяев, образуя в них финны размером с небольшой мяч. Чтобы избежать заражения, человеку следует мыть руки всякий раз после контакта с животными.



ТИП КРУГЛЫЕ ЧЕРВИ, ИЛИ НЕМАТОДЫ

Тип включает около 20 тыс. видов, обитающих на дне и в толще водоемов, в почве, многие из них являются опасными паразитами животных, человека и растений. Круглые черви — это животные с упругим, тонким, длинным, заостренным на концах телом и круглым в поперечнике. Имеют полость тела, которая образовалась путем разрушения клеток паренхимы между стенкой тела и внутренними органами. Полость тела заполнена жидкостью и выполняет опорную и транспортную функции. Кишечник круглых червей сквозной — начинается ротовым отверстием и заканчивается анальным. В отличие от плоских червей, большинство круглых червей раздельнополы. Оплодотворение у них внутреннее, развитие с личиночной стадией.

Размеры большинства свободноживущих видов круглых червей небольшие, даже микроскопические, а среди паразитов есть гиганты, достигающие в длину 8 м (паразит китов).

Наиболее известным представителем круглых червей является *аскарида человеческая*, паразитирующая в кишечнике. Это довольно крупный червь длиной до 25 см, желтоватого цвета (рис. 9.16). Тело червя тонкое, цилиндрическое, сужено с обоих концов.

Кожно-мускульный мешок. Снаружи аскарида покрыта многослойной кутикулой, которая защищает ее тело от переваривающего действия пищеварительных соков хозяина и дает опору для мускулатуры. Под ней находится однослойный кожный эпителий, выделяющий вещество кутикулы. Под эпителием расположен слой продольных мышц, сокращения которых приводят к зигзагообразным движениям тела червя. Кутикула вместе с эпителием и продольными мышцами образует кожно-мускульный мешок.

Важная особенность строения аскариды, как и всех круглых червей, — наличие *полости тела*, заполненной жидкостью. Полостная жидкость находится под давлением и является своеобразным гидроскелетом, придавая телу упругость. В полости тела расположены внутренние органы, а полостная жидкость обеспечивает перенос питательных веществ от кишечника к клеткам мускулатуры и половой системы. Через нее же происходит транспорт продуктов обмена к органам выделения.

Пищеварительная система. Представляет собой сквозную кишечную трубку (рис. 9.17). На переднем конце тела находится рот, окруженный тремя губами и ведущий в ротовую полость и далее в мускулистую глотку, способную работать как насос. В средней кишке происходит пищеварение и всасывание питательных веществ. За средней кишкой следует задняя кишка, открывающаяся наружу в задней части тела анальным отверстием. Таким образом, у аскариды, как и у всех круглых червей, кишечная трубка сквозная. Аскариды питаются, заглатывая полупереваренную пищу из кишечника человека.

Выделительная система. Продукты обмена веществ накапливаются в полостной жидкости, откуда затем поступают в два боковых выделительных канала, сливающихся друг с другом и открывающихся в передней части тела выделительным отверстием.

Дыхание. У аскарид такое же дыхание, как и у паразитических плоских червей, т. е. без участия кислорода.

Нервная система. Представлена окологлоточным нервным кольцом и отходящими от него нервными стволами, соединенными между собой поперечными нервными перемычками.

У аскариды на губах имеются органы вкуса. Чувствительные клетки и сощочки, воспринимающие прикосновение, разбросаны по всему телу.

Размножение. Все круглые черви раздельнополые животные. У аскариды самцы и самки различаются внешне: самцы более мелкие, их задний конец крючковидно изогнут (см. рис. 9.16). Явление, когда самцы и самки внешне различаются, называется **половым диморфизмом**.

Половая система самца представлена нитевидным семенником. У самки парные нитевидные яичники (см. рис. 9.17). Оплодотворение внутреннее. Самка аскариды, как и все паразиты, производит огромное число яиц, достигающее 250 тыс. в сутки. Яйца из кишечника выходят наружу. Для дальнейшего развития в них личинки необходима среда, содержащая кислород. Через 3–4 недели в яйце развивается личинка. Яйцо с личинкой уже способно вызвать заражение нового хозяина. Яйца микроскопические и липкие. Они могут прилипать к овощам и фруктам, к рукам, а затем попадать в рот человека. Их могут принести на своих лапках мухи и тараканы, ползающие по продуктам и посуде.



Рис. 9.16. Аскарида человеческая

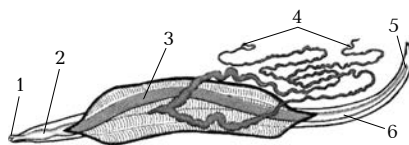
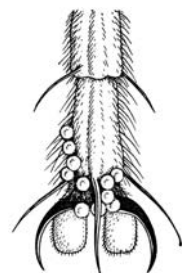


Рис. 9.17. Внутреннее строение аскариды (самки): 1 — рот; 2 — глотка; 3 — средняя кишка; 4 — яичники; 5 — анальное отверстие; 6 — задний отдел кишечника



Личинка из яиц аскариды

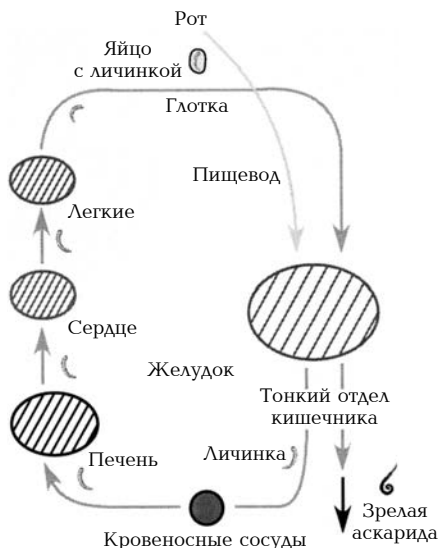


Рис. 9.18. Схема перемещения личинок аскариды в теле человека

Оболочка проглоченных яиц в желудке растворяется, и вышедшая личинка пробуравливает стенку кишечника и проникает в кровь (рис. 9.18). Снова needing в кислороде для дальнейшего развития, она по кровеносному руслу попадает в легкие, из легких поднимается по трахее и гортани в глотку и со слюной заглатывается повторно (происходит так называемое вторичное заражение). Попадая в кишечник, личинки питаются содержимым кишечника, растут, превращаются во взрослых аскарид и приступают к размножению.

Живет аскарида в кишечнике человека около года. Она выделяет ядовитые продукты обмена веществ, которые вызывают у человека расстройства пищеварения и боли. Когда аскарид в кишечнике много, они могут сплетаться в комки, вызывать закупоривание кишечника, подниматься по нему вверх и попадать в горло. Это может привести к удушью и смерти.

Круглые черви — паразиты человека, животных и растений. Среди круглых червей, помимо аскариды, есть много других паразитов человека и животных, которых часто называют глистами, или гельминтами, а заболевания, вызванные паразитическими червями, — гельминтозами. К ним прежде всего относятся детская острица, власоглав и трихина.

Детская острица встречается преимущественно у детей, но могут ею заразиться и взрослые. Острица — беловатый червь длиной до 0,8 см — живет в кишечнике хозяина. Для откладывания яиц оплодотворенные самки выползают к заднему проходу. Клейкая жидкость, которой приклеиваются яйца к коже, вызывает сильный зуд. Дети расчесывают кожу, и яйца остриц попадают под ногти, а с грязных рук в рот. Так происходит повторное заражение паразитом. Часть яиц выделяются с калом и, попав в питьевую воду, на пищевые продукты и предметы обихода, заражают других людей. Живет острица около месяца.

Власоглав — более крупный паразит, длина его достигает 5 см (рис. 9.19). Передняя половина тела червя тонкая, волосовидная, задняя — более толстая. Живет в кишечнике. Своей передней волосовидной частью он проникает под эпителий кишечника и крепко удерживается там, питаясь клетками эпителия и крови. Массовое развитие паразитов может привести к малокровию. Заражение происходит аналогично заражению аскаридами и острицами.

Очень опасна для здоровья человека *трихина*, которая часть своей жизни проводит, подобно предыдущим видам, в кишечнике, а часть — в мышцах животного-хозяина и никогда не покидает его организм. Хозяевами трихины служат

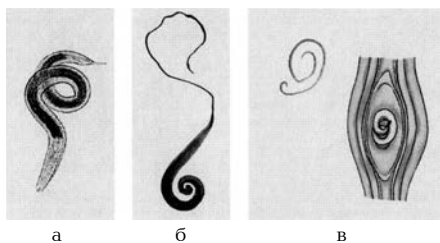


Рис. 9.19. Круглые черви — паразиты человека: а — детская острица; б — власоглав; в — трихина и ее личинка в мышцах

различные млекопитающие (хищники, насекомоядные, грызуны, ластоногие), в том числе и человек, у которого она вызывает тяжелое заболевание — трихинеллез. Заражение людей происходит при употреблении в пищу зараженной свинины, мяса кроликов. Микроскопические личинки трихины находятся в мышцах больных животных. Если человек съел зараженное мясо, в его организме капсулы с личинками разрушаются, молодые трихины скапливаются в кишечнике, быстро достигают половозрелости и размножаются. Образовавшееся новое поколение молодых трихин мигрирует в кровеносные сосуды стенки кишечника. Во время массового проникновения личинок в кровеносные сосуды у человека поднимается температура (иногда до 40 °С

и выше), развиваются отеки лица и особенно век, изменяется состав крови. Если трихин очень много, болезнь может иметь смертельный исход.

Затем личинки выходят в кровяное русло разных частей тела человека, внедряются в мускулатуру, где питаются, растут, разрушая мышечные волокна. Спустя некоторое время личинки сворачиваются спирально, покрываются защитной оболочкой (капсулой). В таком виде они могут находиться в мышцах долгие годы, не погибая и не причиняя боли хозяину.

Паразиты не погибают даже при кулинарной обработке мяса, поэтому туши зараженных животных уничтожаются. Каждая туша убитого животного должна пройти ветеринарный контроль, и только после этого мясо может поступать в продажу. Это касается не только животных, выращенных в домашних условиях, но еще в большей степени диких животных, добытых на охоте.

Трихинеллез широко распространен у крыс. Больные трихинеллезом и погибшие крысы могут быть съедены домашней свиньей. Обычно именно так происходит их заражение. Чтобы избежать этого, на свинофермах и в свинарниках крыс необходимо уничтожать.

Как плоские, так и круглые паразитические черви, обитающие в организме человека и животных, имеют особые приспособления к паразитическому образу жизни. Их тело покрыто плотными, химически стойкими покровами, предохраняющими их от расщепляющего действия пищеварительных соков хозяина. Многие паразиты имеют специальные органы прикрепления (присоски, крючки и др.). Им свойственны высокая плодовитость и сложные циклы развития, часто со сменой хозяина, которые направлены на защиту организма-хозяина от сильного заражения паразитами. В то же время у паразитов отсутствуют некоторые органы, которые не нужны им при жизни внутри хозяина (например, некоторые органы чувств, чаще всего зрения; у ленточных червей отсутствует пищеварительная система).

Меры профилактики заболевания гельминтозами. Нужно помнить, что опасность заражения человека паразитическими червями существует всегда. Зараженный человек сам становится источником заражения для окружающих, поэтому детей дошкольного возраста, школьников, работников пищеблоков и другие категории населения обязательно обследуют на наличие яиц паразитических червей.

Чтобы уберечься от заражения, необходимо выполнять простые правила: мыть руки с мылом перед едой, тщательно мыть овощи и фрукты, пить только кипяченую воду, употреблять в пищу прожаренные и проваренные мясо и рыбу. Необходимо защищать пищевые продукты и посуду от переносчиков яиц паразитов — мух и тараканов.

Нематоды — паразиты растений. Среди круглых червей есть виды, паразитирующие в тканях растений. Наибольший вред сельскохозяйственным растениям в Беларуси приносят *картофельная, земляничная и луковая нематоды*. Микроскопические нематоды питаются на корнях картофеля и клубники. Их может быть так много, что растения ослабевают и перестают плодоносить. У картофеля не образуются клубни, у клубники не формируются или сбрасываются цветки. Луковая нематода паразитирует в тканях лукович лука и чеснока. Бороться с нематодами сложно и дорого. Самый простой метод — смена культур в севообороте.

Однако большинство видов круглых червей — микроскопические свободноживущие обитатели дна водоемов и почвы, питающиеся мертвыми органическими веществами, или хищники. Они играют важную роль в круговороте веществ в природе и, безусловно, полезны в процессах почвообразования.

У круглых червей появляется сквозная пищеварительная система, первичная полость тела (полостная жидкость обеспечивает обмен веществ между клетками тела)

ТИП КОЛЬЧАТЫЕ ЧЕРВИ

Тип Кольчатые черви объединяет около 9000 видов, обитающих в морях, пресных водоемах и почве. По сравнению с плоскими и круглыми кольчатые черви (кольчецы) являются более высокоорганизованными животными. Их тело состоит из сегментов (колец), число которых у организмов разных видов составляет от 5 до 300. Сегментированность выражается не только во внешней, но и во внутренней организации, в повторяемости внутренних органов, в разделении перегородками полости тела на отдельные камеры. У морских кольчатых червей тело имеет отделы: головной, туловищный и анальную лопасть, появились примитивные лопастевидные конечности, развита кровеносная система, у животных некоторых групп впервые развились органы дыхания (жабры), более совершенная нервная система и органы чувств.

Тип включает три класса: Многощетинковые, Малощетинковые и Пиявки.

Познакомимся со строением кольчатых червей на примере известного всем дождевого червя — представителя класса Малощетинковые.

Образ жизни дождевого червя. Дождевые черви обитают в почве. Они лишь изредка появляются на ее поверхности в ночное время или после дождя. В почвах, богатых перегноем, или возле навозных куч червей особенно много. В сухой почве дождевые черви не встречаются.

Дождевой червь имеет сильно вытянутое (длиной до 10—15 см), округлое в поперечном сечении тело, способное сокращаться и удлиниться. Тело дождевого червя, как и всех кольчатых червей, состоит из сегментов, т. е. одинаково устроенных участков тела в виде колец, повторяющихся вдоль продольной оси (отсюда и название типа). Число сегментов у него более 100. В передней трети тела дождевого червя заметно небольшое утолщение — *поясок*.

На брюшной и боковых сторонах червя имеются упругие и короткие *щетинки*. Они помогают червю двигаться вперед по поверхности земли и особенно во время рытья норки. Наличие небольшого числа щетинок — характерная особенность всего класса малощетинковых кольчатых червей. Дождевой червь имеет красновато-коричневую окраску, его брюшная сторона светлее спинной.

Кожно-мускульный мешок (рис. 9.20). Тело дождевого червя снаружи защищено эластичной кутикулой, образуемой клетками однослойного эпителия, залегающими под кутикулой. Многочисленные железы этого слоя выделяют слизь, которая при жизни в почве облегчает движение и обеспечивает возможность кожного дыхания червя. Под наружным покровным слоем расположены два слоя мышц: кольцевые, а глубже — мощные продольные. Кожные покровы и мускулатура образуют *кожно-мускульный мешок*. Сокращения и расслабления мышц вызывают изменение длины и толщины тела, способствуя движению червей, которое и называется червеобразным.

Полость тела. Внутри кожно-мускульного мешка находится полость тела, выстланная эпителием и заполненная жидкостью (см. рис. 9.20). В ней расположены внутренние органы. Полость тела разделена эпителиальными перегородками сегментов на камеры, число которых соответствует числу колец червя. Такое строение препятствует гибели животного при повреждении отдельных участков тела.

Подобный принцип строения животного был использован человеком в конструкции подводных лодок и кораблей, корпус

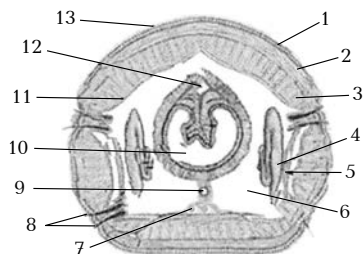


Рис. 9.20. Поперечный разрез тела дождевого червя: 1 — покровный эпителий; 2 — кольцевые мышцы; 3 — продольные мышцы; 4 — метанефридий; 5 — мышцы, управляющие щетинками; 6 — полость тела; 7 — брюшная нервная цепочка; 8 — щетинки; 9 — брюшной сосуд; 10 — кишечная полость; 11 — эпителий полости тела; 12 — спинной сосуд; 13 — кутикула

которых разделен на отсеки, что позволяет избежать затопления при повреждении какой-либо части судна.

Благодаря сегментации тела дождевые черви, даже случайно разрезанные на две части, восстанавливают (регенерируют) недостающие органы и ткани.

Пищеварительная система. Дождевой червь питается перегнившими растительными остатками, которые он заглатывает вместе с землей. Он может затаскивать в свою земляную норку опавшие листья и проглатывать их по частям. *Рот* дождевого червя расположен на переднем конце тела, ведущем в *ротовую полость* и далее в мускульную *глотку*. Из глотки пища продвигается в *пищевод*, задняя часть которого расширена и образует *зоб*, где пища накапливается. Затем пища поступает в *желудок*. Его мускульные стенки помогают измельчать и смешивать пищу с пищеварительными соками, что улучшает ее переваривание. Завершение переваривания и всасывание растворенных питательных веществ происходит в *средней кишке*. Непереваренные остатки обезвреживаются в *задней кишке* и удаляются через *анальное отверстие*.

У дождевого червя развиты *известковые железы*, секрет которых по потокам поступает в зоб и нейтрализует кислоты гумуса почвы. Таким образом, у кольчатых червей впервые появляется разделение переднего отдела кишечника на ряд органов (пищевод, зоб, желудок) и развиваются пищеварительные железы.

Кровообращение и дыхание. У кольчатых червей впервые развилась кровеносная система (рис. 9.21). Она образована двумя продольными сосудами: *спинным* и *брюшным*, соединяющимися в каждом сегменте *кольцевыми* сосудами. От основных сосудов отходят более тонкие, переходящие в густую сеть подкожных *капилляров*. Сеть кровеносных сосудов не только переносит питательные вещества от кишечника ко всем органам и тканям, но и обеспечивает возможность *кожного дыхания* животного. Через поверхностные капилляры кожи поглощается растворенный в слизи кислород и удаляется углекислый газ.

Сердца у кольчатых червей нет, движение крови происходит за счет сокращения спинного сосуда и нескольких передних кольцевых. Наличие клапанов в спинном продольном и кольцевых сосудах обеспечивает движение крови по спинному — к переднему концу тела, а по брюшному — к заднему. Кровь у червей красная, в ней есть пигменты, активно связывающие кислород и способствующие газообмену. Присутствием в крови этих пигментов и объясняется красный цвет молодых дождевых червей, сквозь тонкие покровы которых просвечивает густая сеть капилляров.

Кровь кольчатых червей течет только по сосудам, не смешиваясь с полостной жидкостью. Такая кровеносная система называется *замкнутой*.

Выделительная система. Она представлена *метанефридиями* (см. рис. 9.21). Метанефридий представляет собой *выделительную трубочку*, имеющую на внутреннем конце, обращенном в полость тела, расширенную *воронку*, окруженную венчиком ресничек, а на внешнем конце — *выделительную пору*. Таких трубочек в каждом сегменте две: левая и правая. Обычно воронка нефридиев расположена в одном сегменте, канал проходит через перегородку между сегментами, а пора открывается

Характерные особенности
кольчатых червей

Вторичная полость
тела, выстланная
мезодермальным
эпителием

Впервые в Эволюции
появляется кровенос-
ная, а у некоторых —
дыхательная систе-
ма и прикипчивые
конечности

Выделительная
система — мета-
нефридии

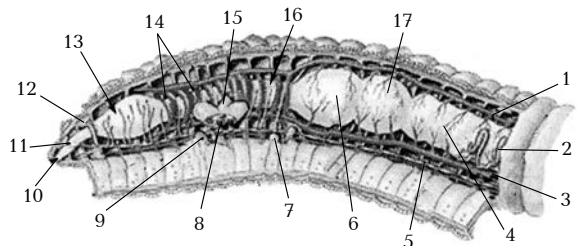


Рис. 9.21. Внутреннее строение дождевого червя: 1 — спинной сосуд; 2 — метанефридий; 3 — брюшной сосуд; 4 — средний отдел кишечника; 5 — брюшная нервная цепочка; 6 — зоб; 7 — яйчник; 8 — семенники; 9 — семяприемник; 10 — рот; 11 — ротовая полость; 12 — окологлоточное нервное кольцо; 13 — глотка; 14 — кольцевые кровеносные сосуды, выполняющие функцию сердец; 15 — семенные пузырьки; 16 — пищевод; 17 — желудок

в следующем сегменте. Вредные продукты жизнедеятельности поступают из полостной жидкости в воронку за счет биения ее ресничек и по каналу выводятся наружу.

Нервная система образована многочисленными нервными узлами (ганглиями), связанными между собой нервными стволами (рис. 9.22). В головном отделе над глоткой расположена пара *наглоточных*, под глоткой — пара *подглоточных* ганглиев, соединенных нервными перемычками в *окологлоточное нервное кольцо*. В каждом сегменте тела кольцецов на брюшной стороне есть пара ганглиев. Все ганглии туловищных сегментов соединены между собой продольными и поперечными нервными

стволами и образуют *брюшную нервную цепочку*. От нервных узлов отходят нервные ответвления к различным органам, в том числе и к органам чувств (вкуса, осязания), которые воспринимают различные раздражения. Благодаря ганглионарному типу строения нервной системы ответные реакции кольчатых червей более быстрые и точные, чем у плоских и круглых червей.

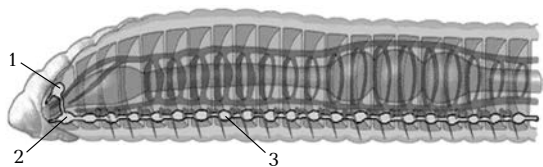


Рис. 9.22. Нервная система кольчатых червей: 1 — наглоточный ганглий; 2 — подглоточный ганглий; 3 — брюшная нервная цепочка

Размножение и развитие. Дождевые черви — *гермафродиты*. В период размножения пара червей соединяется передними частями тела и обменивается сперматозоидами, которые поступают в кожные мешочки — *семяприемники*, после чего черви расходятся. В передней части тела расположено особое утолщение покровов — *лоясок*, образованное железистыми клетками. Клетки пояса выделяют слизь в виде «муфточки». Движениями кожно-мускульного мешка муфточка продвигается к переднему концу тела. В нее сначала поступают через протоки яйцеводов яйца, а затем из семяприемников сперматозоиды другого червя. Так в муфточке происходит оплодотворение яиц. Затем муфточка с оплодотворенными яйцами сползает с переднего конца тела червя, ее края смыкаются и образуется *кокон*, в котором развиваются молодые черви. Дождевые черви обычно откладывают 30—40 коконов в год, содержащих по несколько яиц в каждом. Овальные, коричневатые, размером около 0,5 см коконы дождевых червей могут быть обнаружены при вскапывании огородной грядки или при сборе дождевых червей для рыбалки.

Разнообразие и значение кольчатых червей

Класс Многощетинковые черви. Это типичные и повсеместно распространенные обитатели морей и океанов (рис. 9.23). Они либо свободно плавают в водной среде (*нереис*, *морская мышь*, *палоло*), либо живут в грунте (*пескожил*) или в трубках, построенных из выделений собственных покровов, инкрустированных песчинками или пропитанных известью и прикрепленных к скалам или телам других морских животных (*серпула*).

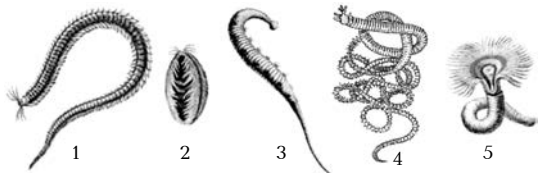


Рис. 9.23. Многощетинковые кольчатые черви: 1 — нереис; 2 — морская мышь; 3 — пескожил; 4 — палоло; 5 — серпула

Поскольку среди многощетинковых червей преобладают свободноживущие подвижные хищные животные, у них возникла необходимость ориентироваться в среде их обитания. Это способствовало развитию у них ряда характерных особенностей строения. Так, они имеют хорошо развитый *головной отдел*, на котором расположены глаза, осязательные усики, обонятельные ямки. Они активно передвигаются с помощью лопастевидных выростов тела с многочисленными щетинками по бокам каждого сегмента. Двигая

ими, кольцецы активно плавают или ползают по дну. На спинной части лопастей у некоторых видов развились кожные выросты, пронизанные густой сетью кровеносных капилляров, — *жабры*.

Все многощетинковые черви — раздельнополые животные. Самки выводят яйца в морскую воду, где происходит оплодотворение. Из оплодотворенного яйца развивается подвижная личинка. Она плавает в толще воды и постепенно превращается во взрослое животное.

Многощетинковые черви служат пищей для морских животных, ими охотно питаются осетровые рыбы, треска.

Класс Малощетинковые черви. Обитают эти черви в пресных водах (*трубочник*) или в почве (*дождевые черви*).

Широко распространены и хорошо известны *дождевые черви*. К ним относится до 300 видов, из которых в Беларуси отмечено около 13. Дождевые черви обитают в почве, почему их правильнее называть *земляными*. Питаются они опавшими листьями, растительными остатками, почвенным перегноем.

Зимуют дождевые черви в почве, на глубине до 1—2 м. Глубоко в почву они уходят и во время летних засух, а при сильных или продолжительных дождях поднимаются на поверхность, так как скопившаяся в почве вода с низким содержанием кислорода препятствует их нормальному газообмену. Именно поэтому мы можем видеть дождевых червей на поверхности почвы после дождя, что и послужило основанием для их бытового названия.

Впервые роль дождевых червей в процессах почвообразования изучил Ч. Дарвин. Позднее изучением дождевых червей занимались и многие другие исследователи. Они установили, что количество червей может достигать 2—20 млн особей на площади в 1 га. В сутки это количество червей способно пропустить через свои кишечники от 100 до 1000 кг почвы со всеми растительными остатками. Затаскивая в почвенные ходы и норки листья и переваривая их, дождевые черви обогащают почву перегноем. Прodelывая в земле ходы, они рыхлят ее, способствуют росту корней и прорастанию семян. Через скважины ходов к корням проникают вода и кислород, необходимые растениям и полезным почвенным микроорганизмам. В выделяемых червями непереваренных комочках содержатся необходимые растениям микроэлементы. Своей деятельностью дождевые черви улучшают структуру почвы и ее химический состав. Выделяемая их железами известь нейтрализует избыточные кислоты сначала в поглощенной пище, а после выведения из кишечника — и в почве.

Дождевыми червями питаются многие наземные животные: лягушки, жабы, скворцы, грачи, ежи, кроты.

Пресноводные малощетинковые черви служат кормом для рыб. К ним относится *трубочник*, используемый и как корм для аквариумных рыб. В природных водоемах трубочник питается илом и часто достигает высокой численности. На дне загрязненных водоемов, в реках и городских прудах количество трубочников может достигать 100 тыс. особей на 1 м². Такие скопления хорошо заметны на илистом дне в виде красных пятен. Питаясь разлагающимися органическими остатками, трубочники способствуют биологической очистке воды.

Класс Пиявки. Представители этого класса — паразиты или хищники. Наиболее известны *медицинская* (рис. 9.24), *большая* и *малая ложноконские*, *улитковая*, *птичья*, *рыбья* пиявки. Обитают они чаще всего в стоячих или слабопроточных пресных водоемах (болотах, прудах, речных заводях). В связи с особенностями питания у них развились челюсти и мускулистая глотка для проникновения в покровы жертвы и кровососания. Секрет, выделяемый глоточными железами, препятствует свертыванию крови, которая



Рис. 9.24. Медицинская пиявка

накапливается и может длительно храниться в объемистом и легко растяжимом кишечнике. Удерживаются пиявки на теле хозяина с помощью двух присосок: передней, или ротовой, и задней.

В природных условиях пиявки сосут кровь рыб, птиц, млекопитающих, иногда даже человека, однако вред от них невелик. В медицинской практике используется *медицинская пиявка* (см. рис. 9.24). Секрет ее слюнных желез содержит особое вещество, разжижающее кровь и препятствующее ее свертыванию. Оно предотвращает образование тромбов, которые могут вызывать закупорку кровеносных сосудов у человека. Используются выращенные в лабораторных условиях медицинские пиявки при таких заболеваниях, как гипертония, склероз, инсульт, для рассасывания подкожных кровоизлияний (синяков). В Беларуси медицинская пиявка встречается в водоемах южных областей, на Полесье.

ТИП МОЛЛЮСКИ

Моллюски — один из самых богатых по числу видов тип животных, включающий около 130 тыс. видов. Они очень разнообразны по строению, местам обитания. Большая часть видов моллюсков — обитатели морей и океанов (устрицы, мидии, кальмары, осьминоги и др.). Значительно беднее они представлены в пресных водоемах (беззубки, перловицы, прудовики, живородки). Легочные моллюски освоили сушу, перешли к дыханию атмосферным воздухом, но живут лишь во влажных местообитаниях (виноградная и садовые улитки, слизни). Некоторые из легочных моллюсков постоянно живут в воде, периодически поднимаясь к ее поверхности за свежей порцией воздуха (прудовики, катушки).

Тело большинства моллюсков подразделено на отделы: голову, ногу и туловище, заключенное в раковину. Тело моллюсков мягкое, так как большая часть полости тела заполнена клетками паренхимы. Характерной чертой строения моллюсков является наличие мантии — кожистой складки, находящейся под раковинной. Ее функции: выделение вещества раковины, образование мантийной полости, участие в дыхании и др. Кровеносная система незамкнутая. Органами дыхания у подавляющего большинства моллюсков являются жабры, у небольшой группы — легкие. Нервная система сходна по строению с кольчатыми червями, т. е. ганглионарного типа. У подвижных головоногих моллюсков хорошо развиты органы чувств — зрение, обоняние, вкус. Большинство моллюсков раздельнополые, некоторые — гермафродиты. Оплодотворение внутреннее, развитие прямое или с личиночной стадией.

Наиболее распространенными и массовыми являются моллюски трех классов: Брюхоногие, Двустворчатые и Головоногие. Особенности их строения и жизнедеятельности рассмотрим на примере хорошо известных их представителей.

Брюхоногие моллюски

Познакомимся с организацией брюхоногих моллюсков на примере прудовика — широко распространенного вида, обитающего в заросших мелководьях озер, рек, каналов и прудов.

Внешнее строение прудовика. Тело прудовика, как и у большинства моллюсков, включает три отдела: *голову, туловище и ногу* (рис. 9.25). На нижней

Прогрессивные изменения у моллюсков: образование нервных узлов в отделах тела; появление сердца; пищеварительной железы; слияние сегментов в отделы тела; наличие раковины

стороне головы расположен рот, а выше рта — два подвижных осязательных *щупальца*, у основания которых лежит пара *глаз*.

Мускулистая *нога* имеет вид широкой подошвенной пластинки. Благодаря волнообразным сокращениям мышц ноги, моллюск медленно скользит по стеблям и листьям подводных растений. Расположение ноги на брюшной стороне дало основание для названия класса — Брюхоногие.

Туловище у прудовика смещено на спинную сторону. Оно покрыто кожной складкой — *мантией*. Между участком мантии и туловищем имеется *мантийная полость*, сообщающаяся с внешней средой дыхательным отверстием. Оно окружено кольцевыми мышцами, при расслаблении которых дыхальце открывается, при сокращении — закрывается.

При прикосновении к моллюску он полностью втягивает свое тело в раковину. *Раковина* защищает мягкое тело моллюска от повреждений, хищников и дает опору для мышц. Образуется раковина кожным эпителием мантии. Раковина снаружи покрыта тонким *органическим* слоем, от которого зависит ее окраска. Под ним расположены два *известковых* слоя, причем внутренний слой (перламутровый) у некоторых представителей класса образован горизонтально расположенными известковыми пластинками, которые преломляют свет и придают ему радужный, перламутровый блеск.

Питание и пищеварение. В *глотке* у прудовика имеется мускулистый *язык*, покрытый тонкой роговой пластинкой с многочисленными зубчиками — *теркой* (рис. 9.26). Прудовики, ползая по подводным растениям, соскабливают теркой их мягкие ткани, налет водорослей и заглатывают.

За работой терки легко понаблюдать, если прудовика поместить в аквариум. Можно заметить, как из ротовой полости моллюска выдвигается язык с теркой, скользит по стенке аквариума, соскабливая со стекла обрастания, и снова втягивается. За моллюском на стекле остается чистая от водорослей полоса.

Из глотки по *пищеводу* пища попадает в его расширение — *зоб*, затем в *желудок*, от которого отходит кишечник, где пища окончательно переваривается и всасывается (рис. 9.27). У прудовика есть пищеварительная железа — *печень*. Непереваренные остатки через анальное отверстие задней кишки выводятся наружу.

Дыхание. Органом дыхания прудовика является *легкое* (см. рис. 9.27). Мантийная полость выполняет роль полости легкого. В стенке мантии развивается сеть кровеносных сосудов, в которые поступает кислород из атмосферного воздуха, проникающего через дыхательное отверстие, и выделяется углекислый газ. Для дыхания прудовик периодически поднимается к поверхности воды и заполняет легкие атмосферным воздухом. Сменив воздух, он закрывает дыхальце и погружается в воду. Притом, чем теплее вода, тем чаще всплывает моллюск, так как с повышением температуры воды обменные процессы в организме прудовика протекают интенсивнее и ему требуется больше кислорода. Зимой, когда пресные водоемы покрываются льдом и прудовики не могут подниматься к поверхности, они заполняют мантийную полость водой и дышат, извлекая из нее кислород.

У морских брюхоногих моллюсков дыхание осуществляется с помощью *жабр*.

Полость тела и кровообращение. Большая часть полости тела моллюсков заполнена паренхимой, которая выполняет опорную функцию. От полости тела сохраняются только два небольших участка: один из них окружает половую железу, другой — сердце, образуя околосердечную сумку.

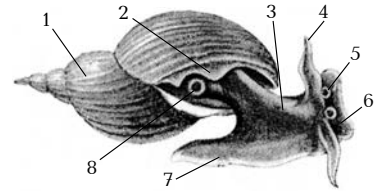


Рис. 9.25. Внешнее строение прудовика: 1 — раковина; 2 — мантия; 3 — туловище; 4 — щупальце; 5 — глаз; 6 — голова; 7 — нога; 8 — дыхательное отверстие

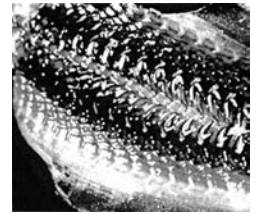


Рис. 9.26. Терка

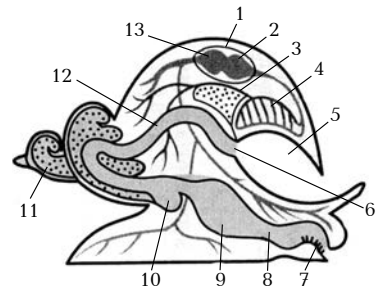


Рис. 9.27. Внутреннее строение прудовика: 1 — околосердечная сумка; 2 — предсердие; 3 — почка; 4 — легкое; 5 — мантийная полость; 6 — анальное отверстие; 7 — язык с теркой; 8 — пищевод; 9 — зоб; 10 — желудок; 11 — печень; 12 — кишечник; 13 — желудочек

Сердце у прудовика состоит из предсердия и желудочка, от которого отходят кровеносные сосуды. Однако кровь течет не только по сосудам, но и по щелевидным остаткам полости тела. Такая кровеносная система называется *незамкнутой*.

Выделительная система у прудовика представлена одной *почкой*. Одним концом она открывается в околосердечную сумку, поглощая из крови продукты обмена, и выводит их наружу через второе отверстие, открывающееся в мантийную полость.

Нервная система. У прудовика имеется пять крупных парных скоплений нервных клеток (*ганглии*) в разных частях тела. Все ганглии соединены между собой нервными отростками. Такая нервная система называется *разбросанно-узловой*. У прудовика имеются органы зрения, осязания, обоняния и вкуса.

Размножение и развитие. Прудовики — гермафродиты с внутренним оплодотворением. Оплодотворение перекрестное. Моллюски откладывают скопления оплодотворенных яиц в виде слизистых шнуров на различных подводных предметах и стеблях растений. Развитие у прудовика прямое, т. е. из яйца после завершения развития выходит маленький моллюск.

Двустворчатые и головоногие моллюски

Класс Двустворчатые моллюски. Все двустворчатые моллюски — водные обитатели. Они заселяют дно морских и пресных водоемов. В пресных водах обычна *беззубка* (рис. 9.28).



Рис. 9.28. Беззубка

Образ жизни и внешнее строение. Живет беззубка на дне, зарываясь наполовину в песчаный или слегка заиленный грунт водоемов. Ее тело овальное, покрытое раковиной. Раковина состоит из двух симметричных створок — левой и правой. На спинной стороне обе створки соединены между собой при помощи упругой гибкой связки. Передний конец раковины закруглен, задний — слегка сужен. На брюшной стороне створки могут раскрываться, и в образовавшуюся щель выдвигается клиновидная (как плуг) нога моллюска. При помощи ноги беззубка может медленно передвигаться (15–20 см в час), оставляя позади себя неглубокую борозду в грунте. Потревоженная беззубка быстро втягивает ногу и захлопывает створки раковины за счет сокращения двух мускулов-замыкателей, прикрепленных спереди и сзади к левой и правой створкам (рис. 9.29). При расслаблении мускулов створки раскрываются под действием гибкой связки. Все моллюски, имеющие раковину из двух створок, относятся к классу Двустворчатые.

Головной отдел у беззубки отсутствует, как и у всех двустворчатых. Туловище беззубки находится на спинной стороне моллюска. Оно покрыто свисающими с двух сторон широкими кожными складками *мантии*, прилегающими к створкам раковины. Между складками мантии находится *мантийная полость*, в которой расположены туловище, нога и лежащие по обеим сторонам от нее пластинчатые *жабры* (см. рис. 9.29).

Питание и органы пищеварения. По способу питания беззубка — *фильтратор*. У нее, как и у всех моллюсков этого класса, свободные концы правой и левой складок мантии смыкаются друг с другом, оставляя сзади лишь два отверстия — *сифоны* (рис. 9.30). Жабры и внутренняя поверхность мантийных складок покрыты ресничками. Благодаря их мерцательным движениям, вода засасывается через нижний *вводной сифон* в мантийную полость, фильтруется через пластинчатые жабры и выходит через верхний *выводной сифон*. Вместе с водой засасываются планктонные протисты, мельчайшие рачки,

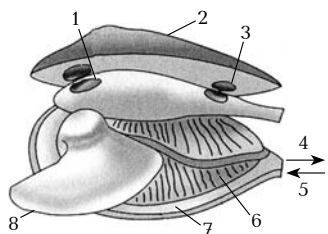


Рис. 9.29. Внутреннее строение двустворчатых моллюсков: 1 — мускул-замыкатель; 2 — раковина; 3 — место прикрепления мускула-замыкателя; 4 — выводной сифон; 5 — вводной сифон; 6 — жабры; 7 — мантия; 8 — нога

бактерии, которые осаждаются на поверхности жабр при фильтрации воды. Затем отфильтрованные частички направляются в ротовое отверстие, расположенное над основанием ноги. Далее пища поступает в пищевод, желудок, затем в кишечник, где переваривается и всасывается. Непереваренные остатки удаляются через анальное отверстие и выводной сифон.

Дыхание. Беззубка дышит при помощи крупных пластинчатых жабр, пронизанных сетью кровеносных сосудов (см. рис. 9.29). Поступающая в мантийную полость вода омывает жабры, отдает растворенный в воде кислород и выводит углекислый газ. Таким образом, жабры выполняют двойную функцию: газообмена и фильтрационного питания.

Кровеносная и выделительная системы. У данного класса моллюсков их строение сходно со строением этих систем у прудовика, но сердце состоит из двух предсердий и одного желудочка, а выделительная система представлена двумя почками.

Нервная система. Как и у прудовика, она разбросанно-узлового типа. Однако из-за отсутствия головы и слияния некоторых ганглиев количество их уменьшилось с пяти до трех пар. В связи с малоподвижным образом жизни органы чувств развиты слабо.

Размножение. Беззубки — *раздельнополые* животные. Сперматозоиды поступают с водой в мантийную полость самки. Крупные яйцеклетки оседают на жабрах, на которых происходит оплодотворение и развитие микроскопической личинки. Как и моллюск, личинка имеет двустворчатую раковину с зубчиками по внешнему краю. Сформировавшиеся и подросшие личинки выходят в воду. Выход личинок обычно связан с движением воды, вызываемым проплывающими рядом с моллюсками рыбами или другими подвижными животными. Зубчиками створок раковины личинка прикрепляется к коже рыбы. На месте прикрепления личинки участок тела воспаляется, образуется маленькая опухоль, внутри которой личинка питается, растет и развивается. Завершив развитие, маленький моллюск выпадает из воспаленного участка и опускается на дно. У малоподвижных двустворчатых моллюсков развитие личинки в коже подвижных животных способствует расселению и сохранению потомства.

Класс Головоногие моллюски. Представители класса исключительно морские животные. Наиболее известны *кальмары*, *осьминоги* и *каракатицы*. Рассмотрим их строение на примере кальмара.

Тело кальмара состоит из головы, ноги и туловища (рис. 9.31). Нога сильно видоизменена и превращена в щупальца с присосками. Щупальца смещены на голову и окружают рот, часто вооруженный клювовидными челюстями. Часть ноги преобразована в особый двигательный аппарат — воронку, которая расширенной нижней частью обращена в мантийную полость. В периодически открываемую мантийную полость поступает вода, заполняя ее, а при смыкании края мантии с туловищем моллюска она с силой выталкивается через суженную часть воронки. При этом животное получает толчок в противоположную сторону. Таким образом, для головоногих моллюсков характерен реактивный способ движения. Он дает возможность кальмарам развивать скорость до 50 км/ч, позволяющую им преследовать косяки рыб.

Дыхание у головоногих осуществляется с помощью жабр, расположенных в мантийной полости.

Кровеносная система почти замкнутая, с сильно развитой сетью капилляров.

Хорошо развит головной мозг, защищенный хрящевой капсулой, и органы чувств. Головоногие обладают острым зрением, обонянием. Поведение у них сложное.

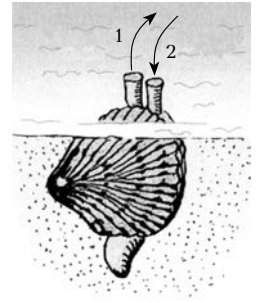


Рис. 9.30. Питание двустворчатых моллюсков: 1 — выводной сифон; 2 — вводной сифон

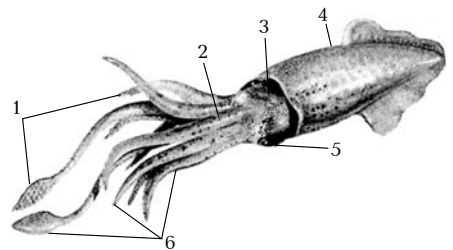


Рис. 9.31. Кальмар: 1 — присоски; 2 — нога; 3 — голова; 4 — туловище; 5 — глаз; 6 — щупальца

Головоногие моллюски имеют разнообразные приспособления для защиты. В их покровах есть особые пигментные клетки, позволяющие моллюскам мгновенно изменять свою окраску в соответствии с фоном грунта, что делает их незаметными. Спастись от врагов помогает также секрет *чернильного мешка*, который животное в случае опасности выбрасывает в воду, образуя стойкое темное пятно, скрывающее моллюска. Выброшенные «чернила» в течение некоторого времени сохраняют очертания животного. Когда хищник нападает, «чернильная бомба» взрывается, окутывая его темным облаком. Совершенство нервной системы, сложные формы поведения головоногих моллюсков оправдывают данное им название «приматы моря».

Многообразие и значение моллюсков

В природе моллюски входят в многочисленные цепи питания водных и наземных биоценозов. Обитающих в морских и пресных водоемах моллюсков поедают рыбы, птицы, кашалоты, моржи и тюлени, усатые киты и морские звезды. Истинными «моллюскоедом» являются лещ, сазан, карась, черный амур, вобла каспийская, камчатский краб. Наземных легочных моллюсков едят жабы и кроты. Охотятся за улитками многие пресмыкающиеся и земноводные. У травяной лягушки они составляют существенную часть рациона. Улиток склевывают вороны, галки, фазаны, голуби. Личинки моллюсков охотно поедаются многими водными животными.

В водоемах особенно велика роль двусторчатых моллюсков-фильтраторов. Прогоняя через мантийную полость воду, моллюски отфильтровывают жабрами пригодные в пищу частицы, очищая таким образом водоем от органической взвеси, мелких водорослей, бактерий. Объем отфильтрованной воды велик: одна устрица размером 8—10 см за 1 ч отфильтровывает до 10 л, мидия — до 15 л. Таким образом, двусторчатые моллюски являются естественными биологическими фильтрами, способствующими сохранению чистоты природных вод.

К биофильтраторам относятся *беззубка*, *перловица* и *грейссена*. Последняя широко распространена в водоемах Европы, Америки, Канады, а с недавнего времени и в Беларуси. Дрейссена выделяет липкие нити, позволяющие ей прикрепляться к разным подводным предметам, образуя массовые скопления — друзы. Планктонные личинки дрейссены могут оседать и образовывать обрастания на гидротехнических сооружениях, в водотоках, трубах турбин, защитных решетках, препятствуя нормальному току воды. Очистка гидротехнических устройств требует больших материальных затрат. В природных водоемах дрейссена очищает воду, но подавляет развитие других двусторчатых моллюсков. Это было установлено на крупнейшем водоеме Беларуси — озере Нарочь.

Многие моллюски давно и успешно используются человеком. Хорошо известны съедобные моллюски: *устрицы*, *мидии*, *гребешки*.

О промысле устриц упоминается в летописях еще за 150 лет до н. э. Эти моллюски очень плодотворны: за сезон одна самка дает до 500 млн яиц. Личинки оседают на камнях, скалах, прикрепляясь к ним. Массовые скопления устриц образуют поселения, или «банки», на глубине от 1 до 70 м. Живут они в теплых морях с высокой соленостью. В результате многовекового бесконтрольного промысла запасы устриц во многих морях подорваны, и сейчас их разводят искусственно, на особых устричных «фермах». Промысел устриц ведется в Приморье и на Сахалине, в Тихом океане у берегов Японии и США.

В отличие от устриц, мидии обитают даже в сильно опресненном Балтийском море. Их промысел активно ведется на Белом, Баренцевом, дальневос-

Съедобные моллюски



Устрица



Мидии



Гребешок



Осьминог



Каракатица

точных морях. Потребляют мидий птицы, скаты, камбала и треска, в Черном море — осетровые рыбы, в северных морях — морские звезды.

К съедобным промысловым моллюскам относятся наземные *виноградные улитки*. В Японии добывают около 90 видов съедобных моллюсков. Очень популярны в странах Средиземноморья и Юго-Восточной Азии съедобные головоногие моллюски: каракатицы, осьминоги, кальмары. Их мясо отличается хорошими вкусовыми качествами, богато белком и микроэлементами. В теле головоногих моллюсков содержатся вещества, являющиеся сырьем для изготовления некоторых лекарств. Ежегодный промысел головоногих моллюсков составляет свыше 1,5 млн т, из них более половины — кальмары.

Из секрета чернильной железы каракатицы получают натуральную коричневую краску — сепию, из секрета осьминогов — черную. В течение веков люди писали чернилами из сепии. Из пурпурных морских улиток в древности извлекали красящее вещество — пурпур.

Многие моллюски, в раковине которых развит мощный перламутровый слой, образуют жемчуг. Образование жемчуга — это защитная реакция моллюска на инородные частицы, песчинки, попавшие между раковиной и мантией. Чтобы уменьшить повреждение мягкой стенки мантии, ее эпителий выделяет последовательно слои перламутра и органического вещества, которые и окружают попавшую частицу, — так образуется жемчужина. В течение нескольких лет она растет, отделяется от поверхности раковины и свободно лежит между раковиной и мантией. Самый лучший жемчуг образуют *морские жемчужницы*, обитающие в Тихом и Индийском океанах на глубинах не более 40 м. В зависимости от окраски органического слоя раковины жемчужины могут иметь голубовато-серый, розовый, белый, золотистый оттенок. Морской жемчуг может достигать размеров голубиноного яйца.

В пресных водоемах обитает несколько десятков видов *пресноводных жемчужниц*. Они живут в чистых холодных реках с быстрым течением. Загрязнение рек промышленными отходами, сточными водами резко сокращает места обитания жемчужниц. Растут речные жемчужницы медленно, живут до 30—40 лет. Размеры речного жемчуга невелики — не более горошины, форма чаще неправильная.

Перламутровый слой раковин жемчужниц и других двусторчатых моллюсков используется для изготовления пуговиц, ювелирных изделий, инкрустаций.

Есть моллюски, наносящие вред сельскому хозяйству. *Слизни, виноградная и садовая улитки* повреждают листья растений, плодовые тела грибов, корнеплоды и клубни на полях и в овощехранилищах (рис. 9.32). Многие прудовики являются промежуточными хозяевами червей сосальщиков — паразитов сельскохозяйственных животных и человека. Хищный моллюск *рапана*, многочисленный в Черном и других морях, опустошает устричные и мидиевые «банки», нанося значительный ущерб промыслу.

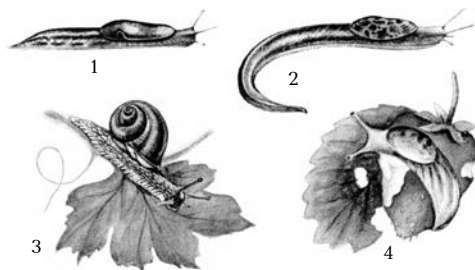


Рис. 9.32. Моллюски — вредители растений: 1 — окаймленный слизень; 2 — большой слизень; 3 — садовая улитка; 4 — садовый слизень



Раковина рапаны

ТИП ЧЛЕНИСТОНОГИЕ

Членистоногие образуют самый многочисленный тип животных, объединяющий более 1 млн видов, из которых почти миллион составляют насекомые. Членистоногие заселяют толщу воды и дно пресных и морских водоемов, различные наземные местообитания, почвенную среду. Самой

многочисленной группой водных членистоногих являются представители класса Ракообразные. Большинство членистоногих (животные классов Насекомые и Паукообразные) перешли к наземно-воздушному образу жизни. Представители этих трех классов очень разнообразны по внешнему виду. Вместе с тем для всех членистоногих характерны некоторые общие черты строения.

Общая характеристика членистоногих

Внешнее строение. Членистоногие — сегментированные животные. Сегменты образуют отделы, отличающиеся по строению и выполняемым функциям: голову, грудь и брюшко. *Голова* несет органы чувств и обеспечивает ориентацию в пространстве. *Грудной отдел* — двигательный, на нем расположены органы движения — конечности и крылья. В *брюшном отделе* находятся внутренние органы. Отделы тела членистоногих иногда могут сливаться, образуя головогрудь (пауки и большинство раков).

Конечности членистоногих состоят из члеников (отсюда и название типа). Это многочленные, очень подвижные рычаги, соединенные суставами. Они позволяют членистоногим совершать разнообразные движения: бегать, прыгать, плавать, копать, захватывать и удерживать пищу, измельчать ее и т. п.

Число ходильных конечностей на грудном отделе тела у членистоногих разное: у рака — пять пар, у паука — четыре, у насекомых — три пары. Различны строение и выполняемые функции конечностей других отделов тела.

Членистоногие не имеют кожно-мускульного мешка. Их мышцы образуют пучки, сокращение которых позволяет им совершать разнообразные движения тела и конечностей.

Полость тела у членистоногих заполнена смесью полостной жидкости и крови, которая называется *гемолимфой*.

Покровы тела образованы кожным эпителием, который выделяет наружу многослойную кутикулу (рис. 9.33). Кутикула членистоногих образована сложным органическим веществом — *хитином* и поэтому называется хитинизированной кутикулой. У ракообразных она пропитана дополнительно и известью, благодаря которой кутикула приобретает особую прочность. Хитинизированная кутикула у членистоногих выполняет функцию *наружного скелета*. Он защищает тело животных от механических и химических воздействий, служит местом прикрепления двигательных мышц, придает телу определенную форму.

Когда членистоногие растут, плотные покровы мешают увеличению размеров их тела, поэтому старая кутикула периодически сбрасывается — животное *линяет*. Под старой кутикулой образуется новая, и, пока она не затвердела, животные растут и увеличиваются в размерах (рис. 9.34). Значит, рост членистоногих происходит периодически после линек. Такой рост называется *прерывистым*, или *периодическим*.

Пищеварительная система включает три отдела: *переднюю*, *среднюю* и *заднюю* кишку. В зависимости от характера пищи (жидкая или твердая) и способа ее потребления у членистоногих развиваются различные по строению ротовые аппараты. В переднем отделе кишечника имеются *мускульная глотка*, *пищевод*, *зоб* и *мускульный желудок*. Твердая пища разрывается *челюстями*, перетирается в глотке и желудке. Зоб служит для накопления и сохранения жидкой пищи,

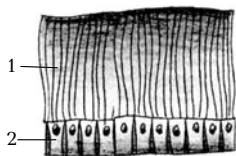


Рис. 9.33. Покровы тела членистоногих: 1 — многослойная кутикула; 2 — кожный эпителий

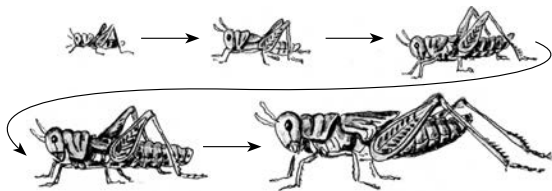


Рис. 9.34. Рост личинки саранчи

всасываемой сосущим ротовым аппаратом и глоткой, работающей, как насос. Переваривание пищи и всасывание растворенных питательных веществ происходит в среднем отделе кишечника, стенки которого имеют железистые клетки. Непереваренные остатки поступают в заднюю кишку, где из них отсасывается вода, и удаляются через анальное отверстие.

Кровеносная система. Сердце окружено участком полости тела — *околосердечной сумкой* и расположено на спинной стороне тела. Сокращаясь, сердце выталкивает кровь в кровеносные сосуды, из которых она изливается в участки полости тела, омывает внутренние органы и снова возвращается в сердце. Таким образом, кровеносная система у членистоногих *незамкнутая*.

Дыхательная система различна у водных и наземных членистоногих. Обитающие в воде или во влажных наземных местообитаниях ракообразные дышат с помощью *жабр*. У наземных членистоногих — паукообразных и насекомых — развились органы воздушного дыхания — трахеи и легочные мешки. *Трахеи* имеют вид пучка длинных, тонких, разветвленных, слепо замкнутых на внутреннем конце трубочек. Трахеи выстланы хитином, имеют на стенках спиральное утолщение, препятствующее их спаданию. С внешней средой трахеи сообщаются *дыхательными отверстиями*, через которые атмосферный воздух поступает в трахейную систему. У насекомых органами дыхания служит только сильно разветвленная система трахей. При трахейном дыхании кислород непосредственно доставляется по разветвленным трахеям ко всем органам, тканям и даже клеткам, поэтому кровь трахейнодышащих членистоногих почти не участвует в переносе кислорода и углекислого газа, а лишь транспортирует питательные вещества и продукты обмена.

Выделительная система. У членистоногих она различна. У ракообразных она представлена двумя *выделительными* («зелеными») железами, выводные протоки которых открываются у основания конечностей головного отдела. У паукообразных и насекомых выделительные органы имеют вид тонких, слепо замкнутых на конце трубочек, расположенных на границе средней и задней кишки и омываемых гемолимфой. Называются эти органы *мальпигиевыми сосудами* по имени итальянского ученого Марчелло Мальпиги, впервые выяснившего их значение. Продукты выделения из гемолимфы попадают в мальпигиевы сосуды, а из них — в заднюю кишку, где из них отсасывается вода и возвращается в организм, что важно для жизни животного в наземных условиях.

Нервная система. Как и у кольчатых червей, она состоит из *окологлоточного нервного кольца* и *брюшной нервной цепочки*. Усложнение нервной системы членистоногих выражается в сильном развитии *надглоточных ганглиев*, уменьшении числа парных ганглиев в брюшной нервной цепочке за счет их слияния и развитии разнообразных, более сложных органов чувств: простых и сложных глаз, органов обоняния, вкуса, осязания, равновесия и даже органа слуха (у некоторых насекомых). Поведение сложное, особенно у общественных насекомых.

Размножение. У членистоногих оно только *половое*. Большая часть членистоногих — *раздельнополые* животные. Самки имеют парные *яичники*, самцы — парные *семенники*. Оплодотворение внутреннее. После оплодотворения самки откладывают яйца во внешнюю среду. Сформированные в них личинки выходят из яйцевой оболочки, линяют, растут и превращаются во взрослых особей. Такое развитие с личиночной стадией называется *развитием с превращением*. У некоторых членистоногих яйца содержат много питательного желтка. Из яйца выходит маленькое, но вполне сформированное животное, которое растет, становится взрослым, достигает полового созревания и размножается. Такое развитие называется *развитием без превращения*, или *прямым*.

Членистоногие:

- тело разделено на голову, грудь и брюшко, голова и грудь могут сливаться;
- наружный скелет — хитиновый покров;
- поперечно-полосатая мускулатура, замкнутая кровеносная система;
- сложное строение ротового аппарата;
- развитие сопровождается линькой

Происхождение членистоногих. Предками членистоногих, вероятно, были древние кольчатые черви, сходство с которыми проявляется в сегментации тела членистоногих, строении нервной системы и полости тела.

Членистоногие — первые истинно наземные беспозвоночные животные. Освоение ими суши стало возможным вследствие развития покровов особого строения, которые обеспечивали уменьшение испарения и защиту тела от высыхания. Эту же роль выполняют органы выделения (мальпигиевы сосуды), не имеющие собственных выделительных отверстий.

Развитие хитинизированной кутикулы, играющей роль наружного скелета, поперечно-полосатой мускулатуры и членистых конечностей способствовало активному движению членистоногих в воде, почве, наземно-воздушной среде. Многообразие строения конечностей, их специализация обеспечили развитие разных типов ротовых аппаратов и возможность питания разнообразной пищей. Приспособлению членистоногих к различному образу жизни способствовали усложнение нервной системы и органов чувств, развитие у них сложных форм поведения. В выживании членистоногих важную роль сыграла их способность к массовому размножению и заботе о потомстве.

Тип Членистоногие делится на три подтипа, каждый из которых включает по одному крупному классу: Ракообразные, Паукообразные и Насекомые.

Класс Ракообразные

Ракообразные — это членистоногие животные, обитающие преимущественно в воде, в ее толще или на дне. Большинство из 35 тыс. видов живет в морях, значительно меньше их в пресных водоемах, лишь немногие обитают на суше.

Для большинства ракообразных характерно слияние головного и грудного отделов с образованием головогруди. Все они дышат жабрами. У многих ракообразных на брюшном отделе тела имеются плавательные конечности. Среди них есть хищники, всеядные и фильтраторы. Роль ракообразных в водоемах огромна и разнообразна.

Познакомимся со строением ракообразных на примере хорошо известного всем *речного рака*.

Внешнее строение. Тело речного рака имеет три отдела: голову, грудь и брюшко (рис. 9.35, а). Покровы головного и брюшного отделов слиты и образуют головогрудной панцирь. По бокам груди между панцирем и телом есть щели, ведущие в полость, в которых расположены органы дыхания рака — жабры.

Голова впереди имеет острый вырост с зазубринами. По бокам от выроста в углублениях покровов на подвижных стебельках расположена пара сложных (фасеточных) глаз, состоящих у взрослого рака из простых глазков, число которых достигает нескольких тысяч.

Конечности. Сегменты всех отделов тела речного рака имеют конечности, выполняющие разнообразные функции.

На *головном отделе* расположены *две пары членистых усиков*, которые характерны для всех ракообразных (рис. 9.35, б). Короткие усики первой пары выполняют функции осязания и обоняния. В основании их расположен орган равновесия. Усики второй пары длинные, с многочисленными чувствительными клетками, выполняющими осязательную функцию. Конечности трех следующих сегментов головы образуют ротовой аппарат рака. Он состоит из пары нерасчлененных, зазубренных, твердых пластинок — *верхних челюстей* и двух пар пластинчатых *нижних челюстей*. Конечности ротового аппарата обеспечивают измельчение пищи.

Конечности *грудного отдела* также различны (см. рис. 9.35, б). Три пары *ногочелюстей* помогают удерживать пищу, продвигать ее ко рту, а также своим движением создают ток воды под панцирем, обеспечивая жаберное дыхание. Остальные пять пар грудных конечностей — *ходильные ноги*. Первая пара самая крупная, с сильно развитыми клешнями. Ими рак защищается, нападает и захватывает пищу. На основании грудных конечностей расположены жабры.

Шесть пар конечностей *брюшка* рака также выполняют разные функции. Так, две первые пары ног самца используются при *оплодотворении*. Остальные брюшные ноги *плавательные*. Они маленькие, слегка уплощены и покрыты по краям щетинками. У самок к ним прикрепляются оплодотворенные яйца и вышедшие из них маленькие рачки. Заканчивается брюшко *хвостовым плавником*, образованным последней парой расширенных конечностей и анальной лопастью — *выростом* последнего брюшного сегмента.

Тело ракообразных покрыто хитинизированной кутикулой, часто пропитанной известью. Окраска живого речного рака маскировочная, под цвет дна — зеленовато-бурая. При варке рак становится красным из-за разрушения пигментов кутикулы под действием высокой температуры.

Мускулатура у ракообразных хорошо развита и представлена пучками мышц. Особенно сильно развиты мышцы подвижного брюшка, быстрые сокращения которого обеспечивают движение рака задом наперед (реактивный способ движения).

Пищеварительная система. Речной рак — всеядное животное. Из *ротовой полости* измельченная челюстями пища поступает в *глотку*, затем в *пищевод* и *желудок* (рис. 9.36). В желудке, состоящем из двух отделов (жевательного и цедильного), пища дополнительно перетирается хитиновыми зубцами, проходит через пластинки с волосками цедильного аппарата и поступает в *среднюю кишку* и полость трубочек *пищеварительной железы*. В них пища переваривается под действием пищеварительных соков и всасывается. Непереваренные остатки поступают в заднюю кишку и через анальное отверстие выводятся наружу.

Кровеносная и дыхательная системы (рис. 9.37). Кровеносная система речного рака незамкнутая. На спинной стороне под панцирем расположено *сердце*, имеющее вид небольшого мешочка. От сердца отходят кровеносные сосуды, открывающиеся в полость тела. Гемолимфа омывает органы и ткани, отдает кислород и поглощает углекислый газ. Затем она поступает к *жабрам*, где насыщается кислородом и возвращается в сердце, а углекислый газ выводится через жабры в воду. Так происходит газообмен.

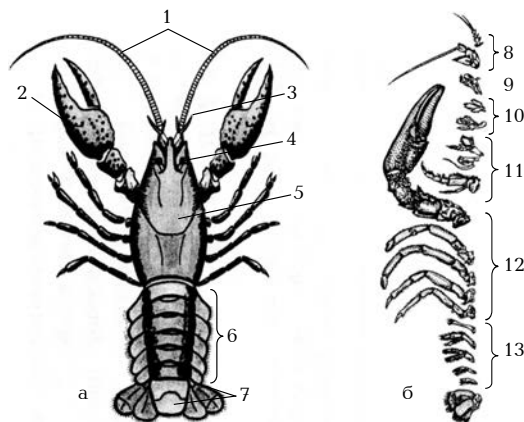


Рис. 9.35. Внешнее строение (а) и конечности (б) речного рака: 1 — длинные усусики; 2 — клешни; 3 — короткий усик; 4 — глаз; 5 — головогрудной панцирь; 6 — брюшко; 7 — хвостовой плавник; 8 — усусики; 9 — верхние челюсти; 10 — нижние челюсти; 11 — ногочелюсти; 12 — ходильные ноги; 13 — брюшные конечности

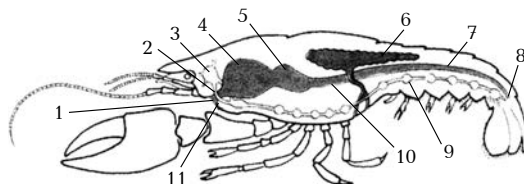


Рис. 9.36. Внутреннее строение речного рака: 1 — рот; 2 — окологлоточное нервное кольцо; 3 — надглоточный ганглий; 4 — желудок; 5 — пищеварительная железа; 6 — половая железа; 7 — задний отдел кишечника; 8 — анальное отверстие; 9 — брюшная нервная цепочка; 10 — средний отдел кишечника; 11 — глотка

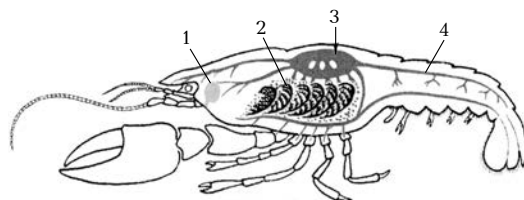


Рис. 9.37. Кровеносная, дыхательная и выделительная системы речного рака: 1 — зеленая железа; 2 — жабры; 3 — сердце; 4 — кровеносные сосуды



Молодые рачки
на брюшных ножках
матери

Выделительная система. У речного рака она представлена лежащими в основании головы двумя выделительными, или зелеными (из-за их окраски), железами (см. рис. 9.37). Их протоки открываются у основания усиков. Через них продукты жизнедеятельности, накопленные в гемолимфе, выделяются наружу.

Нервная система. Ракообразные имеют типичное для членистоногих строение. От ганглиев окологлоточного кольца и брюшной нервной цепочки отходят нервы к органам чувств, внутренним органам и тканям тела рака (см. рис. 9.36).

Размножение и развитие. Речной рак, как и большинство видов ракообразных, — раздельнополое животное. Самцы и самки различаются между собой. У самок членики брюшка шире головогруды, у самца первые две пары длинных, желобовидных брюшных ножек используются при оплодотворении самок.

В начале зимы самка выметывает оплодотворенные икринки, которые прикрепляются к брюшным ножкам. В начале лета из яиц выходят молодые рачки. Некоторое время они остаются под брюшком самки, а затем переходят к самостоятельной жизни. Таким образом, развитие у речного рака прямое.

Как и все членистоногие, рачки линяют, растут. Рост прекращается, когда покровы затвердевают и пропитываются известью. В первый год жизни речные раки линяют часто, в последующие годы все реже, а в 15 лет линьки прекращаются.

Разнообразие и значение ракообразных. Ракообразные обитают в самых различных водоемах — от мелких, даже временных, до морей и океанов. Они обычны в реках, озерах, многочисленны в прудах, в которых заселяют толщу воды и дно. Некоторые виды способны жить во влажных наземных местообитаниях.

Всем хорошо известны планктонные рачки *дафнии* (рис. 9.38). Они имеют размеры 1—3 мм и обычно парят в толще воды. Удерживаются они в воде благодаря резким взмахам разветвленных длинных усиков. Их скачкообразные движения дали основание называть дафний «водяными блохами». Дафнии — активные фильтраторы. Питаются они, отфильтровывая водоросли, бактерии

и органические частицы из воды с помощью сита из щетинок на грудных ножках. Дафнии являются важными звеньями в цепях питания (их потребляют многие обитатели водоемов, в том числе и рыбы) и участвуют в процессах биологического самоочищения водоемов.

Во временных весенних лужах и прудах иногда в массе развиваются *щитки* (3—5 см длиной), тело которых покрыто крупным панцирем и имеет на конце брюшка два длинных членистых выроста (см. рис. 9.38). Надежно защищенные оболочками яйца щитней сохраняются при пересыхании весенних луж и обмелении водоемов, могут разноситься ветром. Попадая в новые водоемы, они быстро развиваются, а достигшие половозрелости рачки активно размножаются. В рыбоводных прудах эти хищные рачки при массовом развитии могут приносить вред, поедая личинок рыб.

К хищникам относятся и небольшие (около 1 мм) планктонные рачки *циклопы*. Самки циклопов вынашивают оплодотворенные яйца в яйцевых мешках на брюшке (см. рис. 9.38). Сами циклопы служат пищей для мальков рыб, личинок насекомых, головастиков.

Излюбленным кормом самых различных обитателей водоемов являются *водяные ослики* (см. рис. 9.38). Эти небольшие рачки (1,5 см длиной) многочисленны на заросших растениями мелководьях озер, водохранилищ, рек.

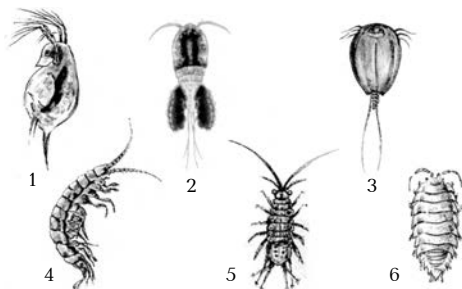


Рис. 9.38. Пресноводные ракообразные: 1 — дафния; 2 — циклоп; 3 — щитень; 4 — озерный бокоплав; 5 — водяной ослик; 6 — мокрица

Водяные ослики медленно ползают по дну, питаясь остатками разлагающихся растений и животных.

Во влажных лиственных лесах, в лесной подстилке, в погребах и подвалах можно обнаружить *мокриц* (см. рис. 9.38). Питаются они остатками растений. В связи с жизнью мокриц в наземной среде их жабы прикрывают краями спинных щитков-покровов, что предохраняет их от пересыхания. Обитающие в почве мокрицы могут вредить культурным растениям.

В морях некоторые ракообразные, известные под названием «криль», размножаются в столь больших количествах, что при относительно небольших размерах тела (от 0,5 до 10 см) они образуют скопления, меняющие цвет поверхности моря в красновато-розовые тона. Они служат пищей для многих промысловых видов рыб (сельдь, треска, морской окунь и др.), уса-тых китов, даже гигантского синего кита, пингвинов.

Крупные ракообразные (*речные раки, омары, langусты, креветки, крабы*) являются ценным продуктом питания и служат объектом промысла.

В водоемах Беларуси обитают три вида речных раков. Широко распространен *узкопалый речной рак*, реже встречается *широкопалый рак*. В р. Неман и его притоках обитает *американский рак*, размножающийся быстрее европейских видов и не страдающий от рачьей чумы. Это заболевание в свое время привело к гибели речных европейских раков во многих странах. Со-кращение промысла раков вызывают также перелов и загрязнение водоемов.

В дальневосточных морях ведется промысел *камчатского краба*, имеющего массу до 7 кг. Камчатский краб — хищник. Питается многощетинковыми червями, моллюсками, ракообразными. Живет до 20 лет, достигает промыс-ловых размеров на 8—10 годах жизни. Камчатский краб, как все раки-от-шельники, не имеет плотных покровов на брюшке, которое поэтому прячет под широкий головогрудной щит.

Интересен *краб-разбойник*, или *пальмовый вор*, достигающий в длину 30 см. Он живет на островах Тихого океана и приспособился к жизни на суше. Днем крабы прячутся в норках, которые покидают только ночью. Питаются они плодами пальм либо хищничают, нападая на ослабленных жи-вотных. Для размножения самка уходит в море, где из яиц выходят личинки.

Есть среди ракообразных и паразиты, живущие на коже и жабрах рыб, коже китов, моржей и тюленей, на других ракообразных.

Класс Паукообразные

Известно около 60 тыс. видов паукообразных, ведущих назем-ный образ жизни, за исключением некоторых групп, вторично перешедших к обитанию в воде. Представителями класса являются *пауки, клещи, сено-косцы, скорпионы* и др.

У паукообразных верхний слой хитинизированной кутикулы содержит воскоподобные вещества, резко уменьшающие потери влаги животными. Их тело расчленено на *головогрудь*, несущую конечности, и безногое *брюшко*. Усики отсутствуют. На головогруді расположено шесть пар конечностей, из них первая пара — *ротовые конечности*, имеющие вид клешней, крючков или режущих стилетов и участвующие в захвате пищи. У многих паукообраз-ных на вершине ротовых конечностей открывается проток ядовитой железы, секрет которой поражает жертву. Большинство из них хищники. Многим свойственно внекишечное пищеварение. Однако среди клещей есть и расти-тельнаяядные виды, сосущие соки растений или питающиеся растительными остатками, паразиты и кровососы. Вторая пара конечностей — *ногочупальца*, выполняющие чаще всего осязательную функцию. Ходильных конечностей

у паукообразных четыре пары. Многие виды паукообразных имеют паутинные железы, выделяющие белковый секрет — *паутину*, которую используют для различных видов деятельности. Органы дыхания у паукообразных наземного типа — *легочные мешки* и *трахеи*; органы выделения — *мальпигиевы сосуды*. Органы чувств разнообразны: зрения, обоняния, осязания, вкуса и др. Все паукообразные раздельнополые. Оплодотворение внутреннее, развитие прямое (кроме клещей, имеющих личиночную стадию).

Рассмотрим строение паукообразных на примере *паука-крестовика*.

Внешнее строение (рис. 9.39, а). Тело паука-крестовика состоит из двух отделов: головогруды, образовавшейся при слиянии головы и груди, и цельного брюшка. Головогрудь и брюшко разделены тонким стебельком — измененным сегментом брюшка. Свое название паук получил из-за наличия крестообразного белого рисунка на верхней стороне брюшка.

На головогруды 6 пар конечностей. Первая пара имеет вид острых *членистых коготков*, с ядовитой железой у основания. Коготки пронизаны каналом с отверстием на вершине, через который секрет ядовитой железы вводится в тело жертвы, парализуя либо убивая ее.

Вторая пара конечностей — тонкие членистые *ногощупальца*. Это органы осязания и вкуса, а у самцов они служат и для оплодотворения самок. Следующие 4 пары конечностей головогруды — *ходильные ноги*. Они членистые и работают, как рычаги, обеспечивая быстрые движения хищников.

На брюшке конечностей нет. На нижней стороне брюшка имеются отверстия легочных мешков и трахей. По бокам от анального отверстия расположены по три паутинные бородавки, пронизанные сотнями тончайших канальцев. Через отверстия канальцев выделяется белковый секрет паутинных желез. Секрет этот на воздухе застывает в виде тончайших нитей, которые свиваются в более толстую и прочную паутинку гребенчатыми коготками задней пары ходильных ног. По химическому составу паутина близка к шелку, она очень прочная и эластичная.

Из паутины паук строит сеть, выделяя сначала сухой (не липкий) секрет для ее каркаса, а затем липкий секрет для круговых нитей (рис. 9.39, б). Паук передвигается по сухим нитям, а жертвы его, мелкие насекомые, прилипают к липким и становятся добычей хищника.

Паутина играет в жизни пауков разнообразную и важную роль: используется для охоты, из нее плетется яйцевой кокон, выстилаются норки, на паутинных нитях осенью расселяются молодые паучки-волки, используя воздушные потоки. Расселение пауков — известная примета «бабьего лета».

Покровы паука. Как и у всех наземных членистоногих, они представлены многослойной хитинизированной кутикулой. Внешний слой ее содержит воскоподобные вещества, поэтому покровы не смачиваются даже при сильном дожде. Покровы — наружный скелет паукообразных, защищающий их от механических и химических воздействий, а также от чрезмерной потери влаги, что очень важно для обитателей засушливых зон.

Питание и пищеварение (рис. 9.40). Проколов коготками первой пары конечностей покровы добычи, пауки вводят в ранку секрет ядовитых желез и пищеварительные соки. Под их действием ткани тела жертвы растворяются, частично перевариваются, а затем всасываются при помощи мускулистой глотки. Такое пищеварение называется *внекишечным*. Завершение пищеварения и всасывание

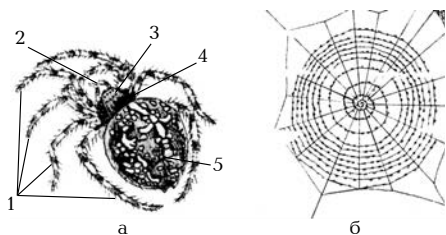


Рис. 9.39. Внешнее строение паука-крестовика (а) и его ловчая сеть (б): 1 — ходильные ноги; 2 — ногощупальца; 3 — глаза; 4 — головогрудь; 5 — брюшко

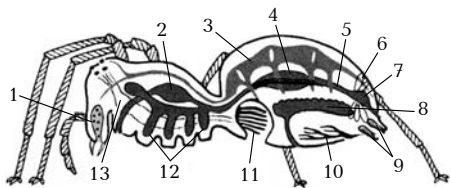


Рис. 9.40. Внутреннее строение обыкновенного крестовика: 1 — ядовитая железа; 2 — глотка; 3 — сердце; 4 — печень; 5 — средний отдел кишечника; 6 — мальпигиевы сосуды; 7 — задний отдел кишечника; 8 — половая железа; 9 — паутинные железы; 10 — трахеи; 11 — легочный мешок; 12 — желудок; 13 — нервный узел

питательных веществ происходят в сильно развитой средней кишке и печени. Непереваренные и обезвоженные остатки удаляются наружу через заднюю кишку.

Кровеносная система. Она незамкнутая, есть *трубчатое сердце*, от которого отходят крупные сосуды (см. рис. 9.40).

Выделительная система. В связи с жизнью в наземной среде паука-крестовика выделительная система представлена *мальпигиевыми сосудами*, которые открываются в заднюю кишку, где из продуктов выделения отсасывается вода, поступающая обратно в организм. Это предохраняет пауков, как и всех паукообразных, от обезвоживания даже при жизни в пустыне.

Органы дыхания. Представлены *легочными мешками* и *трахеями*, обеспечивающими поглощение кислорода из атмосферного воздуха и выведение углекислого газа.

Нервная система. Типична для членистоногих, но ганглии брюшной нервной цепочки сливаются, образуя один сложный узел в головогруди (см. рис. 9.40). К органам брюшного отдела идут длинные нервы. У паука есть органы осязания в виде чувствительных волосков на покровах. Особенно многочисленны они на ногощупальцах. Органы химического чувства и обоняния тоже связаны с покровами. Четыре пары простых глаз позволяют различать предметы на расстоянии всего 20—30 см, но очень хорошо реагируют на подвижные объекты, что важно для хищников. Для пауков характерны сложные формы поведения, связанные с поиском жертв, строительством убежищ, размножением, заботой о потомстве.

Размножение. Паук-крестовик — раздельнополое животное. Самки обычно крупнее самцов. Осенью оплодотворенная самка откладывает яйца, формируя плотный паутинный кокон. Кокон самка подвешивает в укромных местах: под отставшей корой или в ее трещинках на стволах деревьев, в щелях и других подобных местах. Развитие у пауков прямое. Весной из кокона выходят молодые паучки. Они строят паутинные сети, увеличивая их по мере роста.

Многообразие паукообразных. В степях, полупустынях, пустынях и тропических лесах обитают представители *отряда Скорпионы* — древние паукообразные, крупные тропические представители которых достигают в длину 20 см (рис. 9.41).

Тело скорпиона состоит из головогруди и членистого брюшка, причем последние сегменты брюшка узкие и подвижные. На конце брюшка находится изогнутая ядовитая игла. Скорпион загибает брюшко на спину и, пробив иглой покровы добычи, вводит яд. Для животных, которыми питается скорпион, этот яд смертелен. Яд крупных тропических скорпионов может быть смертельно опасен и для человека, тогда как яд мелких видов, обитающих на юге Европы и на Кавказе, несмертелен, но укол очень болезнен.

Скорпионы — ночные хищники, нападающие на более мелких животных. Днем они прячутся под камнями, листьями, отставшей корой, в трещинах скал.

Самки некоторых видов скорпионов живородящие.

Во второй половине лета в саду, на деревьях, под корой, в щелях стен домов и сараев можно увидеть сенокосца, представителя *отряда Сенокосцы*. У него сегментированное брюшко, которое соединено с головогрудью без стебелька. Ходильные ноги сенокосца очень длинные и тонкие. Они легко могут отрываться и, уже оторванные, долго сохраняют способность к судорожным движениям, напоминающим движения косца во время косьбы. Отбросив движущуюся ногу, сенокосец отвлекает внимание хищника и на оставшихся ногах скрывается. Сенокосец не ядовит, он является хищником, поедая мелких насекомых.

Отряд Пауки, к которому относится паук-крестовик, включает более 27 тыс. видов. Они заселяют всю сушу. В природе нет уголка, где не было



Рис. 9.41. Скорпион

бы пауков. Важную роль в этом сыграла паутина. При добывании пищи, размножении, расселении, переживании неблагоприятных условий в среде обитания пауки используют паутину. С ней связаны все формы инстинктивного (врожденного) поведения пауков.

Пауки, обитающие на территории Беларуси, не опасны для человека. Они, напротив, полезны, так как уничтожают многих вредных насекомых, в том числе и в жилье человека.

Пауки — наземные животные. В воде живет единственный вид — *паук-серебрянка*. Дышит серебрянка атмосферным воздухом. Поднимаясь к поверхности, паук выставляет из воды брюшко, покрытое густыми волосками, не смачивающимися водой. При погружении паука в воду между волосками удерживается слой воздуха, и брюшко выглядит блестящим, словно капля ртути. Этот запас воздуха позволяет пауку дышать под водой.

На подводных растениях паук-серебрянка строит воздушный колокол из захваченных воздушных пузырьков. Это его убежище, в котором паук питается, размножается, где развивается его потомство.

Удивительно разнообразна окраска покровов тела пауков. Виды, живущие на цветах, имеют яркую окраску, позволяющую им скрываться от хищников и успешно подстергать свою добычу. Пауки, обитающие на земле или в кроне кустарников, отличаются скромной буровато-зеленой окраской.

Яд пауков для человека чаще всего безопасен, даже ядовитый секрет крупного южного *тарантула*. Однако он может вызвать у некоторых людей аллергическую реакцию. Исключение составляет маленький (до 2 см) *паук-каракурт*. Он легко отличим по черной окраске тела с красными пятнами на верхней стороне брюшка. Обитает в пустынях и степях Средней Азии, в Крыму и на Кавказе. Название «каракурт» означает «черная смерть». Близкий американский и австралийский вид получил название «черная вдова»: самка после спаривания, нуждаясь в белковой пище для формирования яиц, часто съедает самца. Укус этого каракурта вызывает резкую боль, удушье, судороги, смерть может наступить через 1—2 дня. Яд каракуртов убивает лошадей и верблюдов, но безвреден для овец, вытаптывающих гнезда каракуртов на пастбищах и поедающих их с травой.

Отряд Клеши включает 35 тыс. видов. Их отличительная особенность — слияние головы, груди и брюшка, а также превращение первых двух пар конечностей головогруды в колюще-сосущий хоботок.

Клеши вездесущи. Есть среди них вредители растений, паразиты животных, многие обитают в почве, питаются почвенными водорослями, грибами, остатками растений и животных.

Значительный вред причиняют *зерновые* и *мучные*, или *амбарные*, а также *сырный*, *винный* и *луковичный* клещи. *Паутинные* (рис. 9.42) и *плодовые* клещи повреждают различные культурные растения.

Среди клещей много паразитов животных. Перьевые и волосяные клещи повреждают покровы птиц и млекопитающих. Для человека опасен *чесоточный клещ*, или *зудень* (см. рис. 9.42). Эти мелкие (0,3 мм) клещи живут и размножаются в коже человека и животных. Самка, продельвая под кожей ходы, откладывает яйца, из которых выходят личинки.

При питании и движении чесоточные клещи раздражают нервные окончания кожи и вызывают сильный зуд. Расчесывая зудящие места, человек способствует расселению клещей. Возбудитель передается при контакте здорового человека с зараженным. Для предупреждения заболевания необходимо соблюдать чистоту, мыть руки с мылом, не следует пользоваться чужой одеждой, постельными принадлежностями, предметами личной гигиены.

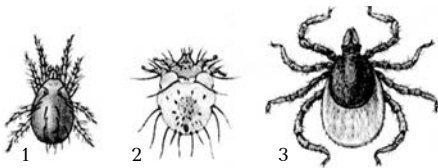


Рис. 9.42. Разнообразие клещей: 1 — паутинный; 2 — чесоточный (зудень); 3 — собачий

Многие клещи стали кровососами. Их покровы растяжимы, а кишечник имеет выросты, при обильном кровососании сильно увеличивающиеся в объеме. Размеры напитавшихся клещей в 4—5 раз больше, чем у голодных.

Особенно опасны клещи, питающиеся кровью птиц и млекопитающих, в том числе и человека. При кровососании они передают возбудителей таких тяжелых заболеваний, как энцефалит, клещевой сыпной и возвратный тиф и др. Распространены они повсеместно.

В Беларуси в лесах, на заросших кустарником лугах, на молодых посадках сосны часто встречается *собачий клещ* (см. рис. 9.42). Размеры самок голодных клещей невелики — 0,3—0,5 мм, но после кровососания они увеличиваются до 1 см.

Обычно клещи поднимаются на растения на высоту до 1 м и цепляются за шерсть животных и одежду человека. Переползая на кожу, они прокалывают ее хоботком, вводят в ранку слюну и сосут кровь. При этом клещи вводят в кровь и возбудителей заболеваний. В Беларуси клещи являются основными переносчиками возбудителя западного клещевого энцефалита.

Кровососущие клещи наиболее многочисленны в лесах в мае — первой половине лета.

Чтобы избежать нападения и укуса клещей, следует соблюдать простые меры предосторожности, особенно при посещении территорий заповедников и охотничьих заказников:

1) одежда должна быть из плотной ткани, рубашка с длинными рукавами и манжетами, брюки должны быть заправлены в носки и обувь, необходимо иметь головной убор;

2) следует избегать участков леса с густыми зарослями кустарников и высокой травой;

3) при обнаружении клещей на теле их нельзя отрывать. В коже может остаться хоботок, и ранка воспалится, а в кровь попадет возбудитель, если клещ заражен. Клеща можно смазать жирным кремом или маслом. Образовавшаяся на теле клеща пленка затрудняет его дыхание, хоботок расслабляется, и клеща можно осторожно извлекать;

4) если клещ обнаружен после посещения мест, где отмечались случаи энцефалита, необходимо обратиться к врачу.

КЛАСС НАСЕКОМЫЕ. РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СТРОЕНИЕ

Внешнее строение насекомых

Насекомые — самая разнообразная группа животных на Земле. В настоящее время описано более 700 тыс. видов. Насекомые не только разнообразны, но и многочисленны.

Насекомые встречаются в самых различных регионах планеты. Они заселили разнообразные наземные местообитания, пресные водоемы, некоторые освоили прибрежную часть морей и поверхность океанов. Многочисленны насекомые и их личинки в почве. Насекомые встречаются на льду у полюсов, на снегу в Гималаях на высоте 7000 м, в пустынях и горячих источниках, в пещерах и даже в нефтяных лужах. Особенно разнообразны насекомые в тропиках. Некоторые взрослые насекомые и личинки поселяются в тканях растений, есть среди них паразиты человека и животных.

Широкое распространение насекомых стало возможным благодаря развитию крыльев и способности к полету, обеспечивающих быстрое и дальнейшее расселение, возможность находить пищу, места для размножения и развития потомства.

Большую роль в расселении насекомых играют их высокая плодовитость и способность быстро и успешно приспосабливаться к разным, даже неблагоприятным, условиям среды обитания.

Внешнее строение. В теле насекомых различают голову, грудь и брюшко (рис. 9.43).

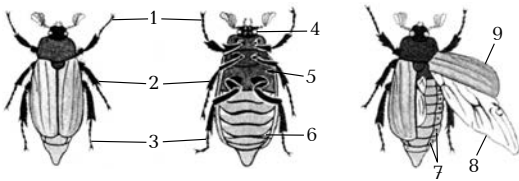


Рис. 9.43. Внешнее строение майского жука: 1 — первая пара ног; 2 — вторая пара ног; 3 — третья пара ног; 4 — голова; 5 — грудь; 6 — брюшко; 7 — дыхальца; 8 — крыло; 9 — надкрылье

Голова не расчленена и образует цельную головную капсулу. На ней расположена пара усиков, сложные фасеточные глаза, между которыми находится от 1 до 5 простых глазков. Усики выполняют роль органов обоняния и осязания. Они очень разнообразны по длине, числу и форме члеников. Голова несет ротовой аппарат. Он состоит из выроста хитина головной капсулы — *верхней губы* и трех пар измененных конечностей головного отдела: верхних и нижних челюстей и нижней губы (см. рис. 9.43).

Ротовые аппараты насекомых устроены по-разному. В зависимости от характера пищи и способа ее потребления различают *грызущий* (кузнечики, стрекозы, жуки), *лакающий*, или *грызуще-лижущий* (пчелы, шмели), *колюще-сосущий* (клопы, комары), *сосущий* (бабочки) и *лижущий* (мухи) ротовые аппараты (рис. 9.44).

Грудь насекомых состоит из трех сегментов. На каждом из них расположена пара членистых конечностей, поэтому в начале XX в. насекомых называли «шестиножками». У насекомых в зависимости от среды обитания и образа жизни развиваются конечности разного типа: бегательные (тараканы), прыгательные (кузнечики), плавательные (водяные жуки), собирательные (пчелы), хватательные (богомолы), копательные (медведки) и др. Второй и третий сегменты груди у большинства насекомых несут по одной паре крыльев (см. рис. 9.43). Крылья характерны только для взрослых насекомых, у личинок они либо недоразвиты, либо отсутствуют.

Развиваются крылья из складчатых выростов хитинового покрова спинной части второго и третьего грудных сегментов. После завершения развития крыла покровы верхней и нижней стенок выроста образуют прозрачную крыловую перепонку. Расположенные в выросте разветвления трахей остаются в виде жилок. Это каркас перепончатого крыла. Расположение трахей определяет жилкование, различное у насекомых разных отрядов.

У некоторых паразитических насекомых (вши, блохи) крылья исчезают. У мух и комаров сохраняются только одна, передняя, пара крыльев, а вторая превращена в булавовидные жужжальца, координирующие полет. У жуков передние крылья (надкрылья) полностью уплотнились и служат защитой для перепончатых задних крыльев. Конечности и крылья обеспечивают все виды движения насекомых.

Скорость полета и частота взмахов крыла у представителей разных групп неодинаковы. Наименьшая она у капустной белянки — 10 взмахов в секунду, у пчел — 190, у шмелей — 240, у комнатной мухи — 330, у комара — до 1000 взмахов в секунду. Быстрее всех летают бабочки-бражники — более 53 км/ч, немного им уступают слепни — более 50 и стрекозы — 16–40 км/ч. Некоторые насекомые могут хорошо маневрировать при полете (мухи, осы), с трудом меняют направление полета крупные майские жуки.

Брюшко насекомых. Оно содержит от 6 до 11 сегментов (см. рис. 9.43). Конечности на брюшке отсутствуют. На последних сегментах брюшка у са-

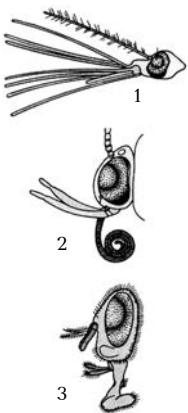


Рис. 9.44. Ротовые аппараты насекомых: 1 — комар (колюще-сосущий); 2 — бабочка (сосущий); 3 — муха (лижущий)

мок многих насекомых развивается *яйцеклад*, с помощью которого происходит откладка яиц в почву (кузнечики, саранча) или в тело других насекомых (наездники) (рис. 9.45). У пчел, ос и муравьев яйцеклад превратился в орган защиты — *жало*.

Хитинизированная кутикула покровов многослойная (как фанера) (см. рис. 9.33). Она обладает устойчивостью к механическим и химическим воздействиям. Как и у паукообразных, наружный слой кутикулы содержит воскоподобные вещества, поэтому даже после проливного дождя тело насекомых остается сухим, сохраняя способность к активному движению и полету.

Хитинизированная кутикула не покрывает тело насекомых сплошным слоем. На грудных сегментах она образует четыре пластинки, разделяющие места приращения конечностей и крыльев, на брюшных — две. Участки между пластинками тонкие, эластичные, поэтому сохраняется подвижность частей тела насекомых.

В период роста личинок насекомых (взрослые насекомые не растут!) плотная кутикула мешает росту их тела, поэтому личинки периодически сбрасывают хитинизированные покровы — *линяют*. Способность к линьке на личиночной стадии свойственна всем насекомым.

Хитинизированная кутикула играет важную роль в жизни насекомых. Она не только служит наружным скелетом, но и предохраняет их тело от избыточного испарения, что очень важно для мелких наземных животных.



Рис. 9.45. Яйцеклады насекомых: 1 — кузнечик; 2 — наездник

Строение систем органов насекомых

Особенности строения систем органов насекомых рассмотрим на примере *майского жука* (рис. 9.46).

Пищеварительная система. Майский жук питается молодыми листочками березы, осины, дуба и других деревьев. С помощью мощных верхних челюстей он отгрызает от листа небольшие кусочки, измельчая пищу.

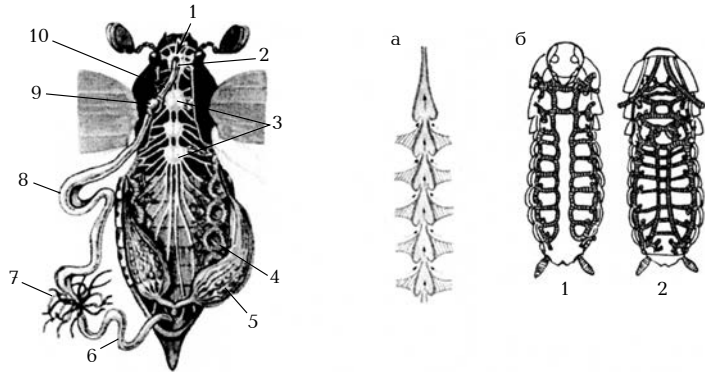
Проглоченная пища поступает в *мускульную глотку*, куда открываются протоки слюнных желез. Затем пища продвигается в *пищевод* и *мускульный желудок*, в котором дополнительно перетирается (см. рис. 9.46). Глотка, пищевод и мускульный желудок входят в состав переднего кишечника, где таким образом происходит измельчение и первичная обработка пищи.

В средней кишке пища окончательно переваривается и всасываются питательные вещества. Печени у насекомых нет. Пищеварительные соки выделяют железистые клетки средней кишки. Непереваренные остатки через заднюю кишку и анальное отверстие выводятся наружу. В стенке задней кишки есть железы, отсасывающие воду из непереваренных остатков и возвращающие ее в кровь. Это помогает насекомому сохранять воду в теле.

У гусениц бабочек секрет слюнных желез образует *шелковину*, используемую при завивании куколочного кокона. У кровососущих насекомых (комары, мошки) слюнные железы выделяют вещества, разжижающие кровь и препятствующие ее свертыванию.

Органы дыхания. У майского жука, как и у всех насекомых, органы дыхания представлены сильно разветвленной системой трахей, непосредственно доставляющих кислород к клеткам всех органов и тканей (см. рис. 9.46, б). Поступление атмосферного воздуха в трахейную систему и удаление из нее воздуха, обогащенного углекислым газом, происходят через особые отверстия — *дыхальца*, расположенные по бокам брюшных и грудных сегментов, открывающиеся и закрывающиеся при помощи специальных кольцевых мышц.

Рис. 9.46. Внутреннее строение майского жука: 1 — окологлоточное нервное кольцо; 2 — глотка; 3 — грудные нервные узлы; 4 — трахеи; 5 — яичник; 6 — задний отдел кишечника; 7 — мальпигиевы сосуды; 8 — средний отдел кишечника; 9 — желудок; 10 — пищевод; а — строение сердца; б — трахейная дыхательная система: 1 — брюшная сторона; 2 — спинная сторона



Смена воздуха в трахейной системе в покое осуществляется за счет сокращения и расслабления мускулатуры брюшка. В полете в вентиляции трахей участвуют ритмически поднимающиеся и опускающиеся крылья. Чем чаще взмахи крыльев, тем быстрее происходит смена газов, поэтому насекомые даже во время самого быстрого полета не задыхаются.

Выделительная система образована пучком трубчатых мальпигиевых сосудов, которые извлекают из гемолимфы вредные продукты жизнедеятельности и выводят их в заднюю кишку. В ней они вместе с неперевааренными остатками обезвоживаются и выводятся наружу через анальное отверстие (см. рис. 9.46).

Часть продуктов обмена не выводится из организма, а накапливается и сохраняется в клетках *жирового тела* и кутикуле покровов. При линьке вместе с кутикулой личинки освобождаются от них.

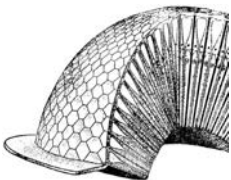
Кровеносная система. Как и у всех насекомых, кровеносная система майского жука незамкнутая, с трубчатым спинным сосудом, разделенным на камеры, выполняющим роль сердца (см. рис. 9.46, а). Гемолимфа обеспечивает транспорт питательных веществ, продуктов обмена, выполняет защитную функцию и частично участвует в обмене газов, так как основную функцию газообмена выполняет сильно разветвленная трахейная дыхательная система.

Нервная система образована *окологлоточным нервным кольцом* и *брюшной нервной цепочкой* (см. рис. 9.46). Сложный парный надглоточный ганглий, сильно развитый не только у майского жука, но и у всех насекомых, часто называют «мозгом», так как он иннервирует работу органов чувств и обеспечивает сложные формы поведения.

Органы чувств. Как и у всех насекомых, у майского жука они весьма разнообразны. Пара сложных *фасеточных глаз* обеспечивает цветное зрение, простые глазки реагируют лишь на степень освещенности. Усики выполняют функции *обоняния* и *осязания*. Органы вкуса у майского жука и большинства насекомых расположены на ротовом аппарате.

Поведение насекомых отличается сложностью и разнообразием форм. Для них характерны *инстинкты* — врожденные поведенческие реакции организма. Многие инстинкты связаны с заботой о потомстве и особенно сложны у общественных насекомых: *пчел, муравьев, термитов* и др. Забота о потомстве выражается в поиске мест для откладки яиц и развития будущих личинок, создании для личинок запасов пищи и укрытий.

Размножение. Майский жук, как и все насекомые, — раздельнополое животное с *внутренним оплодотворением*. Самцы крупнее самок. Усики самцов более развиты, что связано с необходимостью поиска самок в период



Сложный глаз
насекомого

размножения. Весной в сумерки можно наблюдать массовый лет майских жуков в кронах деревьев.

Органы размножения майского жука представлены у самок парными яичниками (см. рис. 9.46), у самцов — парными семенниками.

Размножение и развитие насекомых

Насекомые — раздельнополые животные с внутренним оплодотворением. У некоторых видов между самцами и самками наблюдаются различия в размерах, форме и окраске тела. Это половой диморфизм. Чаще всего насекомые размножаются, откладывая оплодотворенные яйца. Иногда яйца развиваются без оплодотворения (партогенез). Есть и живородящие насекомые.

После выхода из яйца развитие личинки у некоторых насекомых может происходить без изменения внешнего строения (развитие *прямое*, или без *превращения, метаморфоза*). У подавляющего большинства насекомых развитие происходит с частичными изменениями (развитие с *неполным метаморфозом*) либо со значительным изменением организации (развитие с *полным метаморфозом*).

Тип развития зависит от количества питательных веществ в яйце, что влияет на степень сходства в строении и образе жизни личинки и взрослого насекомого.

Так, кузнечики и саранча на стадии личинок сходны со взрослыми особями по форме тела, характеру питания, местам обитания. Различия заключаются в размерах, развитии крыльев и способности к полету. Это пример развития с неполным метаморфозом (рис. 9.47).

Жуки, бабочки, мухи, комары и пчелы развиваются с полным метаморфозом (рис. 9.48). У взрослого насекомого по сравнению с личинкой происходит не только развитие крыльев и изменение формы тела, но и перестраивается строение ротового аппарата, конечностей, пищеварительной системы, внешнего облика и т. д. Для того чтобы могли произойти такие серьезные изменения личинки, имеется дополнительная покоящаяся стадия развития — стадия куколки, во время которой прекращается движение, питание и происходят все необходимые перестройки.

Таким образом, насекомые, развивающиеся с неполным превращением, имеют три стадии развития: *яйцо, личинку и взрослое насекомое*. У насекомых, развивающихся с полным превращением, четыре стадии развития: *яйцо, личинка, куколка и взрослое насекомое*.

Развитие с метаморфозом имеет большое значение в распространении и массовом размножении насекомых. Особыми преимуществами обладают насекомые с полным превращением. Различия в потребляемой пище, местах обитания личинок и взрослых особей уменьшают конкуренцию между ними, позволяют полнее использовать условия мест обитания. Так, гусеницы белянки питаются листьями растений, бабочки же сосут цветочный нектар. Водные личинки комаров питаются органическими частицами, которые они отфильтровывают из воды, взрослые самки — кровососы, а самцы питаются нектаром. Личинки майского жука, обитающие в почве, подгрызают корни растений, а взрослые жуки питаются листьями.

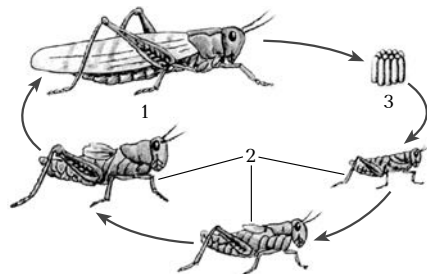


Рис. 9.47. Развитие с неполным превращением: 1 — взрослое насекомое; 2 — личиночные стадии; 3 — яйца

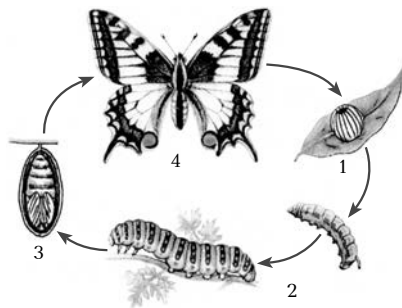


Рис. 9.48. Развитие с полным превращением: 1 — кладка яиц; 2 — личинки (гусеницы) разного возраста; 3 — куколка; 4 — взрослое насекомое

Личинки у насекомых — это стадия роста и питания, поэтому они часто малоподвижны и имеют недоразвитые конечности (гусеницы бабочек, почвенные личинки майского жука). Взрослые насекомые обеспечивают размножение и расселение, обладая хорошо развитыми конечностями и крыльями.

Отряды насекомых с неполным превращением

Отряд Стрекозы. Стрекозы широко распространены и встречаются повсюду, где есть пресные водоемы, с которыми тесно связана их жизнь в личиночном состоянии. Однако стрекозы могут залетать и довольно далеко от водоемов, а некоторые виды совершают и дальние миграции, массами переселяясь в новые места. Стрекозы — хищные насекомые, которые неустанно летают в различных направлениях в воздухе, ловя добычу (комаров, мух) на лету или схватывая насекомых, сидящих на растениях. Часто можно видеть охотящуюся крупную стрекозу *коромысло* и миниатюрную с брюшком голубой окраски — *стрелку*.



Стрекоза

У стрекоз большая голова с огромными фасеточными глазами, часто сходящимися на темени. Благодаря этому стрекоза имеет почти круговой обзор и хорошо определяет расстояние до преследуемой добычи, которую схватывает своими сильными челюстями.

Длинные перепончатые крылья у стрекоз не складываются на спине и остаются расправленными при отдыхе.

Стрекозы откладывают яйца прямо в воду, погружая в нее брюшко, или втыкают их в стебли водных растений. Некоторые стрекозы при откладке яиц погружаются в воду, иногда на большую глубину. Развивающиеся в воде личинки дышат трахейными жабрами, расположенными у разных видов стрекоз на конце брюшка или в задней кишке. Растворенный в воде кислород путем диффузии проникает в трахеи жабр и далее по разветвленной системе трахей поступает ко всем тканям и органам личинки.

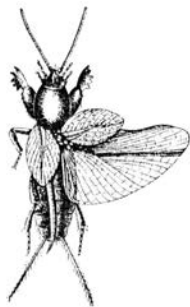
Как и взрослые стрекозы, большинство личинок — хищники, ловящие добычу в воде. Для этого у них развит особый ловчий аппарат (видоизмененная нижняя губа), молниеносно выдвигающийся далеко вперед, — «маска». С помощью подвижных зубцов «маски» личинки схватывают добычу, удерживают ее и поедают.

Взрослые стрекозы уничтожают значительное количество насекомых. Личинки стрекоз могут поедать личинок и мальков рыб, нанося ощутимый вред в рыбоводных прудах.

Отряд Прямокрылые. К отряду относятся хорошо всем известные кузнечики, саранча, сверчки. Эти насекомые приспособились к передвижению прыжками, поэтому у них очень развиты задние конечности, имеющие сильно развитую мускулатуру и длинные бедра и голени.

Усики у многих прямокрылых длинные, сильно развит грызущий ротовой аппарат. Их передние крылья узкие, кожистые, играют роль надкрылий, задние — более широкие, в покое складывающиеся веером.

Прямокрылые — одна из редких группа насекомых, которые имеют органы слуха. У кузнечиков они расположены на голених передней пары конечностей. Органы стрекотания имеют только самцы, расположены они на надкрыльях. Совершая быстрые движения надкрыльями, сидящий кузнечик производит звуки их трением, вследствие чего происходит быстрая вибрация особой перепонки на левом надкрылье, причем роль смычка играет жилка другого надкрылья, производящая звуки высоких тонов. Эти звуки, вероятно, привлекают самок в период размножения и, возможно, имеют отпугивающее, предостерегающее значение.



Медведка

Среди прямокрылых есть хищники (большинство кузнечиков), но многие питаются растительной пищей (саранчовые). Некоторые из них (*саранча перелетная*) очень прожорлива и может причинять большой вред растениям. Живущие в почве *медведки* имеют мощные роющие передние конечности. Роясь в земле, они обгрызают подземные части растения, повреждая их корни на огородах, свекловичных полях, в парниках.

Самки прямокрылых откладывают яйца чаще всего в почву с помощью яйцеклада.

Отряды насекомых с полным превращением

Отряд Жесткокрылые, или Жуки. Это самый большой (более 250 тыс.) по числу видов отряд насекомых. Жуки заселяют водоемы, почву и самые различные наземные местообитания. Наибольшее число видов встречается в тропиках.

Для всех жуков характерны грызущий ротовой аппарат и сильно хитинизированная передняя пара крыльев, превращенных в жесткие надкрылья. Задние крылья перепончатые. Обычно они длиннее тела, в покое складываются вдвое и прячутся под защищающими их надкрыльями. Грудные конечности у жуков бегательного типа, но у многих видов изменены и приспособлены к роющему или плавательному образу жизни.

Многие из жуков питаются различными частями растений (*хрущи, щелкуны, листоеды, гровосеки, долгоносики*), другие — наземные хищники (*жужелицы, божьи, или тлевые, коровки*). Некоторые из них питаются экскрементами (*навозники*), тканями погибших животных (*мертвоеды и могильщики*).

Немалое количество видов жуков являются опасными вредителями сельскохозяйственных растений (*майский жук, хлебный жук, или кузька, щелкун посевной, колорадский жук, долгоносик, или слоник*), древесных растений (*усачи, или гровосеки, короеды*). *Жук-олень* — самый крупный жук на территории Беларуси (до 8 см длиной) — занесен в Красную книгу Республики Беларусь.

Отряд Чешуекрылые, или Бабочки. К этому отряду относится около 140 тыс. видов. Бабочки имеют сосущий ротовой аппарат в виде хоботка, свернутого спирально и подогнутого под грудь. Две пары перепончатых крыльев покрыты чешуйками — сплюснутыми волосками покровов. Они содержат различные пигменты, которые определяют окраску крыльев бабочек. Расположенные на чешуйках ребрышки преломляют свет и придают крыльям некоторых видов бабочек радужный блеск (*переливницы, перламутровки*).

У червеобразных личинок бабочек — *гусениц* — грызущий ротовой аппарат и, кроме трех пар членистых грудных конечностей, на длинном брюшке развиваются несколько пар ложных ножек. Взрослые бабочки питаются нектаром, а гусеницы поедают преимущественно листья растений (*капустная белянка*).

Личинки многих видов бабочек имеют шелкоотделительные железы, секрет которых застывает на воздухе, превращаясь в крепкие шелковистые нити, используемые различными видами различным образом. Так, одни гусеницы спускаются с их помощью с ветвей деревьев, другие прикрепляют ими куколок (*капустная белянка*), третьи опутывают ими побеги и листья или строят чехлики, в которых происходит окукливание (*моли*), а гусеницы настоящих *шелкопрядов* и некоторых других бабочек завивают коконы, имеющие внутри куколку.

Значение бабочек в природе и в хозяйстве человека очень велико. Взрослые бабочки являются опылителями разнообразных растений. Среди них, однако, много и вредителей сельскохозяйственных растений (*озимая совка, губовый шелкопряд, капустная белянка*). Некоторые виды бабочек приобрели

большое промышленное значение как поставщики сырья для изготовления шелковой ткани (*тутовый шелкопряд*, *китайский дубовый шелкопряд*).

Отряд Перепончатокрылые объединяет более 100 тыс. видов. Размеры от 0,2 мм (*трихограмма*) до 4—6 см (*рогохвосты*, *шершни*). Это прекрасные летуны. У них две пары перепончатых крыльев, обычно сцепленных между собой так, что оба крыла образуют единую крыловую поверхность, обеспечивая их согласованную работу и активный полет. Многие перепончатокрылые имеют грызущий ротовой аппарат (*осы*, *муравьи*). Некоторые группы перепончатокрылых питаются соками растений, нектаром и пыльцой (*пчелы*, *шмели*), ротовой аппарат у них лакающий, с хорошо развитым хоботком и челюстями.

Личинки червеобразные, безногие либо похожие на гусениц, как и личинки бабочек, имеющие на брюшке ложные ножки.

У самок некоторых перепончатокрылых на брюшке есть яйцеклад, у пчел, шмелей, ос и муравьев превращенный в жало, которое протоком связано с ядовитой железой.

Среди перепончатокрылых много насекомых, живущих семьями. В семье обычно выделяются самки и самцы, а также рабочие особи. Только совместные усилия всех особей семьи способны обеспечить ее существование в течение продолжительного времени. Такие насекомые называются **общественными**. К ним относятся пчелы, шмели, осы и муравьи. Однако среди ос и пчел есть виды, живущие одиночно.

Особую группу среди перепончатокрылых составляют паразитические виды. Они откладывают яйца в куколок, личинок других насекомых, за счет которых и развивается их потомство. К этой группе принадлежат *яйцееды* и *наездники*.

Отряд Двукрылые включает два подотряда: *глинноты*, или *комары*, и *короткотелые*, или *мухи*. Для всех двукрылых характерно наличие только первой пары перепончатых крыльев, вторая пара видоизменилась в небольшие булавовидные жужжальца. Ротовой аппарат у комаров колюще-сосущий (у самок) или сосущий (у самцов), у мух — лижущий. Личинки двукрылых безногие, развиваются в водоемах, почве, тканях растений, организме других животных. Среди двукрылых есть как опылители, так и вредители растений, а также переносчики возбудителей заболеваний человека и животных. Личинки многих двукрылых служат кормом для рыб, в том числе и аквариумных («мотыль» — личинка *комара-звонца*). Личинки некоторых мух питаются разлагающимися остатками растений и животных, экскрементами.



Колпачная муха

Роль насекомых в природе

Благодаря своему разнообразию и огромной численности, насекомые играют исключительно важную и многообразную роль в природе.

Насекомые-опылители. Около 90 % цветковых растений опыляются насекомыми. Существует замечательная взаимная приспособленность между этими насекомыми (бабочками, жуками, перепончатокрылыми, двукрылыми) и опыляемыми ими цветковыми растениями. У растений выработались специальные приспособления для опыления насекомыми (форма цветков, их яркая окраска, аромат, наличие нектара). Форма и длина хоботка насекомых соответствуют строению венчика опыляемых ими цветков, а органы зрения и обоняния позволяют различать окраску венчика и запах. Такое взаимное приспособление создает обоюдную выгоду: успех опыления и образования семян растениями и обеспечение насекомых разнообразными пищевыми ресурсами.

Огромное значение имеют многие **почвенные насекомые** и их личинки, питающиеся отмершими частями растений. Они роют норки в почве, разрыхляя землю, обогащая ее кислородом и ускоряя образование перегноя.

Насекомые служат пищей для других животных, являются важными звеньями природных пищевых цепей. Ими питаются рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы и некоторые млекопитающие — ежи, землеройки, кроты.

Хищные насекомые. Уничтожая взрослых насекомых и их личинок, хищные насекомые являются регуляторами их численности в природе. К полезным хищным насекомым относятся стрекозы, божьи коровки, жужелицы. Стрекозы охотятся в полете и уничтожают комаров, мошек и других кровососущих насекомых (гнос). Божьи коровки поедают тлей и их личинок — опасных вредителей древесных и травянистых культурных и декоративных растений. Жужелицы и их почвенные личинки активно поедают большое количество вредных насекомых, моллюсков.

Трудно переоценить роль *муравьев* как хищных полезных насекомых. Обитая в хвойных и лиственных лесах, они уничтожают многих вредных насекомых, повреждающих листья растений: гусениц совок, пядениц, личинок пилильщиков. Подсчитано, что семья рыжих лесных муравьев за день доставляет в муравейник до 1 кг насекомых. Обитатели среднего муравейника надежно защищают 0,25 га леса, а семья большого — до 1 га лесных насаждений.

Муравьи — общественные насекомые. В их семье различают *крылатых самцов* и *самок* и *бескрылых рабочих муравьев* (рис. 9.49). С ранней весны рабочие муравьи ухаживают за потомством, добывают корм для личинок и плодущих самок — *цариц*, ремонтируют и достраивают муравейник, поддерживают в нем постоянную температуру и влажность, защищают от врагов. Муравейник — сложное сооружение с надземной и подземной частями, сложной системой галерей и камер, в которых можно обнаружить яйца, личинок и куколок муравьев.

Молодые самцы и самки крылатые, крупнее рабочих муравьев. В теплые осенние дни происходит их брачный вылет. После оплодотворения самцы погибают, а самки обламывают крылья и, найдя подходящее место в подстилке, начинают строить новый муравейник. Зимуют муравьи в подземной части муравейника.

Полезная роль муравьев не ограничивается уничтожением вредных насекомых и их личинок. Прodelывая ходы в почве, муравьи рыхлят ее, обеспечивают вентиляцию, увлажнение, обогащение перегноем.

Помните! Муравейники подлежат охране, их следует огораживать в местах массового отдыха людей.

Паразитические перепончатокрылые насекомые. Особую группу, представители которой откладывают яйца в куколок, личинок и яйца вредных насекомых, составляют *наездники* и *яйцееды*. Личинки этих насекомых питаются тканями организма-хозяина. Развиваясь в яйцах, личинках и куколках вредителей, наездники снижают численность вредных насекомых. Некоторых наездников разводят в лабораториях. Например, *трихограмма* заражает яйца 150 видов бабочек и может использоваться для *биологической борьбы* со многими вредителями.

В Беларуси трихограмму разводят и выпускают в сады для борьбы с яблонной плодовой галкой и на огороды для уничтожения вредителей капусты.

Санитарами земли являются *навозники*, *мертвоеды* и *могильщики*, потребляющие экскременты и остатки погибших животных.

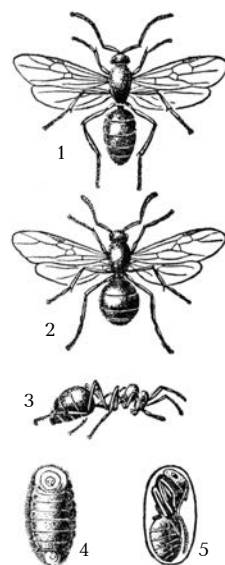


Рис. 9.49. Рыжий лесной муравей: 1 — самец; 2 — крылатая самка; 3 — рабочий; 4 — личинка; 5 — куколки в коконах

Насекомые — вредители растений

Вредители сельскохозяйственных растений. С тех пор как человек начал выращивать растения, засевая большие площади одной культурой, насекомые, питающиеся растениями одного или немногих родственных видов, получили возможность массового размножения.

На посевах зерновых культур одним из самых опасных вредителей считается *перелетная*, или *азиатская*, *саранча*. Оседлая форма саранчи встречается и на юге Беларуси, но у нас она не дает массового размножения.

В огромных количествах перелетная саранча встречается в плавнях и зарослях тростника крупных южных рек России и Средней Азии. Во второй половине лета самки откладывают в почву яйца. Яйца окружены слизью, которая, застывая, образует «кубышку». Весной из нее выходят бескрылые личинки, которые питаются тростником. Это пешая саранча. Завершив развитие и окрылившись, саранча разлетается. Ее дневные перелеты составляют до нескольких десятков километров. За весь период миграции скопление саранчи — кул-га — может улететь от места выплода на 200—300 км и более. Питается саранча различными растениями, повреждая посевы зерновых и других культур, иногда уничтожая их полностью. На всех континентах саранчовые причиняют огромный ущерб сельскому хозяйству. В связи с этим в 1961 г. была создана специальная противосаранчовая международная служба при ООН.

Широко распространенными вредителями, повреждающими капусту и другие крестоцветные культуры, являются *репница*, *брюквенница* и *капустная белянка*. В Беларуси капустная белянка дает за лето два поколения: первое развивается во второй половине мая — начале июня, второе — в июле — сентябре. Гусеницы белянок очень прожорливы. Сначала они соскабливают мякоть с листьев капусты, а затем прогрызают в листьях отверстия. Гусеницы старших возрастов объедают капусту так, что от листьев нередко остаются только жилки.

Колорадский картофельный жук — опаснейший вредитель картофеля. Он повреждает также томаты и другие пасленовые растения. Родина жука — Северная Америка. В конце Первой мировой войны он был завезен с картофелем в Западную Европу и в настоящее время расселился по всей Европе.

Зимует жук в лесной подстилке, в перелесках. Весной отыскивает воду (поэтому жуков в это время в больших количествах можно обнаружить у берегов водоемов) и с жадностью поглощает ее. Жуки длительное время активно питаются. Затем откладывают на нижней стороне листьев по 25—30 яиц. Личинки объедают листья, трижды линяют и окукливаются в почве. Вышедшие молодые жуки снова питаются листьями и уходят на зимовку. Весной жуки выходят из почвы не одновременно, поэтому развитие и питание личинок и жуков продолжается весь сезон и приводит к сильному повреждению растений.

Среди жуков, широко распространенных в средних широтах, большой вред различным сельскохозяйственным растениям приносят жуки-щелкуны. Личинки щелкунов — *проволочники* — имеют вытянутое, сильно хитинизированное твердое на ощупь коричневатое тело. Живут проволочники в почве 3—4 года. Питаются подземными частями растений, преимущественно травянистых. Повреждают корни, клубни, корневища растений, большой вред наносят также сеянцам и саженцам лесных, плодовых и декоративных растений в питомниках.

Насекомые — вредители садов. В плодовых садах наиболее многочисленны и вредоносны яблонный цветоед (отряд Жесткокрылые) и яблонная плодожорка (отряд Чешуекрылые). Всего в садах встречается до 1200 видов вредных насекомых.

Яблонного цветоеда можно найти в садах ранней весной. При прогреве воздуха и достижении температуры 10 °С перезимовавшие жуки начинают питаться, повреждая цветочные почки. Когда формируются цветочные бутоны, жуки прогрызают в них отверстия и откладывают яйца внутрь, где и развиваются личинки, питающиеся пестиками и тычинками. Липкие экскременты личинок склеивают лепестки, поэтому бутоны не распускаются, лепестки буреют и становятся хорошо заметны среди цветков. Внутри



Жук-щелкун

бутона личинка окукливается, и из куколки выходит жук, повреждающий завязывающиеся плоды.

Яблоню, реже грушу, повреждает *яблонная плодожорка*, вызывая «червивость» плодов. Зимует гусеница в шелковистых коконах под корой в нижней части ствола яблони, в щелях сараев, на поверхности почвы в садах. Бабочка откладывает яйца на листья или плоды. Гусеницы проникают в плод к семенной камере, выедают семена, а плод засоряют экскрементами. Поврежденные плоды не растут и опадают. За время развития гусеница яблонной плодожорки повреждает 1—3 плода. Для борьбы с яблонной плодожоркой рекомендуются сбор «опада», уничтожение опавшей листвы, очистка стволов.

Вредители леса. Наибольший вред древесным насаждениям наносят бабочки (*пяденицы, коконопряды, шелкопряды* и др.) и жуки (*майские жуки, гровосеки, короеды* и др.).

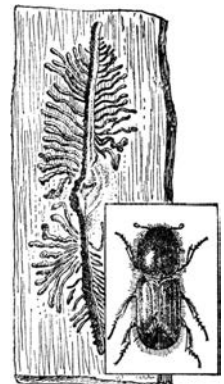
Листву и хвою деревьев повреждают пяденицы и шелкопряды. Пяденицы получили свое название из-за «шагающего» движения их прожорливых гусениц. В хвойных лесах широко распространена *сосновая пяденица*, гусеницы которой полностью съедают хвою, оставляя лишь небольшие «пеньки». Вспышки массового размножения сосновой пяденицы связаны с теплой сухой погодой в конце лета и могут длиться 6—8 лет. Большой ущерб лесу наносит и *сосновый коконопряд*, гусеницы которого в конце лета и весной следующего года активно объедают молодую и старую хвою, оголяя кроны сосен.

Дубравам и плодовым садам сильно вредит *кольчатый коконопряд*. В 1941—1952 гг. вспышка массового размножения этого вредителя привела к потере листвы деревьями на тысячах гектаров дубовых лесов от Беларуси до Урала.

Майские жуки, или хрущи, повреждают листья многих лиственных деревьев. В лесной зоне широко распространен *восточный майский жук*. В Прибалтике, Беларуси, Украине обычен *западный майский жук*. Подгрызая корни растений, личинки хрущей наносят вред молодым посадкам сосны, саженцам и сеянцам в питомниках, повреждают корнеплоды и клубни растений.

Дровосеки, или усачи, — опасные вредители леса, некоторые виды разрушают деревянные постройки, повреждают мебель. Личинки усачей питаются и развиваются в древесине, их можно обнаружить под корой старых пней. Личинки питаются не только под корой, они способны разрушать и более глубокие слои древесины. Всего несколько личинок усачей могут вывести из строя целое дерево. Они приводят в негодность заготовленные бревна, срубы и другие деревянные постройки.

Короеды — массовые вредители леса. Нападая на ослабленные деревья, они быстро вызывают усыхание их вершин и облегчают заселение деревьев насекомыми — разрушителями древесины. Короеды и их личинки проделывают под корой ходы, рисунок которых характерен для каждого вида. Заселяя дерево, они занимают его определенную часть: крону, вершинные ветви, стволы с тонкой или толстой корой, корни.



Жук-короед

Насекомые — паразиты человека и животных, переносчики возбудителей заболеваний

Насекомые могут наносить человеку и домашним животным самый различный ущерб. *Вши*, паразитирующие на теле и в волосах человека, вызывают заболевание *педикулез*. Заболевший человек испытывает зуд кожи головы, нарушается сон, снижается трудовая деятельность человека. Сходное воздействие оказывают на человека *постельные клопы, блохи, кровососущие комары, слепни, мошки*. Иногда секрет слюнных желез этих насекомых вызывает у человека аллергию.



Сленень

На птицах часто паразитируют *лухоеды*, повреждающие перьевой покров и приводящие к гибели молодых птиц, а в волосяном покрове млекопитающих — *власоеды*.

У коров, овец, лошадей паразитируют личинки *кожных* и *желудочных оводов*. Так, в Беларуси широко распространен *бычий овод*, личинка которого паразитирует в коже крупного рогатого скота, а также *лошадиный*, или *желудочный, овод*.

Самка лошадиного овода прикрепляет яйца к волосам лошадей. Выведшиеся личинки вбуравливаются в кожу и, минировав ее, вызывают у животного сильный зуд. Расчесывая кожу, лошадь слизывает и проглатывает личинок, которые прикрепляются затем к стенкам желудка лошади. В последнем личиночном возрасте они выходят из кишечника и окукливаются в земле. Зараженные животные теряют в весе, ухудшается их общее состояние.

Личинки мясных мух, попадая в ранки на теле животных, питаются их тканями, вызывая образование язв. В отдельные годы, размножаясь в большом количестве, они вызывают падеж скота, особенно молодняка.

Особенно опасны насекомые — переносчики возбудителей заболеваний человека и животных. Так, *комнатные мухи*, контактируя со сточными водами, бытовыми отходами, пищевыми продуктами и предметами домашнего обихода, разносят возбудителей брюшного тифа, цисты дизентерийной амебы, яйца паразитических червей. Такую же роль могут играть тараканы, муравьи и другие насекомые, обитающие в жилище человека или рядом с ним. Эти насекомые получили название *синантропных* (греч. *син* — вместе, рядом и *антропос* — человек).

Возбудителя бубонной чумы переносят *крысиные блохи*. Насекомые являются единственными переносчиками возбудителей малярии (комары рода *анофелес*), сыпного тифа (вши), вирусных заболеваний человека (комары, кровососущие мухи).

Чтобы предупредить заражение человека и животных, необходимо бороться с переносчиками возбудителей заболеваний. Для предупреждения распространения малярии уничтожают места выплода комаров — осушают мелкие лесные лужи, заболоченные водоемы, разводят в прудах рыб, поедающих водных личинок и куколок комаров.

Для предупреждения эпидемии сыпного тифа следует соблюдать личную гигиену, бороться с вшивостью. Распространению кишечных инфекций препятствует борьба с мухами и другими синантропными насекомыми.

Одомашненные насекомые. Пчеловодство. Охрана насекомых

Некоторые виды (*медоносная пчела*) одомашнены человеком и имеют большое хозяйственное значение.

Пчеловодство. Медоносная пчела — один из 30 тыс. видов пчелиных — основных опылителей цветковых растений.

Для пчелы, как и для других общественных насекомых, характерен *полиморфизм (многоформие)*. В медоносной семье пчелы есть одна крупная самка (*матка*, или *царица*), около 300 самцов (*трутней*) и десятки тысяч *рабочих пчел*. Дикie пчелы живут в дуплах деревьев, одомашненные — в ульях. В настоящее время выведено несколько пород пчел.

Матка — самая крупная пчела в семье. *Трутни* имеют средние размеры и очень большие, соприкасающиеся на затылке глаза. *Рабочая пчела* мельче остальных членов семьи. У нее крупная, покрытая волосками голова с двумя сложными фасеточными гла-

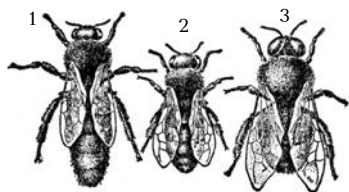


Рис. 9.50. Медоносная пчела: 1 — матка; 2 — рабочая пчела; 3 — трутень

зами и тремя простыми глазами между ними. Впереди расположены усики. Органы зрения и обоняния позволяют рабочим пчелам отыскивать растения-медоносы и выполнять все работы в улье. Они обеспечивают уход и кормление развивающихся личинок, поддерживают чистоту, постоянную температуру и влажность в улье, осуществляют его защиту и только в последний период жизни начинают вылетать из улья и становятся фуражирками, добывая нектар и пыльцу.

Ротовой аппарат у пчел лакающий. Верхние челюсти позволяют обрабатывать воск при постройке сот. Хоботок, образованный нижней губой и укрепленный нижними челюстями, служит для слизывания нектара, который попадает в зоб, где смешивается с выделениями слюнных желез. Этой смесью пчела заполняет ячейки сот, где смесь превращается в мед.

Для сбора пыльцы пчелы используют конечности. На задней паре ног с внешней стороны есть гладкая площадка, окруженная волосками, — *корзиночка*. Первый, расширенный членик задней лапки, с внутренней стороны покрытый рядами волосков, образует *щеточку*. Это и есть собирательный аппарат пчел (рис. 9.51). Щеточкой пчела чистит свое тело, собирая пыльцу после посещения цветков, затем трет конечность о конечность, формируя комочек — *обножку*, которую помещает в корзиночку и переносит в улей. Пропитанная медом пыльца (*перга*) — это запас пищи для личинок пчел.

На брюшке у рабочих пчел находятся *воскоотделительные железы*. Образуемые ими маленькие пластинки воска выделяются на гладких участках брюшка (зеркальцах) и снимаются задними конечностями. Затем они разминаются челюстями и используются для строительства сот.

На последних члениках брюшка рабочей пчелы расположено жало — видоизмененный яйцеклад. Жало — орудие защиты. Железы, лежащие в основании жала, выделяют яд, в состав которого входят муравьиная кислота и другие вещества. Жало несет на внешней стороне шипики. При введении жала в тело насекомых, имеющих хитинизированный покров, выделяется ядовитый секрет, убивающий или парализующий жертву. Жало при этом легко извлекается из ранки. При введении жала в покровы теплокровных животных шипики цепляются за эластичную кожу. Пчела оставляет жало в покровах вместе с ядовитой железой и частью брюшка, при этом она погибает. Если пчела ужалила человека, рекомендуется извлечь жало, чтобы снизить болезненность и устранить отек, а затем приложить к месту укуса тампон, смоченный раствором соды, которая нейтрализует кислоту яда.

Размножение и развитие пчел. В улье зимуют оплодотворенная матка и рабочие пчелы, завершившие развитие в конце предыдущего лета. Весной матка откладывает два типа яиц: в крупные ячейки сот — неоплодотворенные яйца, в маленькие — оплодотворенные. Из неоплодотворенных яиц развиваются самцы, из оплодотворенных — самки. Самка очень плодовита, в сутки она откладывает более 1000 яиц.

Из яиц выходят белые червеобразные личинки. В течение первых трех дней все личинки выкармливаются маточным молочком — секретом слюнных желез. Такой рацион сохраняется до завершения развития личинок, перенесенных в самые крупные ячейки — маточники. Из них развиваются молодые матки, или царицы. Остальные личинки, из которых вырастут самцы и рабочие пчелы, с четвертого дня выкармливаются пергой — смесью меда и пыльцы. Растут личинки быстро, за 6 дней увеличиваются примерно в 500 раз, а затем окукливаются. Перед окукливанием личинок рабочие пчелы запечатывают ячейки воском. Вышедшие из куколок взрослые насекомые прогрызают крышечки и выходят на соты.



Ротовой аппарат пчелы

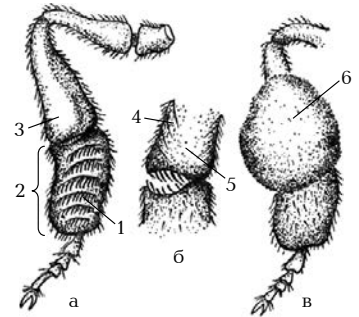


Рис. 9.51. Строение задней ноги пчелы с внутренней стороны (а), корзиночка для сбора и переноса пыльцы (б); нога с собранным пчелой комочком пыльцы (в): 1 — щеточка для очистки пыльцы с волосков тела; 2 — первый членик лапки — пятка; 3 — голень; 4 — жесткие волоски; 5 — корзиночка; 6 — обножка

В период размножения в первую очередь выводятся множество рабочих пчел, затем трутни и молодая матка. С выходом молодой матки начинается *роение*. Старая матка с частью рабочих пчел вылетает из улья и отыскивает подходящее место для основания новой семьи. Молодая матка, оставшаяся в улье, уничтожает личинок в других маточных ячейках, так как повторные роения ослабляют семью.

Через несколько суток молодая матка вылетает из улья. Вслед за ней вылетают трутни. После завершения брачного полета оплодотворенная самка возвращается в улей. Трутни изгоняются из улья и погибают. Матка живет 4—5 лет.

Пчелы производят ценный продукт питания человека — *мед*, обладающий лечебными свойствами. Уничтожая болезнетворные микроорганизмы, мед подавляет воспалительные процессы, ускоряет заживление ран. В древности мед использовали для бальзамирования тел умерших людей. Пчелиный воск используется в технических целях, в научных лабораториях. Маточное молочко, пчелиный яд и пчелиный клей (*прополис*) служат сырьем для изготовления лекарственных препаратов. Но основная роль пчел — опыление растений.

Пчеловодство — одна из важных отраслей народного хозяйства. Разведение пчел не только позволяет получать ценные продукты питания и лекарственное сырье, но и способствует повышению урожайности опыляемых пчелами растений.

Охрана насекомых. Полезные для человека насекомые (опылители, хищники и паразиты) подлежат охране. С этой целью их привлекают на поля, высевая медоносные растения (клевер, донник, гречиху). Такие посевы значительно увеличивают продуктивность медоносных пчел и представляют собой прекрасное место обитания для других насекомых-опылителей. Среди полей, окультуренных лугов и пастбищ целесообразно оставлять островки кустарников и лесов. Там могут найти приют различные насекомые.

Насекомые украшают окружающий мир. Многие крупные бабочки, стрекозы и жуки, подобно ярким и привлекательным цветкам, создают неповторимую картину природы и побуждают людей бережно относиться ко всему живому на Земле.

Многие насекомые в нашей стране подлежат охране и занесены в Красную книгу Республики Беларусь. Это крупные, красивые бабочки (*ранняя шашечница*, *черный аполлон*), жуки (*жук-олень*, *пахучий красотел*) и другие насекомые.

Помните! Лучшим способом коллекционирования насекомых является их фотосъемка.

ТИП ХОРДОВЫЕ

Общие признаки хордовых. К типу Хордовые принадлежат известные вам животные: *рыбы*, обитающие как в морских, так и пресных водах; *лягушки*, *жабы*, *тритоны*, которых можно встретить как на суше, так и в водоемах. На освещенных солнечными лучами лесных полянах нетрудно заметить шустрых *ящериц*. Многие из вас в зоопарках видели *черепах* и ядовитых *змей*. *Птиц* каждый из вас видит во все сезоны года. Известны вам также *ежи*, *летучие мыши*, *белки*, *мыши*, *волки*, *собаки*, *киты* и др. Все эти разнообразные животные, различающиеся по внешнему строению и размерам, образу жизни, принадлежат к одному типу, так как им свойственны общие черты организации:

1. *Хорда* — внутренний скелет в виде упругого хрящеподобного стержня, расположенного вдоль спинной стороны тела животного (рис. 9.52). Хорда —

опора, обеспечивающая поддержание формы тела. На стадии зародыша она есть у всех хордовых животных. Лишь у немногих животных хорда сохраняется и во взрослом состоянии. У большинства же она по мере роста и развития зародыша постепенно замещается более крепким костным позвоночником. Благодаря прочному внутреннему скелету размеры и масса тела хордовых самые большие среди всех существующих животных.

2. Центральная нервная система представлена *нервной трубкой*, полость которой заполнена спинномозговой жидкостью. У большинства хордовых на стадии зародыша ее передний отдел расширяется и преобразовывается в головной мозг.

3. Передний отдел пищеварительной трубки — глотка — пронизан *жаберными щелями*. Наземные хордовые имеют их только на начальных стадиях зародышевого развития, а у некоторых водных — сохраняются всю жизнь.

4. Кровеносная система хордовых замкнутая. *Сердце* расположено не на спинной стороне, как у животных предыдущих типов, а на *брюшной стороне* под пищеварительной трубкой.

Тип Хордовые подразделяется на три подтипа. Познакомимся с двумя из них — Бесчерепными и Черепными, или Позвоночными.

Подтип Бесчерепные. Единственным классом в этом подтипе является класс *Головохордовые*, или *Ланцетники*, насчитывающий около 35 видов мелких (4—6 см длиной) морских животных, обитающих на мелководье теплых морей. Они имеют полупрозрачное рыбообразное тело (рис. 9.53). Вдоль спинной, брюшной сторон и хвоста проходит складка кожи, которая образует плавник. Из-за формы хвостового плавника, напоминающего хирургический инструмент ланцет, класс получил свое название.

Ланцетник имеет все характерные черты строения хордового животного: хорду в течение всей жизни, нервную трубку, около 150 пар жаберных щелей в глотке, перегородки которых выстланы ресничным эпителием, создающим ток воды через жаберные щели. При этом происходит не только газообмен, но и отфильтровывание пищевых частиц из воды. Отфильтрованная пищевая взвесь поступает далее в пищеварительный тракт, где она переваривается и всасывается.

Кроме типичных черт, свойственных хордовому животному, строение некоторых систем органов сближает его с кольчатыми червями. Так, наружный слой кожи ланцетника представлен *однослойным эпителием*, а не многослойным, как у позвоночных животных. Мышечная система образована многочисленными *сегментами* поперечно-полосатой мышечной ткани, сокращения которой вызывают однообразные боковые движения тела. Это позволяет животным плавать или зарываться задним концом тела в грунт. Кровеносная система сходна по строению с таковой кольчатых червей. Выделительная система представлена примерно сотней пар образований, сходных с *метанефридиями* кольчатых червей.

Ланцетники — раздельнополые животные. Как и многощетинковые черви, они имеют многочисленные (около 25 пар) половые железы без выводных протоков. Созревшие половые клетки через разрывы стенок половых желез выводятся в полость тела, а затем в воду, где и происходит оплодотворение. Развитие с планктонной личиночной стадией.

Таким образом, особенности строения ланцетника дают основание рассматривать его как переходное звено между беспозвоночными и хордовыми животными.

Подтип Черепные, или Позвоночные. Позвоночные — самая многочисленная и наиболее высоко орга-

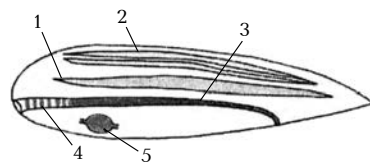


Рис. 9.52. Схема строения хордового животного: 1 — хорда; 2 — нервная трубка; 3 — пищеварительный канал; 4 — жаберные щели; 5 — сердце

Характерные особенности хордовых:

- хорда — опорный эластичный тяж над кишечником (у высших замещается позвоночником);
- жаберные щели в стенках глотки;
- нервная система в виде нервной трубки, расположена над хордой;
- пищеварительная трубка расположена под хордой;
- замкнутая кровеносная система; сердце на брюшной стороне тела

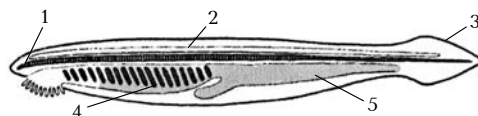


Рис. 9.53. Строение ланцетника: 1 — хорда; 2 — нервная трубка; 3 — хвостовой плавник; 4 — жаберные щели; 5 — пищеварительный канал

низованная группа хордовых животных. У большинства взрослых животных хорда замещается более прочным внутренним скелетом — костным позвоночником. Развивается череп, который защищает головной мозг. Животные имеют две пары конечностей и пояса — плечевой и тазовый, к которым они прикрепляются. Пища отыскивается ими активно, схватывается челюстями, часто дополнительно измельчается, облегчая и ускоряя пищеварение.

Прогрессивное развитие центральной нервной системы — головного и спинного мозга — и совершенствование органов чувств привели к усложнению поведения позвоночных животных. Они стали образовывать временные и постоянные группировки особей (семьи, стада, стаи, колонияльные поселения), что повысило их защищенность от врагов и снизило гибель от неблагоприятных факторов внешней среды. Все эти приспособления способствовали широкому расселению позвоночных животных на планете.

Тип Хордовые объединяет около 41 тыс. современных видов, заселивших все жизненные среды: океаны, моря, озера, реки, пруды, поверхность суши, почву континентов и островов, воздушное пространство. Из многочисленных классов хордовых мы познакомимся только с несколькими из них: Рыбами, Земноводными, Пресмыкающимися, Птицами, Млекопитающими.

Надкласс Рыбы

Среда обитания. Внешнее строение, скелет и мускулатура рыб.

Рыбы — постоянные обитатели самых разных водоемов: океанов, морей, озер, рек, ручьев, прудов. Их можно встретить в прозрачных ключевых водах, болотах, в высокогорных озерах, подземных реках. Рыбы одних видов обитают в толще воды, другие предпочитают придонные слои, третьи живут среди зарослей на мелководье. Многие из них освоили холодные воды Арктики и Антарктики с температурами до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а некоторые — горячие источники с температурами около $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рыбы, которые заселили соленые воды океанов и морей, называются *морскими*, а живущие в водоемах с пресной водой — *пресноводными*.

Рыбы — самая многочисленная группа хордовых животных с числом видов около 21 тыс. Несмотря на значительные различия в размерах и форме тела, все рыбы имеют сходные черты строения, которые они приобрели под влиянием *особых свойств воды* как среды их обитания. Главнейшими из них являются высокая плотность (вода почти в 800 раз плотнее воздуха!), несжимаемость, выталкивающая сила. Кроме того, по сравнению с воздухом вода мало прозрачна. В ней содержится примерно в 30 раз меньше растворенного кислорода, чем в равном объеме атмосферного воздуха. Давление воды с возрастом глубины водоема увеличивается, а освещенность резко снижается.

Известно выражение «чувствует себя, как рыба в воде», т. е. уверенно в определенной среде, профессии и т. п. К особенностям водной среды рыбы приспосабливались в процессе длительного исторического развития. Жизнь в воде определила форму их тела, особенности передвижения, дыхания, размножения, а также строения органов чувств. Давайте познакомимся с ними.

Внешнее строение рыб. Тело рыбы состоит из трех отделов — заостренной впереди *головы*, которая плавно переходит в более объемистое *туловище*, а с ним сливается *хвост*, постепенно сужающийся к концу (рис. 9.54). Такая обтекаемая форма тела испытывает наименьшее сопротивление при движении в воде. У рыб, обитающих в толще воды, тело сплющено с боков, а у придонных (скаты, камбала) — в спинно-брюшном направлении.

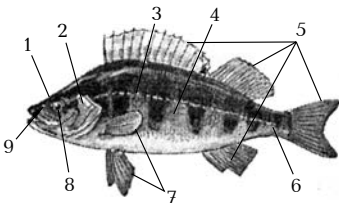


Рис. 9.54. Внешнее строение речного окуня: 1 — голова; 2 — жаберная крышка; 3 — боковая линия; 4 — туловище; 5 — непарные плавники; 6 — хвост; 7 — парные плавники; 8 — глаз; 9 — ноздря

На голове рыб расположена пара *глаз*, а впереди них — *ноздри*. На губах некоторых придонных видов рыб (сом, сазан, осетр) имеются выросты кожи в виде усов, выполняющих функцию осязания. У большинства рыб по бокам головы расположена пара подвижных *жаберных крышек*.

На туловище и хвосте рыб расположены *плавники*: парные — грудные и брюшные и непарные — спинной, хвостовой и подхвостовой (анальный). Они образованы складками кожи, поддерживаемыми плавниковыми лучами. Плавники подвижны благодаря сокращению мышц и выполняют разные функции. Так, спинной и подхвостовой плавники помогают телу рыбы сохранять при движении равновесие и держаться спиной вверх. Грудные и брюшные плавники обеспечивают повороты, погружение и всплытие рыбы к поверхности, а также поддерживают равновесие. Хвост вместе с хвостовым плавником используется как движитель. Рыба с силой бьет им из стороны в сторону, отталкиваясь от плотной воды. Одновременно с боковыми движениями хвостовой части тела и хвостового плавника змееобразно изгибается и туловище, продвигая рыбу вперед. Форма плавников и их расположение на теле рыбы у разных видов различны.

У большинства рыб тело покрыто *чешуей* — тонкими плоскими костными пластинками. Передней частью они погружены в кожные карманы, а выступающей задней — черепицеобразно налегают друг на друга. Покров из чешуи защищает тело рыбы от внешних повреждений, не мешая движению. По мере роста рыбы увеличивается в диаметре и чешуя. Из-за неравномерного роста в летний и зимний периоды на ней образуются годовичные кольца, по числу которых определяют возраст рыбы.

Рыбу трудно удержать в руках, так как она скользкая за счет слизи, обильно выделяемой многочисленными железами кожи. При движении слизь уменьшает трение тела рыбы о воду, а содержащиеся в ней особые вещества препятствуют размножению на коже грибков и болезнетворных бактерий.

Окраска покровов рыб самая разнообразная и зависит от пигментов в клетках кожи рыб. Обитатели толщи воды и ее верхних слоев имеют серебристую окраску (плотва, уклейка, сельдь). Рыбы, живущие среди зарослей водной растительности, имеют зеленоватую окраску, нередко с темными вертикальными полосами. Ядовитые рыбы отличаются яркой предупреждающей окраской.

По бокам тела рыбы располагается *боковая линия* — один из важнейших органов чувств рыб, с помощью которого они способны воспринимать направление тока и силу давления воды. Благодаря этому удивительному органу рыбы легко ориентируются в потоках воды, избегают столкновения с подводными предметами на больших глубинах, лишенных освещения.

Скелет рыб является опорой для прикрепления мышц и защитой для внутренних органов. Он состоит из скелета головы — черепа, позвоночника, скелета парных и непарных плавников и их поясов (рис. 9.55).

Череп имеет два отдела: мозговой и висцеральный (лицевой). Кости мозгового отдела защищают головной мозг рыбы. Лицевой отдел черепа включает верхние и подвижные нижние челюсти. С помощью челюстей рыбы схватывают и удерживают добычу.

С черепом неподвижно срастается *позвоночник*. Он образован подвижно соединенными позвонками. В туловищном отделе к позвонкам прикреплены ребра, защищающие внутренние органы. В хвостовом отделе позвоночника ребер нет.

Опорой для грудных плавников служит *плечевой пояс*, состоящий из лопатки и коракоида, а для брюшных плавников — *тазовый пояс* (см. рис. 9.55).

Рыбы имеют плавники:

- парные (грудные и брюшные);
- непарные (спинной, хвостовой, подхвостовой (анальный)).

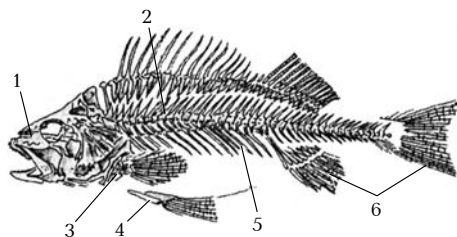


Рис. 9.55. Скелет речного окуня: 1 — череп; 2 — позвоночник; 3 — плечевой пояс; 4 — тазовый пояс; 5 — ребра; 6 — плавниковые лучи

Мускулатура рыб. Под кожей рыб расположены прикрепленные к костям мышцы. Хорошо развитые мышцы туловища и хвоста состоят из соединенных друг с другом сегментов и лежат по бокам тела в виде мышечных лент. Их сокращение вызывает однообразные боковые изгибы тела. Движение же глаз, жаберных крышек, парных плавников осуществляют специальные мышцы.

Скорость движения рыб различна. Так, обитающие в открытой части океана *тунцы*, *меч-рыбы* могут развивать скорость до 100 км/ч. Рыбы придонные и населяющие прибрежные участки водоемов плавают с небольшими скоростями (*окунь*, *судаки*, *щуки*).

Питание. Рыбы потребляют различные виды кормов. Так, *белый амур* поедает водные растения (рдесты, тростник), *белый толстолобик* — планктонные водоросли, *карап* — личинок насекомых и растения. Это — *мирные* рыбы. Хищные рыбы (*щука*, *окунь*, *судак*) питаются мелкими рыбами, лягушками и даже молодью водоплавающих птиц.

Среди хищных рыб наиболее обычен *речной окунь*. Пищу он захватывает челюстями, на которых имеются зубы, помогающие удерживать добычу.

Пища поступает в *ротовую полость*, а затем в *глотку*. Через жаберные щели глотки вода выходит наружу, а пища продвигается в *пищевод*, а из него — в *желудок* (рис. 9.56). Многочисленные железы стенок желудка выделяют в его полость пищеварительные соки, под влиянием которых пища переваривается. Окончательное переваривание и всасывание растворенных питательных веществ в кровь происходит в тонкой кишке. В ее начальный отдел — *двенадцатиперстную кишку* — открывается проток *поджелудочной железы* и желчный проток *печени*. Сок поджелудочной железы и желчь ускоряют переваривание пищи. Непереваренные остатки поступают в заднюю кишку и выбрасываются наружу через анальное отверстие.

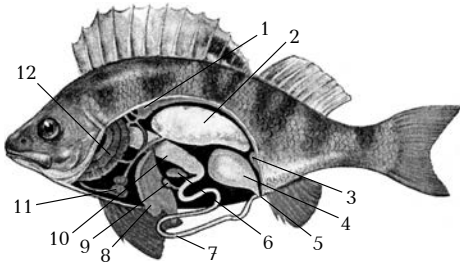


Рис. 9.56. Анатомированный речной окунь: 1 — почка; 2 — плавательный пузырь; 3 — мочевой пузырь; 4 — яичник; 5 — выделительное отверстие; 6 — поджелудочная железа; 7 — кишечник; 8 — печень; 9 — желчный пузырь; 10 — желудок; 11 — сердце; 12 — жаберы

С добычей корма у рыб связано сложное пищевое поведение: активный поиск пищи у акул, тунцов, судаков, подкарауливание и нападение из укрытия у окуня, щуки. Некоторым видам рыб свойственны массовые передвижения в районы, богатые пищей.

В умеренной климатической зоне с наступлением зимы многие рыбы начинают меньше питаться или вовсе прекращают. Так, карпы в зимовальных прудах не питаются на протяжении более пяти самых холодных месяцев, расходуя жировые запасы, накопленные летом.

Плавательный пузырь. В полости тела костных рыб расположен плавательный пузырь — тонкостенный мешок, заполненный смесью газов (см. рис. 9.56). Развивается он как полый вырост пищевода. Стенки пузыря пронизаны густой сетью кровеносных сосудов. Благодаря особому строению капиллярной сети в некоторых участках стенки пузыря, в нем может происходить как поглощение газов из пузыря в кровеносную капиллярную сеть (объем пузыря уменьшается), так и выделение из них газов в полость пузыря (пузырь расширяется). При расширении пузыря удельная масса тела рыбы уменьшается, при сжатии — увеличивается. Это позволяет рыбам погружаться на разные глубины и зависать в толще воды, не затрачивая при этом мышечных усилий, а только уравнивая плотность своего тела с плотностью воды. Таким образом, основная функция плавательного пузыря — *гидростатическая*.

Хрящевые рыбы (*акулы*, *скаты*) не имеют плавательного пузыря. Чтобы удержаться в толще воды, им приходится постоянно плавать, а для отдыха ложиться на дно. Облегчает тело акул большая печень, содержащая много жира.

Дыхание. Окунь дышит *жабрами* (рис. 9.57). Они расположены по бокам головы и прикрыты жаберными крышками. Обмен газами происходит с помощью

тончайших *жаберных лепестков*, расположенных на *жаберных дугах*. Лепестки густо пронизаны сетью кровеносных капилляров, поэтому их цвет у живой рыбы ярко-алый. Со стороны ротовой полости жаберные дуги имеют многочисленные беловатые выросты — *жаберные тычинки*, которые смыкаются друг с другом и образуют фильтр, задерживающий пищу в глотке.

Рыба постоянно заглатывает воду. Когда она открывает рот и закрывает жаберные крышки, насыщенная кислородом вода попадает в полость рта. Затем рот закрывается, а жаберные крышки открываются, и вода омывает жабры. Растворенный в воде кислород проникает в кровеносные капилляры жаберных лепестков, а из них углекислый газ удаляется в воду. Так в жабрах происходит *газообмен*.

Кровеносная система у окуня замкнутая, как и у всех хордовых (рис. 9.58). Она состоит из сердца и сосудов. Сосуды, по которым кровь оттекает от сердца, называются *артериями*, а приносящие кровь к сердцу — *венами*. Сердце имеет две камеры — *предсердие* и *желудочек*, мускульные стенки которых поочередно сокращаются. Из предсердия кровь выталкивается в желудочек, а из него — в *брюшную аорту*, по которой кровь течет к жабрам, где насыщается кислородом и освобождается от углекислого газа. Оттекающая от жабр алая кровь, богатая кислородом, называется *артериальной*. Она поступает в артерии головного отдела и в *спинную аорту*, несущую от нее насыщенную кислородом кровь к органам и мускулатуре туловища и хвоста. Оттекающая от органов и тканей кровь содержит углекислый газ, имеет темно-вишневый цвет и называется *венозной*. Собираясь в крупные вены, кровь течет к сердцу и поступает в предсердие, а из него выталкивается в желудочек.

Благодаря ритмическим сокращениям сердца кровь непрерывно движется по *одному* замкнутому кругу кровообращения.

В крови рыб имеются красные клетки — *эритроциты*, содержащие дыхательный пигмент *гемоглобин*.

Температура тела рыбы непостоянная и зависит от температуры воды. Такие животные называются *холоднокровными*.

Выделительная система представлена парными *туловищными почками*, расположенными в спинной части полости тела. В почках из кровеносных капилляров отфильтровываются вредные вещества жизнедеятельности клеток (аммиак, мочевины). Образовавшаяся моча от каждой почки оттекает по мочеточнику в мочевой пузырь, где накапливается, а затем по мочеиспускательному каналу выводится наружу через выделительное отверстие, расположенное позади анального (см. рис. 9.56).

Нервная система и органы чувств. Речной окунь, как и все позвоночные животные, имеет *спинной* и *головной мозг*. От них отходят *периферические нервы*, идущие ко всем органам и тканям рыбы (рис. 9.59).

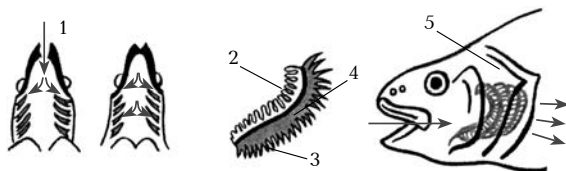


Рис. 9.57. Жаберный аппарат речного окуня (стрелками показан ток воды): 1 — ток воды; 2 — жаберные тычинки; 3 — жаберные лепестки; 4 — жаберная дуга; 5 — жаберная крышка

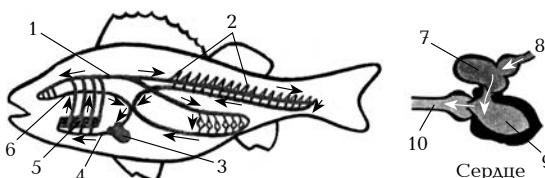


Рис. 9.58. Кровеносная система речного окуня (стрелками показан ток крови): 1 — спинная аорта; 2 — капилляры; 3 — сердце; 4 — брюшная аорта; 5 — жаберные сосуды; 6 — вена; 7 — предсердие; 8 — вена; 9 — желудочек; 10 — брюшная аорта

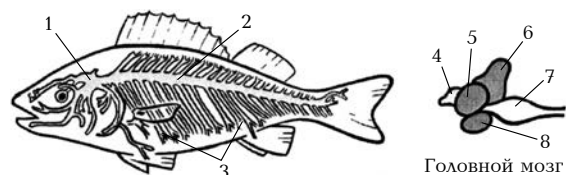


Рис. 9.59. Нервная система рыбы: 1 — головной мозг; 2 — спинной мозг; 3 — нервы; 4 — передний мозг; 5 — средний мозг; 6 — мозжечок; 7 — продолговатый мозг; 8 — промежуточный мозг

Спинной мозг в виде длинной округлой трубки расположен в спинномозговом канале позвоночника, который защищает его от повреждений. От спинного мозга отходят нервы ко всем органам и мускулатуре тела.

Головной мозг находится в мозговом отделе черепа. Как и у всех позвоночных животных, он состоит из пяти отделов: переднего, промежуточного, среднего мозга, мозжечка и продолговатого мозга, который без резких границ переходит в спинной мозг. Наиболее развитыми отделами головного мозга являются мозжечок, координирующий движения рыб, и средний мозг, перерабатывающий информацию от органов зрения и боковой линии. В переднем мозге имеются большие обонятельные доли.

Органы чувств окуня, как и других рыб, хорошо приспособлены к жизни в воде.

Глаза погружены в глубокие впадины черепа, защищающие их от повреждений. Они имеют плоскую прозрачную роговицу и шаровидный хрусталик, в связи с чем рыбы близоруки и видят только близко расположенные предметы (до 10—15 м). У хрящевых рыб зрение черно-белое, у костных — цветное. Зрение играет важную роль в поиске пищи, партнера для размножения, в распознании особей своего вида, обнаружении опасности.

Этим же целям служит острое *обоняние* рыб. Орган обоняния представлен парными мешочками, выстланными чувствительными клетками. Каждый обонятельный мешочек открывается наружу отверстием — ноздрей. Рыбаки используют острое обоняние рыб, прикармливая их в местах ловли.

Рыбы распознают вкус пищи с помощью многочисленных *вкусовых сосочков*, расположенных на губах, стенках глотки и даже на плавниках.

Орган слуха устроен просто, так как звуковые колебания хорошо распространяются в воде. Он не имеет связи с внешней средой и представлен только внутренним ухом, расположенным в костях черепа. Звуковые колебания из водной среды передаются через кости черепа непосредственно внутреннему уху.

Поговорка «нем как рыба» не соответствует действительности. Рыбы способны издавать звуки движениями челюстей, жаберных крышек, плавников, плавательным пузырем. Посредством звуковой сигнализации рыбы выражают угрозу, предупреждение, призыв, подают сигнал тревоги. Однако, чтобы услышать эти звуки человеку, необходимо использовать специальные приборы, так как наше ухо уловить их не способно.

Особую роль в жизни рыб играет *орган боковой линии*. Он представлен продольными каналами, лежащими по бокам тела в коже, от которых отходят многочисленные вертикально расположенные каналы, сообщающиеся с наружной средой отверстием. Расположенные в каналах чувствительные клетки воспринимают направление и силу давления воды. Это позволяет рыбе ориентироваться в потоках воды, держаться в стае, плавать как в дневное, так и в ночное время суток, избегая столкновений с подводными предметами.

Поведение рыб. Если попытаться коснуться тела рыбы, плавающей в аквариуме, она будет избегать этого, резко уходя в сторону. При подаче же корма в кормушку рыбы будут подплывать к ней. В первом случае мы наблюдаем оборонительный рефлекс, во втором — пищевой. Такие рефлексы называются *безусловными*, или *врожденными*, они передаются по наследству.

Если же одновременно с подачей корма слегка постукивать по стеклу аквариума либо подавать какой-либо звуковой сигнал и повторять подобное многократно, то через некоторое время такой сигнал сам по себе будет привлекать рыбу к кормушке. На подобные сигналы у рыб вырабатываются *условные рефлексы*, т. е. рефлексы, возникающие при определенных повторяющихся условиях. Такие приобретенные условные рефлексы нестойки, и, если их время от времени не подкреплять (в нашем случае — подачей пищи), они исчезают.

Значение условных рефлексов состоит в том, что они помогают животному приспособиться к меняющимся условиям существования. Условные рефлексы приобретаются индивидуально в течение жизни животного и не передаются по наследству.

Размножение и развитие рыб. Рыбы — раздельнополые животные, причем у многих видов самцы и самки различаются внешне.

У самок окуня имеется большой мешковидный **яичник**, в котором созревают яйцеклетки (**икринки**) (рис. 9.60). Самцы имеют пару длинных **семенников**, которые в период размножения сильно увеличиваются в размерах, заполняясь беловатой жидкостью — **молоками**, содержащей сперматозоиды. Протоки половых органов открываются наружу **половым отверстием**.

Окунь становится половозрелым на втором-третьем году жизни. Сложное инстинктивное поведение рыб в период размножения называется **нерестом**. У окуня нерест начинается после таяния льда на водоемах. За несколько дней до него окраска окуней становится особенно яркой. Они собираются стаями в заводях, старицах, слабо проточных участках водоема. Самки выметывают до 200 тыс. икринок, склеенных в виде лент, на водные растения, а самец поливает их молоками. Таким образом, оплодотворение у окуня, как и у большинства рыб, наружное.

При созревании половых клеток у рыб проявляется инстинкт размножения. Часть рыб размножается на мелководье водоемов, где они постоянно живут, а рыбы некоторых других видов совершают передвижения — **миграции** — в места, наиболее благоприятные для развития их потомства. Так, например, лососевые рыбы (**кета**, **горбуша**) устремляются из моря в верховья рек, продвигаясь огромными косяками против течения и преодолевая все препятствия на своем пути. Другие рыбы, например **речной угорь**, наоборот, из пресных водоемов уходит для размножения в море. Рыбы, совершающие миграции из рек в моря или из моря в реки, называются **проходными**.

Количество откладываемых самками икринок у разных видов рыб сильно различается и связано с заботой о потомстве. Так, **луна-рыба** выметывает до 300 млн, треска — до 10 млн икринок, которые развиваются в толще морской воды. Большая их часть поедается хищниками или гибнет по разным причинам.

У рыб, которые в большей или меньшей степени проявляют заботу о потомстве, количество образуемых икринок значительно меньше. Так, лососевые рыбы (**кета**, **горбуша**) откладывают около 1—4 тыс. икринок в углубления грунта реки, присыпают их чистой галькой и несколько дней охраняют гнездо. Устраивают примитивное гнездо из растений, камешков или роют ямки и охраняют оплодотворенные икринки некоторые **сомы**. Самец **трехиглой колюшки** из частей растений, скрепленных загустевшей в воде слизи, строит шаровидное гнездо, куда самка откладывает оплодотворенные икринки. Самец охраняет его, ремонтирует, подгребает плавниками свежую воду.

Оплодотворенная икринка начинает развиваться, клетки в ней делятся, их число под оболочкой икринки увеличивается. Через 9—14 сут после оплодотворения формируется **личинка** (см. рис. 9.60). Она покидает оболочку икринки и выходит в воду. В первые дни самостоятельной жизни личинка питается за счет запасов питательных веществ **желточного мешка**, расположенного на ее брюшной стороне. Израсходовав их, личинка переходит на питание мелкими планктонными рачками и другими беспозвоночными животными, находящимися в толще воды. Как только у подростка появляются чешуя и плавники, она становится **мальком**. Малек окуня быстро растет и за один год достигает длины не менее 10 см.

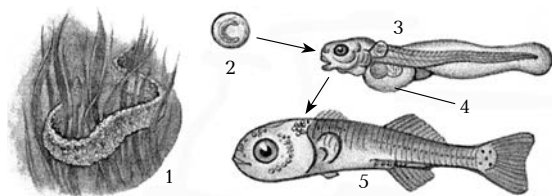


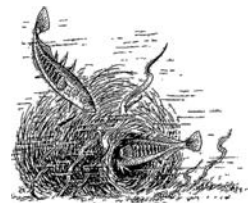
Рис. 9.60. Развитие речного окуня: 1 — кладка икры; 2 — икринка; 3 — личинка; 4 — желточный мешок; 5 — малек



Кета



Речной угорь



Гнездо трехиглой колюшки



Яйцеживорождение и живорождение. Для многих видов акул и скатов, аквариумных рыбок гуппий, молинезий, меченосцев характерно *яйцеживорождение*. В этом случае происходит внутреннее оплодотворение. Оплодотворенные яйца развиваются, задерживаются в половых протоках самки до тех пор, пока в них не сформируется личинка. Момент выхода личинки из яйца совпадает с откладкой его в воду.

У некоторых видов акул (*куны-акулы, молот-рыба*) и скатов (*хвостоколы*) встречается настоящее *живорождение*. В этом случае после расхождения желтка пустой желточный мешок зародыша прирастает к стенке половых путей самки. Через близко расположенные друг к другу кровеносные капилляры зародыша и материнского организма происходит поступление кислорода и питательных веществ в кровь зародыша и вынос из него углекислого газа и вредных веществ жизнедеятельности. Благодаря яйцеживорождению и живорождению обеспечивается существование рыб с невысокой плодотворностью и защита потомства.

Многообразие и хозяйственное значение рыб

У рыб выделяют два класса — Хрящевые и Костные.

Класс Хрящевые. Представлен немногочисленной группой морских видов рыб, имеющих хрящевой скелет в течение всей жизни. Жаберные крышки у хрящевых рыб отсутствуют. По бокам головы открываются 5—7 жаберных щелей. Плавательного пузыря нет. Парные плавники расположены в горизонтальной плоскости, а хвостовой плавник неравнолопастный, с большей верхней и малой нижней лопастями.

Передняя часть головы вытянута в удлиненное рыло, из-за чего рот, расположенный на брюшной стороне, имеет вид поперечной щели. Оплодотворение внутреннее. Размножение происходит путем откладки яиц, яйцеживорождения или живорождения.

К хрящевым рыбам принадлежат два отряда: Акулы и Скаты.

Акулы — активные пловцы с торпедообразной формой тела. Большинство из них хищники, находящие добычу с помощью обоняния и восприятия вибрации воды органом боковой линии. Челюсти вооружены острыми зубами. Самые крупные виды (массой до 14 т) являются фильтраторами планктона.

Скаты имеют уплощенное в спинно-брюшном направлении тело с сильно увеличенными грудными плавниками. Жаберные щели расположены с брюшной стороны. Зубы в виде невысоких призм собраны в «терку». Питаются рыбой и донными животными. Мясо скатов и акул съедобно.

Класс Костные. К нему относится самая многочисленная группа позвоночных животных (свыше 20 500 видов). Внутренний скелет у большинства рыб костный, лишь у немногих хрящевой, но укрепленный накладными покровными костями. Жаберные щели прикрыты с боков жаберными крышками. Развит плавательный пузырь. Оплодотворение в основном наружное. Познакомимся с некоторыми отрядами.

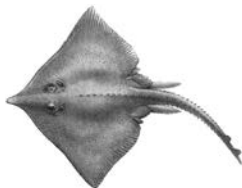
Отряд Осетрообразные. К этому отряду принадлежат белуга, осетр, севрюга, стерлядь и другие древние костно-хрящевые рыбы. Как и у хрящевых рыб, передняя часть их головы вытянута в рыло, щелевидный рот расположен на брюшной стороне тела, парные плавники расположены горизонтально, хвост с увеличенной верхней и меньшей нижней лопастями. Основу скелета составляет хрящ. Череп снаружи покрыт накладными плоскими костями, а на туловище и хвосте расположены пять рядов костных ромбовидных пластинок. Живут осетрообразные только в Северном полушарии, относятся к проходным и озерно-речным рыбам. Питаются донными беспозвоночными



Тигровая акула



Белая акула



Скат



Белуга

и мелкой рыбой. Это ценные промысловые рыбы, дающие высококачественное мясо и черную икру.

Единственный представитель этого отряда в водоемах Беларуси — *стерлядь* — занесена в Красную книгу Республики Беларусь.

Отряд Сельдеобразные. Включает морских стайных планктоноядных рыб. Большинство из них обитает вблизи берегов. Откладывают многочисленную липкую икру на грунт или водоросли. Отряд богат промысловыми видами: *атлантическая, тихоокеанская, балтийская (салака) сельди, кильки, сардины, анчоусы*.

Отряд Лососеобразные. Представлен проходными и пресноводными рыбами, откладывающими небольшое количество икры на песчаное или галечное дно пресных водоемов Северного полушария. Отличительной чертой их строения является наличие *жирового плавника* (без костных лучей). К отряду принадлежат ценные промысловые виды (*кета, горбуша, семга, форель, голец, ряпушка*), дающие высококачественное мясо и красную икру.

В реках и ручьях бассейна Балтийского моря, на территории Беларуси обитает *ручьевая форель*, занесенная в Красную книгу Республики Беларусь.

Отряд Карпообразные. Объединяет пресноводных костных рыб, у которых нет челюстных зубов. Пища измельчается зубами, расположенными в глотке. К карпообразным принадлежат промысловые виды — *плотва, лещ, линь, сазан, язь*. В прудовых хозяйствах нашей республики разводят *карпа* (одомашненная форма сазана), *серебряного карася, линя, белого и пестрого толстолобиков*. *Сырть* и *усач* занесены в Красную книгу Республики Беларусь.

Отряд Кистеперые. Рыбы этого отряда являются древней и почти целиком вымершей группой. В настоящее время известен только один вид — *латимерия*, обитающая в глубинах Индийского океана. Длина тела рыбы до 1,5 м. У нее своеобразно устроены парные плавники: в основании расположена широкая мясистая лопасть, внутри которой находится скелет плавника, напоминающий скелет конечности наземных позвоночных. Кистеперые представляют собой ветвь рыб, от которой, вероятно, произошли древние земноводные.

Хозяйственное значение рыб. Охрана рыб. Рыба и рыбопродукты играют важную роль в жизни человека. Ежегодный мировой улов рыбы составляет свыше 80 млн т. Мясо рыб является ценным диетическим, легко усвояемым продуктом. Печень тресковых и других морских рыб богата витамином D, необходимым детям для нормального формирования костей. Отходы рыбопереработки и неценные породы рыб используются для изготовления рыбной муки, которая добавляется в корм животных.

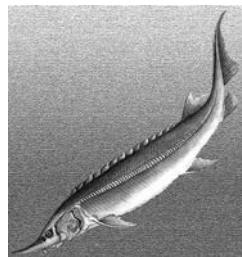
В последние десятилетия уловы рыбы сокращаются. Это происходит из-за перелова, загрязнения водоемов сточными водами, в которых содержатся ядовитые вещества. Это вызывает отравление и гибель рыбы.

В водоемы попадают также удобрения, смываемые с полей. В результате возникает опасное явление — массовое развитие водорослей, «цветение» воды. При этом в ночное время расходуется большое количество кислорода и может наступить массовая гибель рыбы — замор.

Большой вред рыбам приносит изменение берегов водоемов, их выпрямление, бетонирование, строительство плотин, шлюзов, уничтожение и загрязнение нерестилищ и др. Плотины препятствуют нерестовым миграциям проходных рыб, а непостоянство уровня воды в водохранилищах приводит к гибели (высыханию) отложенной икры.

Огромный ущерб популяциям рыб наносят браконьеры, используя мелкоячеистые сети, отлавливая рыбу во время нереста, убивая ее взрывом тола, электрическим током.

Как же сохранить рыбные запасы водоемов? Прежде всего необходимо *поддерживать чистоту среды обитания рыб — водоемов*. Сброс неочищенных



Стерлядь



Атлантическая сельдь



Форель ручьевая



Лещ



Латимерия

вод в водоемы наказывается крупными штрафами. Запрещается отлов некоторых видов рыб в период их размножения. Устанавливаются *сроки и нормы отлова рыбы*. Строятся *рыбопитомники*, в которых из икры выращиваются мальки, а затем они выпускаются в реки, озера и прибрежные воды морей. Именно таким способом в послевоенный период была восстановлена численность осетровых в Каспийском море.

Всем нравится отдыхать вблизи водоемов — рек, озер, морей. Каждый из нас может внести свой личный вклад в дело сохранения среды обитания рыб: не засорять берега водоема, не бросать в воду пластиковые упаковки и другой мусор, не вырывать и не вытаптывать прибрежные водные растения (это места нереста рыбы), не отлавливать водных животных (моллюсков, водных жуков и др.), не допускать попадания в водоем моющих средств. Поступая таким образом, мы будем поддерживать в чистоте водоем, а следовательно, и сохранять жизнь его обитателям.

Прудовое хозяйство. Большую роль в обеспечении населения рыбной продукцией играет выращивание рыбы. Наибольшие успехи достигнуты в прудовых хозяйствах. Характерной особенностью прудового рыбоводства является полный контроль со стороны человека за всеми этапами выращивания рыбы, начиная от получения личинки до товарной продукции. Основными объектами рыбоводства в Республике Беларусь являются карп, серебряный карась, щука, белый и пестрый толстолобики. Форель — объект холодноводного рыбоводства.

КЛАСС ЗЕМНОВОДНЫЕ, ИЛИ АМФИБИИ

Класс Земноводные объединяет примерно 2,5 тыс. видов хордовых животных, которые первыми вышли на сушу, но сохранили связь с водной средой. Распространены повсеместно, но наиболее широко встречаются в регионах с теплым и влажным климатом. Живут вблизи водоемов. Земноводные имеют приспособления, позволяющие им жить как в водной среде, так и в наземной. Познакомимся с особенностями строения земноводных на примере известной всем лягушки.

Внешнее строение и движение. Голова и туловище лягушки слегка уплощены в спинно-брюшном направлении. Передняя часть головы, как и у рыб, клинообразно вытянута. Такая форма тела облегчает движение животного в воде. На голове расположена пара выпуклых *глаз*. Впереди них на возвышениях находится пара *ноздрей*. Форма глаз и расположение ноздрей позволяют лягушке видеть и дышать атмосферным воздухом, не выходя из воды. Позади глаз расположены округлые *барабанные перепонки*.

Наличие двух пар пятипалых конечностей обеспечивает им движение по твердой поверхности суши. Задние конечности лягушки мощнее и в 1,5—3 раза длиннее передних. Отталкиваясь ими, они передвигаются по суше прыжками, а в воде — активно плавают, чему способствуют также кожные перепонки между пальцами.

Покровы тела. Тело лягушки покрыто тонкой голой кожей. Ее многочисленные железы обильно выделяют слизь, которая, испаряясь, понижает температуру тела на 5—8 °С по сравнению с температурой окружающей среды. Вот почему лягушка холодная на ощупь. Такое строение кожи препятствует их обитанию в холодных областях планеты.

Чтобы на влажной коже не поселились болезнетворные микроорганизмы, в слизи содержатся вещества, подавляющие их рост или убивающие их. Кожная слизь некоторых лягушек тропических регионов настолько ядовита,

Земноводные:

прогрессивные признаки

- способны жить на суше, передвигаясь с помощью пятипалых конечностей;
- имеют два круга кровообращения, трехкамерную сердце;
- дышат легкими и кожей;

приликинные признаки

- могут жить только во влажных местах;
- развитие яиц происходит только в воде;
- личинки земноводных сохраняют многие признаки рыб

что смазанные ею охотничьи стрелы мгновенно убивают довольно крупных животных. Ядовитые слизистые выделения также защищают земноводных от поедания хищниками.

Кожа лягушки соединена с мускулатурой лишь в определенных участках. В пространствах между кожей и мускулатурой может запастись много воды. Например, некоторые виды африканских жаб, войдя в водоем, впитывают кожей воду и всего за 10 мин удваивают свою массу, сильно при этом раздуваясь.

В клетках кожи расположены пигменты. Они придают ей зеленоватую окраску, делая животное незаметным в среде его обитания.

Скелет. Выход земноводных на сушу и передвижение по ее поверхности стали возможными благодаря существенным изменениям в строении скелета (рис. 9.61). Вместе с тем наличие в скелете взрослых животных хряща объясняет его малую прочность и небольшие размеры земноводных.

Скелет головы — *череп* — состоит из небольшого числа костей. В отличие от рыб, он подвижно (хотя и ограниченно) сочленен с позвоночником.

Позвоночник по сравнению с рыбами имеет не два, а четыре отдела: шейный, туловищный, крестцовый и хвостовой. У лягушки в шейном отделе 1 позвонок, в туловищном — 7, в крестцовом — 1. В хвостовом отделе все позвонки слились в одну невидимую снаружи косточку, лежащую в области таза.

Конечности земноводных отличаются от плавников рыб. Они устроены по принципу рычагов, подвижно соединенных суставами. В составе конечности передней пары лягушки выделяют *плечевую кость, предплечье* и кости *кисти*. Конечность задней пары состоит из костей *бедра, голени* и *стопа*. Кисть и стопа у большинства земноводных имеют по пять пальцев, на которые животное опирается при передвижении на суше.

Опорой для передних конечностей служит скелет *плечевого пояса*. Он включает типичные для наземных позвоночных животных кости: парные *лопатки, коракоиды* (вороны кости), *ключицы* и *грудину*. Ребер и грудной клетки у земноводных нет.

Опорой задним конечностям служит *тазовый пояс*. Он состоит из двух сросшихся *тазовых костей*, присоединенных к крестцовому позвонку.

Мышечная система представлена пучками мышц, расположенных в разных частях тела. При их участии осуществляются захват и заглатывание пищи, вентиляция легких, передвижение животного в пространстве и другие виды движений.

Питание и органы пищеварения. Лягушка питается подвижными животными: червями, слизнями, насекомыми, пауками. Свои жертвы она захватывает подвижным длинным и липким языком. Он прикреплен к передней части дна ротовой полости и способен быстро выбрасываться вперед, прилипаля к добыче.

Пищеварительная система лягушки (рис. 9.62) сходна с таковой рыб. Характерной особенностью является наличие *желудка* и *клоаки* — расширенной концевой части задней кишки. В ротоглоточную полость открываются протоки *слюнных желез*, смачивающие своим секретом пищу, стенки ротоглоточной полости и язык. Пищеварительные ферменты в слюне отсутствуют. Пищеварительные соки поджелудочной железы и желчь, вырабатываемая печенью, способствуют быстрому перевариванию животной пищи.

Дыхание. Органами дыхания у взрослых лягушек являются *легкие* и *кожа*, а у личинок — *кожа* и *жабры*.

Легкие представляют собой парные полые тонкостенные мешки со слабо ячеистой внутренней поверхностью, пронизанной сетью



Голова лягушки

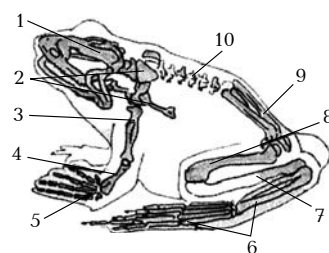


Рис. 9.61. Скелет лягушки: 1 — череп; 2 — плечевой пояс; 3 — плечо; 4 — предплечье; 5 — кисть; 6 — стопа; 7 — голень; 8 — бедро; 9 — тазовый пояс; 10 — позвоночник

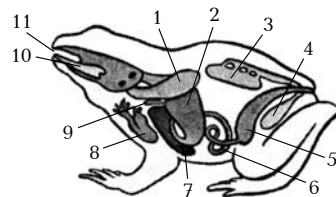


Рис. 9.62. Внутреннее строение лягушки: 1 — легкое; 2 — желудок; 3 — почка; 4 — мочевой пузырь; 5 — клоака; 6 — кишечник; 7 — печень; 8 — сердце; 9 — поджелудочная железа; 10 — язык; 11 — рот

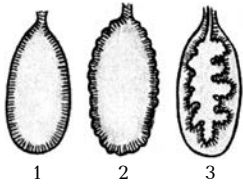


Рис. 9.63. Легкие земноводных: 1 — тритон; 2 — лягушка; 3 — жаба

кровеносных капилляров, где и происходит газообмен (рис. 9.63). Поступление атмосферного воздуха в ротоглоточную полость происходит через открытые ноздри во время опускания дна ротовой полости. Затем ноздри закрываются клапанами, дно ротовой полости поднимается, ее объем уменьшается, и воздух проталкивается в легкие. Воздух из легких удаляется за счет сокращения мышц брюшной стенки и эластичности стенок самих легких.

Дыхательная поверхность легких лягушки небольшая, поэтому дополнительно газообмен происходит также и через влажную поверхность кожи. Прудовые и озерные лягушки получают через нее более 50 % необходимого кислорода. Кожное дыхание особенно важно при длительном пребывании в воде (в случае опасности, в период зимней спячки).

Кровеносная система. В связи с развитием легочного и кожного дыхания произошло изменение кровеносной системы. *Сердце* состоит из трех камер: двух предсердий (левого и правого), разделенных продольной перегородкой, и одного желудочка. В отличие от рыб, у лягушки два круга кровообращения. Кроме *большого (туловищного)* круга кровообращения, как у рыб, появился второй — *малый, или легочный*. Малый круг кровообращения начинается в желудочке, включает сосуды легких, где кровь насыщается кислородом, и завершается в левом предсердии. Большой круг также начинается в желудочке. Кровь из него, пройдя по сосудам туловища, отдает кислород, насыщается углекислым газом, становится венозной и возвращается в правое предсердие. В правое предсердие попадает также и артериальная кровь, оттекающая от кожи и обогащенная кислородом. Это дает возможность земноводным полностью переходить на кожное дыхание при длительном пребывании под водой. Таким образом, в левое предсердие попадает артериальная кровь из легких, а в правое — смешанная: венозная кровь от всех остальных органов и артериальная кровь кожной вены.

Земноводные — малоактивные животные из-за снабжения органов и тканей тела смешанной кровью, а также постоянных потерь тепла через голую влажную кожу. В связи с этим температура тела у них, как и у рыб, непостоянная и зависит от температуры окружающей среды. Земноводные, как и рыбы, — *холоднокровные* животные.

Органы выделения — парные туловищные почки (см. рис. 9.62). Образовавшаяся моча по мочеточникам поступает в клоаку, а из нее — в мочевой пузырь, в котором она накапливается, а затем через клоаку выводится наружу. В клоаке и в мочевом пузыре происходит отсасывание воды из мочи в кровь. Благодаря этому снижаются потери воды при пребывании животного на суше.

Нервная система. Жизнь в двух различных средах и получение из них разнообразной информации способствовали лучшему развитию некоторых отделов *головного мозга*. Так, по сравнению с рыбами, *передний мозг* у земноводных большего размера и разделен на два полушария. В этот отдел поступают сигналы от органов обоняния, зрения и слуха, а также кожи и мышц, что способствует формированию более сложных форм поведения.

Мозжечок развит слабее, чем у рыб, что связано с малой подвижностью земноводных.

Для ориентации в наземной среде существенно изменилось строение органов чувств. Важным источником информации в наземной среде является *зрение*. Глаза защищены от высыхания подвижными верхними и нижними веками. Имеется и третье веко — мигательная перепонка, при помощи которой постоянно увлажняется поверхность глаза. Роговица глаза выпуклая, хрусталик имеет форму двояковыпуклой линзы, что позволяет видеть предметы на более далеком расстоянии, чем рыбы. Лягушки, сидящие неподвижно в засаде, реагируют лишь на подвижных животных.

Орган слуха существенно усложнился в связи со слабой звукопроводимостью воздуха по сравнению с водой. Появился новый отдел — *среднее ухо*, отделенное от наружной среды *барабанной перепонкой*. В полости среднего уха находится крохотная палочковидная косточка — *стремечко*. Такое строение органа слуха повышает остроту слуха.

Самцы многих видов лягушек имеют *резонаторы*, или голосовые мешки, которые при квакании надуваются наподобие пузырей, усиливая звуки, привлекающие самок во время нереста.

Обоняние. Ноздри лягушки ведут в удлинненный канал, выстланный чувствительным эпителием и заканчивающийся внутренней ноздрей (хоаной). Хоаны открываются в ротовую полость. Атмосферный воздух поступает по сквозному носовому проходу в легочные мешки и одновременно анализируется чувствительным эпителием, воспринимающим запахи.

Размножение и развитие. Родство земноводных с рыбами особенно хорошо проявляется в процессах размножения и развития (рис. 9.64). Земноводные — *раздельнополые* животные. У лягушки из парных *семенников* и *яичников* созревшие сперматозоиды и яйцеклетки (икринки) выводятся в воду через клоаку. Оплодотворение, как и у большинства рыб, наружное, в воде. Во время нереста самка выметывает икру в воду, а самец поливает ее струйкой спермы. Форма кладки яиц у разных видов земноводных различается.

Земноводные в умеренных широтах приступают к размножению после окончания зимней спячки. Так, лягушки в весеннее время в больших количествах собираются в хорошо прогреваемых солнцем мелких водоемах, оглашая окрестности кваканием. После периода размножения земноводные большинства видов покидают водоемы.

У лягушек из икринок спустя примерно неделю выходят личинки (рис. 9.65). Они похожи на рыб: туловище вытянуто, хвост с плавательной кожистой перепонкой. Личинки лягушек имеют большую голову, из-за размеров которой их называют *головастиками*. Как и у рыб, у них есть жабры, орган боковой линии, двухкамерное сердце, один круг кровообращения. Питаются головастики преимущественно растительной пищей, соскабливая ее роговыми зубчиками челюстей.

По мере роста у головастика появляются сначала задние, а потом и передние ноги, сердце преобразовывается в трехкамерное, развиваются легкие и малый круг кровообращения. Личиночные органы отмирают. В результате такого преобразования — *метаморфоза* — головастик с типичным водным образом жизни превращается во взрослое животное, способное жить и в водной, и в наземной средах.

С наступлением холодов лягушки погружаются в зимнюю спячку. Зимуют они в глубоких, непромерзающих участках водоемов или на суше, забираясь под камни, пни, в трещины почвы, норы грызунов.

Происхождение земноводных. Свое происхождение они ведут от одной из групп древних земноводных — *стегоцефалов*, обитавших около 300 млн лет назад в заболоченных водоемах. Они дышали легкими, имели развитые конечности. Теплый влажный климат того времени, достаточное количество пищи, отсутствие конкурентов способствовали закреплению предков земноводных на суше. Так появились первые наземные позвоночные на планете.

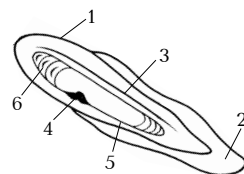


Рис. 9.64. Признаки рыбы в строении головастика: 1 — удлиненное тело; 2 — хвостовой плавник; 3 — хорда; 4 — двухкамерное сердце; 5 — один круг кровообращения; 6 — жаберные щели

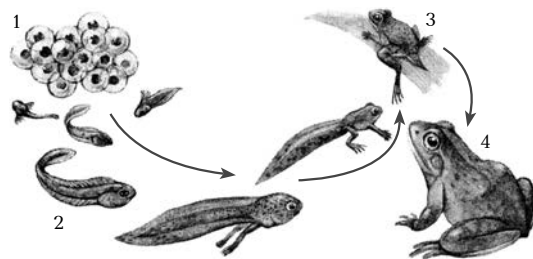


Рис. 9.65. Развитие лягушки: 1 — кладка икры; 2 — головастик; 3 — лягушонок; 4 — лягушка

Многообразие земноводных



Лягушка голиаф



Квакша



Гигантская саламандра



Гребенчатый тритон

Отряд Бесхвостые — самая многочисленная (1800 видов) группа земноводных. Это животные с крупной широкой головой и коротким, без шеи и хвоста, туловищем. Наиболее известны — лягушки и жабы. Размеры тела их невелики — от 3 до 25 см. Самая крупная *лягушка голиаф* живет в тропической части Африки: ее длина 32—33 см, масса — 3,5 кг. Самая маленькая — *чесночница* из Юго-Восточной Азии (едва достигает в длину 1,5 см). Наибольшее число видов обитает во влажных тропиках. В зонах планеты с низкими и умеренными температурами их немного. Например, в фауне Беларуси всего 10 видов: четыре вида лягушек (*озерная*, *прудовая*, *остроморгая* и *травяная*), три вида жаб (*серая*, *зеленая* и *камышовая*), *чесночница* и *квакша обыкновенные*, а также *жерлянка краснобрюхая*. Камышовая жаба занесена в Красную книгу Республики Беларусь.

Отряд Хвостатые объединяет животных с рыбообразной формой тела. Они имеют небольшую голову, удлиненное туловище, переходящее в длинный хвост. Конечности развиты слабо, поэтому они беспомощны на суше, но в воде хорошо плавают, змееобразно изгибая тело. Животные этой группы тесно связаны с водной средой. Они или постоянно живут в водоемах, или проводят там большую часть жизни. Так, самый крупный представитель современных земноводных — *гигантская саламандра*, достигающая в длину 140 см, — обитает на юге Китая и Японии в горных ручьях и реках с быстрой, прохладной, богатой кислородом водой.

Распространены хвостатые земноводные в основном в Северном полушарии. В Беларуси обитают два вида: *обыкновенный* и *гребенчатый тритоны*. Последний занесен в Красную книгу Республики Беларусь.

Роль земноводных в природе невелика из-за их невысокой численности. Они служат пищей многим видам хищных рыб, околотовным и водоплавающим птицам. На суше их поедают змеи, некоторые птицы, ежи, хищные млекопитающие.

Для человека земноводные полезны тем, что уничтожают вредных беспозвоночных, наносящих ущерб сельскохозяйственным культурам (слизней, вредных насекомых и их личинок) и здоровью человека (комаров). В некоторые страны Европы специально ввозили из других регионов жаб и выпускали их в сады и оранжереи для истребления вредных насекомых. Пищевая роль земноводных для человека невелика. В ряде стран Европы и Северной Америки крупные виды лягушек (*озерная*, *голиаф*) и саламандр отлавливают и используют как пищевой продукт.

Охрана земноводных. К сожалению, во многих регионах планеты ухудшаются условия жизни земноводных. Главная причина сокращения их численности — *разрушение среды их обитания*. Осушаются болота, мелкие водоемы, высыхают ручьи, выравнивается и бетонируется береговая линия водоемов. Вырубаются леса, луга преобразуются в сельскохозяйственные угодья. Строятся новые автомобильные дороги, на которых погибает большое количество земноводных. Все это приводит к сокращению и уничтожению прежних мест обитания земноводных.

Во многих странах Западной Европы вдоль дорог устанавливают заградительные сетки для лягушек и тоннели под дорогой для перехода их на другую сторону дороги к знакомым тропам, ведущим к местам нереста. Создаются даже новые искусственные водоемы для жизни и нереста земноводных вблизи лесов и влажных мест, в садах и городских парках.

КЛАСС ПРЕСМЫКАЮЩИЕСЯ, ИЛИ РЕПТИЛИИ

Это первый класс настоящих наземных позвоночных животных, насчитывающий свыше 7 тыс. видов. Среди них наиболее известны ящерицы, змеи, крокодилы, черепахи.

Пресмыкающиеся освоили более разнообразные природные условия, чем земноводные. Они живут как в жарких пустынях, так и во влажных местообитаниях и даже в водной среде. Однако наибольшей численности они достигают в районах с теплым и умеренно влажным климатом. Нет пресмыкающихся только в приполярных областях.

На примере *ящерицы прыткой* рассмотрим внешнее строение и функционирование систем органов пресмыкающихся.

Внешнее строение ящерицы прыткой. В условиях умеренного климата, следовательно, и в Беларуси, особенно часто встречается ящерица прыткая. Днем ее можно видеть на освещенных солнцем полянах, на вырубках, где ящерица активно охотится на пауков, червей, насекомых и их личинок. Это небольшое животное, длина которого вместе с хвостом не более 15—20 см. Зеленовато-бурая окраска тела делает ящерицу незаметной среди сухой травы и камней.

Внешне ящерица напоминает хвостатых земноводных. Заостренная голова соединена с туловищем короткой толстой шеей. Глаза, как у многих наземных позвоночных, защищены подвижными веками и мигательной перепонкой. Перед глазами расположена пара ноздрей, а позади глаз — пара округлых барабанных перепонок.

Время от времени ящерица высовывает изо рта длинный, тонкий, раздвоенный на конце язык — орган осязания и вкуса. По бокам тела расположены передние и задние конечности. На каждой ноге по пять пальцев, заканчивающихся маленькими коготками.

Покровы тела. У ящерицы, как и у всех пресмыкающихся, кожа сухая, лишенная желез и покрыта роговым покровом в виде чешуй и щитков. *Роговой покров* защищает тело от механических повреждений, а также препятствует потере влаги, что и позволило пресмыкающимся заселить засушливые местообитания.

Ороговевшая кожа мешает росту пресмыкающихся, поэтому они время от времени *линяют* и, пока новый роговой покров не затвердеет, быстро растут.

Строение системы внутренних органов. У пресмыкающихся она во многом сходна со строением земноводных, однако рептилии приобрели ряд прогрессивных черт организации, которые позволили им шире освоить наземную среду.

Опорно-двигательная система (рис. 9.66). Скелет пресмыкающихся состоит из прочной костной ткани, хрящ сохранился лишь в суставах. Окостенение скелета значительно повысило его прочность, поэтому размеры тела пресмыкающихся значительно крупнее, чем земноводных.

Позвоночник включает пять отделов: шейный, грудной, поясничный, крестцовый и хвостовой. Наличие в шейном отделе 8—10 позвонков повысило подвижность головы пресмыкающихся.

К позвонкам грудного и поясничного отделов прикреплены длинные ребра, часть их соединена с грудиной, что привело к образованию *грудной клетки*.

Отличия
пресмыкающихся
от земноводных:

- сухая кожа, покрывающая роговыми чешуйками;
- легочное дыхание (легкие имеют ячеистое строение; появляются трахеи и бронхи);
- тазовые почки (экономили воды);
- размножение приспособлено к жизни на суше (оплодотворение внутреннее, развитие в яйце; нет личиночной стадии)

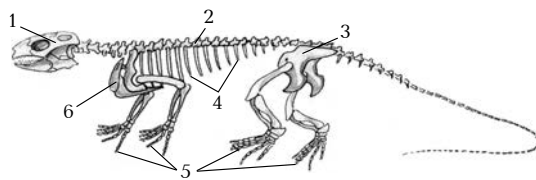


Рис. 9.66. Скелет ящерицы: 1 — череп; 2 — позвоночник; 3 — таз; 4 — ребра; 5 — конечности; 6 — плечевой пояс

Передние и задние конечности располагаются по бокам тела, из-за чего туловище провисает и касается земли (отсюда и название класса — Пресмыкающиеся).

Мышечная система еще четче разделена на отдельные группы мышц. Развилась *жевательная, шейная, межреберная, подкожная мускулатура*.

Изменения в строении опорно-двигательной системы дали возможность пресмыкающимся совершать более разнообразные и быстрые движения.

Питание и органы пищеварения. Большинство пресмыкающихся — хищники. Пищей для ящерицы являются мелкие наземные беспозвоночные, чаще всего насекомые.

Пища захватывается челюстями, имеющими многочисленные острые зубы. Зубами пища не пережевывается, а лишь удерживается. Большинство пресмыкающихся глотают добычу целиком.

У многих змей пасть раскрывается очень широко благодаря прикреплению нижней челюсти к костям мозгового отдела черепа сильно растяжимыми связками, что дает им возможность заглатывать очень объемную добычу. У ядовитых змей слюнные железы преобразовались в ядовитые, секрет которых стекает по каналу ядовитых зубов, вонзающихся в жертву.

Выделения слюнных желез ящериц лишь смачивают пищу, облегчая ее заглатывание.

Мускулистый язык способен далеко выдвигаться изо рта. У ящериц и змей на конце он раздвоен и используется как орган осязания. У хамелеонов длинный, расширенный на конце язык молниеносно выбрасывается изо рта почти на длину туловища и служит для ловли насекомых и др.

Стенки пищевода имеют мощную мускулатуру, проталкивающую большие порции пищи или целое животное в желудок. На границе тонкой и толстой кишок у растительноядных пресмыкающихся отходит слепая кишка.

Для переваривания пищи необходима высокая температура, поэтому, насытившись, животные выползают на обогреваемые солнцем места. При низких температурах некоторые виды пресмыкающихся, особенно черепахи и змеи, резко снижают активность жизнедеятельности и способны длительно голодать.

Органы дыхания и газообмен. Единственный орган дыхания у пресмыкающихся — *легкие* (рис. 9.67), так как ороговевшая сухая кожа не участвует в газообмене. Легкие имеют ячеистое строение, что существенно увеличивает поверхность газообмена. Через носовые ходы, далее по *трахее* и *бронхам* атмосферный воздух поступает в легкие, по пути согреваясь и увлажняясь. Развитие длинных воздухопроводящих путей (трахеи и бронхов) дало возможность пресмыкающимся дышать сухим воздухом, не иссушая при этом легкие.

Смена воздуха в легких происходит за счет изменения объема грудной клетки: при ее расширении богатый кислородом воздух поступает в легкие — *вдох*, при уменьшении объема грудной клетки из легких удаляется воздух с углекислым газом — *выдох*.

Кровеносная система. Сердце у ящерицы, как и у земноводных, трехкамерное. Однако в желудочке имеется неполная продольная перегородка, которая препятствует полному смешению артериальной и венозной крови (рис. 9.68). От разных участков желудочка отходят три сосуда: от правой его части — легочный ствол, несущий венозную кровь в легкие; от левой части — правая дуга аорты, от которой сосуды несут артериальную кровь к голове и передним конечностям. От середины желудочка отходит левая дуга аорты со смешанной кровью. Обогнув сердце, две дуги аорты сливаются в спинную аорту, которая несет смешанную кровь с преобладанием артериальной ко всем внутренним органам, мускулатуре туловища и задним конечностям.

У *крокодилов* в желудочке перегородка сплошная, но из-за наличия двух дуг аорты органы и ткани снабжаются смешанной кровью.

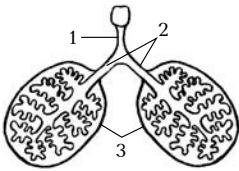


Рис. 9.67. Дыхательная система пресмыкающихся: 1 — трахея; 2 — бронх; 3 — легкие

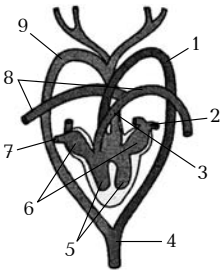


Рис. 9.68. Сердце пресмыкающихся: 1 — левая дуга аорты; 2 — легочная вена; 3 — легочный ствол; 4 — спинная аорта; 5 — желудочки; 6 — предсердия; 7 — вена; 8 — легочные артерии; 9 — правая дуга аорты

Как рыбы и земноводные, пресмыкающиеся — холоднокровные животные.

Органы выделения представлены *тазовыми почками*. Моча, содержащая вредные продукты жизнедеятельности, оттекает из почек по мочеточникам в клоаку, а из нее — в мочевой пузырь. Здесь вода еще дополнительно отсасывается в кровеносные капилляры и возвращается в организм, после чего моча выводится наружу из клоаки вместе с остатками непереваренной пищи.

Нервная система. В головном мозге пресмыкающихся значительно лучше, чем у земноводных, развиты полушария переднего мозга. В мозговом слое полушарий появились зачатки *коры*, благодаря чему формы поведения пресмыкающихся стали более сложными. В связи с большой подвижностью и разнообразием движений возросла роль *мозжечка*, который имеет большие размеры и устроен сложнее, чем у земноводных.

Органы чувств. Пресмыкающиеся хорошо ориентируются в наземной среде. Решающую роль в пространственной ориентации и общении животных играет зрение. *Глаза*, как и у земноводных, защищены подвижными веками и мигательной перепонкой.

У змей веки срастаются, образуя прозрачную роговую оболочку. У хамелеонов каждый глаз движется независимо от другого, что особенно важно при подкарауливании добычи, когда само тело должно быть неподвижным. Большинство видов с дневной активностью обладают цветовым зрением. Об этом свидетельствует яркая опознавательная окраска многих видов, строго определенные для каждого вида позы, по которым животные одного вида узнают друг друга. Аккомодация у пресмыкающихся двойная, т. е. происходит за счет изменения кривизны хрусталика и расстояния между хрусталиком и сетчаткой.

Орган слуха более чувствителен, чем у земноводных, за счет больших размеров внутреннего уха — улитки.

Животные большинства видов не издают звуков. Лишь некоторые змеи способны шипеть, хрипеть, стучать хвостовыми погремушками (гремучая змея). Крокодилы издают громкие ревучие звуки в период размножения и при охране своей территории.

Обоняние по сравнению с земноводными развито лучше и играет важную роль в жизни пресмыкающихся. Острое обоняние помогает им находить пищу, отыскивать особей другого пола, различать особей своего и чужого видов.

Орган *тепловой чувствительности* (термолокатор) хорошо развит у змей. Находится он на лицевой ямке между глазом и ноздрей с каждой стороны головы. Термолокатор помогает змеям охотиться на теплокровных животных в ночное время.

Размножение и развитие. У пресмыкающихся *оплодотворение внутреннее*, позволяющее им размножаться на суше, откладывая яйца. Яйцо содержит запас питательного вещества — желток, а жидкий белковый слой яйца является источником воды для зародыша. Зародыш развивается в *амниотической полости*, заполненной жидкостью.

Снаружи яйцо покрыто защитной оболочкой. У ящериц и змей она кожистая, у крокодилов и черепах — твердая, скорлуповая. Наружная оболочка защищает развивающийся зародыш от высыхания на суше. Яйца у пресмыкающихся крупные, с большим запасом желтка. Количество откладываемых яиц невелико — от 1—2 до нескольких десятков. Например, ящерица прыткая откладывает 5—15 яиц длиной до 1,5 см.

Самки большинства видов закапывают яйца в землю в хорошо обогреваемых солнцем местах, в кучи растительного мусора или под гниющие пни, где яйца обогреваются теплом, выделяемым при гниении. Некоторые виды *крокодилов* роют на суше ямы и засыпают отложенные в них яйца растительными остатками. Самки находят около кладки, охраняя ее. Самки *питонов* обвивают своим телом кладку яиц, обогревая и охраняя ее. *Морские*

черепахи выходят из моря на прибрежные песчаные пляжи, роют ямку задними конечностями, откладывают в нее несколько десятков яиц, засыпают их песком и возвращаются в море.

Из отложенных на суше яиц спустя некоторое время вылупляются вполне сформированные маленькие животные. Таким образом, развитие у пресмыкающихся прямое, без личиночной стадии.

Некоторым видам пресмыкающихся (обыкновенная гадюка, веретеница и др.) свойственно *яйцеживорождение*.

Происхождение пресмыкающихся. Предками пресмыкающихся были древние земноводные. В условиях теплого сухого климата того времени на суше выживали только те древние земноводные, которые имели более сухую кожу и хорошо развитые легкие. Кроме того, их яйца должны были иметь плотную защитную оболочку и большой запас питательных веществ, необходимый для развития зародыша. Предполагают, что от таких древних земноводных и произошли пресмыкающиеся. Наиболее примитивным древним пресмыкающимся считают *сеймурию*, найденные окаменелости которой имеют возраст примерно 300 млн лет. Она была длиной около 0,5 м и по внешнему виду напоминала древнее земноводное — *стегоцефала*.

Разнообразие пресмыкающихся

Изучение найденных ископаемых остатков пресмыкающихся показывает, что наибольшего расцвета они достигли примерно 180 млн лет назад. Этому благоприятствовали теплый и ровный климат, обилие пищи как на суше, так и в водоемах, а также отсутствие конкурентов.

Древние пресмыкающиеся заселили сушу, водную среду, а некоторые приобрели способность к полету. Многие виды, особенно водные и полуводные, достигали огромных размеров. Например, *бронтозавр* имел размеры около 8 м. Еще более крупными, до 27 м, были *диплодоки*. В водной среде господствовали «рыбоящеры» — *ихтиозавры* (8—12 м). Своеобразную группу составляли летающие *ящеры-птерозавры*.

Причины вымирания древних пресмыкающихся не вполне ясны.

Отряд Чешуйчатые. Это самая многочисленная группа пресмыкающихся (примерно 6,1 тыс. видов). Для них характерно наличие в наружном покрове роговых чешуй.

Наиболее обычна в средней полосе Европы и Азии *ящерица прыткая*, севернее распространена *ящерица живородящая*. Они способны отбрасывать хвост при опасности, а через некоторое время хвост вновь отрастает (регенерирует).

Крупная ящерица — *серый варан* — достигает длины 1,5 м. Обитает в песчаных пустынях. Быстро бегает, может плавать и забираться на кустарники и деревья. *Гигантский варан* с острова Комодо — самая крупная ящерица (до 4,5 м) — нападает на диких свиней, оленей. В тропических и субтропических районах обитают *гекконы* (длина от 3,5 до 35 см). Они ведут ночной образ жизни. Пальцы снабжены присосками, удерживающими их даже на вертикальных поверхностях. Некоторые ящерицы безногие, одна из них — *веретеница* — встречается на территории Беларуси.

Древесный образ жизни ведут *хамелеоны*, обитающие на Мадагаскаре, в Африке, Индии. Они имеют хватательные конечности и цепкий хвост, способный обвиваться вокруг ветвей. Легко меняют окраску покровов в тон окружающей среды.

Своеобразную группу чешуйчатых образуют *змеи*, наиболее широко представленные в тропических и субтропических областях всех материков.



Серый варан



Хамелеон



Анаконда

Их длинное цилиндрическое тело не имеет конечностей. Веки глаз срослись, прозрачны. Из-за отсутствия грудины все ребра свободны и упираются в брюшные роговые щитки. Змеи способны ползать по вертикальным поверхностям, цепляясь роговыми щитками за неровности. Жертву заглатывают целиком, сильно раскрывая пасть. Ядовитые змеи — *гадюка*, *гюрза*, *кобра* и др. — жертву убивают, вводя яд. Удавы (*тигровый питон*, *анаконда* и др.) предварительно душат жертву. *Уж обыкновенный* заглатывает жертву живой.

В Беларуси обитают только три вида змей — *уж*, *медянка* и *гадюка*, укусы которой могут быть опасны для жизни человека. Медянка занесена в Красную книгу Республики Беларусь.

Отряд Крокодилы. Объединяет 21 вид крупных ящероподобных животных длиной тела от 1,5 до 4—6 м. Живут они в пресных и солоноватых водах тропических зон планеты. Их ноздри и глаза сильно выступают, что позволяет погруженному в воду животному дышать воздухом и наблюдать за окружающим. Тело покрыто крупными роговыми щитками.

Размножаются крокодилы, откладывая 10—100 штук крупных яиц. Половозрелость наступает к 8—10 годам, живут они до 80—100 лет. Известны *нильский крокодил* (Африка), *гавиал* (полуостров Индостан, Бирма), *аллигатор* (Китай, Америка), *кайман* (Америка).

Отряд Черепахи. Включает 250 видов. Живут они во влажных тропиках и в жарких пустынях. Прочный костный панцирь, в который могут прятаться голова и конечности, сверху покрыт роговыми пластинами или мягкой кожей. Позвонки, кроме шейного и хвостового отделов, как и ребра, сращены со спинным панцирем (рис. 9.69). Интенсивность процессов жизнедеятельности низкая, поэтому они способны долго голодать. На челюстях имеются острые роговые края, которыми наземные черепахи (*степная*, *среднеазиатская*) отрывают части растений, питаются ими.

Водные черепахи — подвижные хищники. Их конечности превращены в ласты. Наиболее широко распространены в стоячих и медленно текущих пресных водоемах умеренных широт небольшая *болотная черепаха* (занесена в Красную книгу Республики Беларусь). В морских экваториальных водах живет *зеленая (суловая) черепаха*. Она достигает длины 1 м и массы около 300 кг.

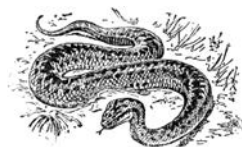
Значение и охрана пресмыкающихся. Роль пресмыкающихся в природе выражается в их участии в пищевых цепях: они поедают разнообразных как мелких, так и более крупных животных, и сами являются пищевыми объектами для крупных хищных птиц и млекопитающих. У пустынных видов некоторое значение имеет роющая деятельность.

Яд змей человек использует для изготовления лекарственных препаратов. Для этой цели змей отлавливают в природе и содержат в специальных питомниках — *серпентариях*. У одной змеи яд можно брать до трех раз, после чего ее выпускают в природную среду.

В некоторых странах мясо крокодилов используют в пищу. Их кожа является ценным сырьем для изготовления галантерейных изделий: сумок, ремней и т. п. В связи с интенсивным промыслом численность крокодилов резко сократилась. В США и на Кубе созданы специальные крокодильи фермы по их разведению.

Во многих странах большие черепахи являются объектом охоты из-за мяса, панциря и яиц. Роговые пластины некоторых видов черепах используют для изготовления различных галантерейных поделок.

Численность большинства видов пресмыкающихся снижается. Лучшей защитой пресмыкающихся является *сохранение среды их обитания*, где они могли бы благополучно питаться и размножаться.



Гадюка



Нильский крокодил



Зеленая (суловая) черепаха

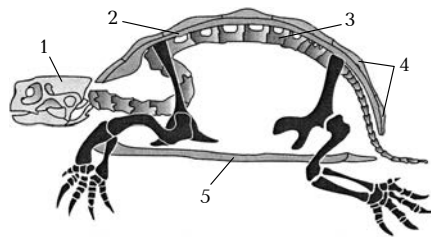


Рис. 9.69. Скелет черепахи: 1 — череп; 2 — спинной щит панциря; 3 — позвоночник; 4 — роговые пластины; 5 — брюшной щит панциря

КЛАСС ПТИЦЫ

Птицы — высокоорганизованные теплокровные позвоночные животные, приспособленные к полету. Благодаря большой численности, подвижности, широкому распространению на планете, они играют исключительно важную роль в природе и хозяйственной деятельности человека. Известно свыше 9 тыс. современных видов птиц. В фауне Беларуси — 316 видов, из них 227 — гнездящиеся.

В связи с приспособленностью к полету птицы приобрели ряд особенностей внешнего и внутреннего строения, с которыми познакомимся на примере голубя сизого.

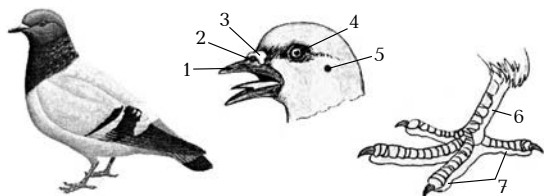


Рис. 9.70. Внешнее строение голубя: 1 — клюв; 2 — ноздря; 3 — восковица; 4 — глаз; 5 — ушное отверстие; 6 — цевка; 7 — пальцы

Глаза, снабженные, как и у всех наземных хордовых, верхним и нижним веками и мигательной перепонкой. За глазами находятся ушные отверстия.

Голова расположена на длинной и подвижной шее. Шея позволяет птице, не меняя положения туловища, собирать корм, оглядываться по сторонам, чистить перья на всем теле.

Передние конечности превратились в крылья, обеспечивающие полет.

Задние конечности — ноги — служат для передвижения. Нижняя часть ног — цевка и пальцы покрыты роговыми чешуями, сходными с чешуей пресмыкающихся.

Хвост у птиц чаще небольшой, на нем веером расположены длинные широкие перья, выполняющие функцию руля.

Для каждого вида птиц характерны определенные форма и размеры клюва, головы, шеи, крыльев, задних конечностей и пальцев, а также хвоста. Это связано с приспособлениями к жизни в разнообразных местообитаниях, с особенностями передвижения и разными способами добывания пищи.

Масса птиц, способных к полету, колеблется от 1,6 г (колибри) до 14–16 кг (лебедь, гриф). Нелетающие птицы значительно массивнее: пингвины — до 40 кг, страусы — 90–120 кг.

Покровы тела. Кожа у птиц тонкая и сухая. Единственная железа — копчиковая — расположена на конце хвоста. Кожа покрыта характерными только для птиц роговыми образованиями — перьями.

Основной тип пера — контурное (рис. 9.71). Оно состоит из прочного, упругого, полого внутри стержня, от которого в одной плоскости расположены многочисленные тонкие и узкие роговые пластинки — бородки. От каждой из них в той же плоскости с двух сторон отходят бородки второго порядка — бородочки, имеющие крючочки, сцепляющие соседние бородочки друг с другом, образуя широкую легкую пластинку — опахало. Часть стержня, не имеющая опахала, называется очинком. Очин закрепляет перо в углублении кожи. Сокращения подкожных мышц могут изменить положение перьев: распушить их или прижать плотно к телу.

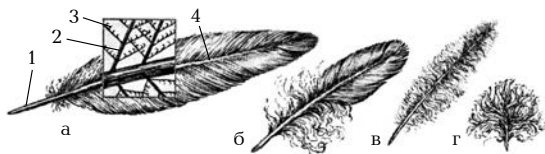


Рис. 9.71. Виды перьев птиц: а — контурное маховое; 1 — очин; 2 — бородки; 3 — бородочки; 4 — стержень; б — контурное покровное; в — пуховое; г — пух

Контурные маховые перья образуют крыло птицы, а контурные покровные, черепицеобразно налегая друг на друга, формируют обтекаемую поверхность тела. Под ними лежат пуховые перья, опахала у которых мягкие, рыхлые, без бородочек. У водоплавающих птиц есть еще и пух — перья с коротким стержнем и пучком бородок на вершине в виде кисточки. Между перьями, особенно пуховыми, находится воздух, предохраняющий тело птицы от потерь тепла. Птицы много времени уделяют уходу за перьями, расчесывая их клювом, смазывая жировыми выделениями копчиковой железы, что делает перья эластичными и упругими, а у водоплавающих птиц предохраняет от намокания.

Скелет. У голубя, как и у всех птиц, скелет имеет ряд особенностей в связи со способностью к полету (рис. 9.72). Кости скелета тонкие, прочные и одновременно легкие из-за наличия в трубчатых костях воздушных полостей.

Череп имеет большой мозговой отдел, в котором с двух сторон расположены огромные округлые выпячивания — *глазницы*. Вытянутые вперед верхние и нижние челюсти образуют *клюв*. Все кости черепа срастаются, не оставляя швов. В результате формируется прочный и легкий череп обтекаемой формы.

Позвоночник состоит из пяти отделов. В *шейном* отделе разных видов птиц от 9 до 25 позвонков. К сросшимся между собой *грудным* позвонкам прикреплены ребра, состоящие из двух подвижных частей. Снизу ребра подвижно соединяются с *грудиной*. Грудина впереди имеет высокий продольный вырост — *грудной киль*, который служит местом прикрепления мощных летательных мышц. У нелетающих, бегающих птиц (*страусы*) киль отсутствует.

Позвонки поясничного, крестцового и части хвостового отделов сращены друг с другом и образуют характерный только для птиц *сложный крестец*. Вместе с костями таза он дает прочную опору задним конечностям.

Пояс передних конечностей — *плечевой* — образован, как и у животных предыдущих классов, тремя парными костями: саблевидными лопатками, коракоидами и ключицами, сращенными в виде вилок.

Пояс задних конечностей образован парными тазовыми костями. В спинной части они срастаются со сложным крестцом, а в нижней части остаются свободными, несросшимися. Такой таз называется *открытым*. Он позволяет птице откладывать яйца крупных размеров.

Скелет передних конечностей преобразовался в *крылья*. Он содержит все типичные для наземных позвоночных кости: плечевую, локтевую и лучевую (образующие предплечье) и кости кисти, имеющей в составе три недоразвитых пальца.

Скелет задней конечности состоит из бедра, голени, цевки и пальцев. *Цевка* образована сросшимися костями ступни. Она значительно удлиняет задние конечности, увеличивая длину шага птицы. У большинства птиц на ногах по четыре пальца, три из них направлены вперед, один назад. На конце каждого пальца расположен роговой коготь.

Мышцы. У птиц они многочисленны. Самыми крупными являются большие *грудные*. Их масса достигает почти 25 % общей массы тела птицы. Сокращением этих мышц опускаются крылья. Хорошо развиты мышцы шеи, ног, а также подкожная мускулатура, поднимающая и опускающая перья.

Сходство птиц с рептилиями:

- сухая кожа, бедная железами;
- наличие роговых образований (перьев и чешуек на ногах);
- наличие клоаки;
- сходное строение яич.

Отличия от рептилий:

- полная перестройка в желточном серице;
- постоянная температура тела ($38-43^{\circ}\text{C}$);
- приспособление к полету;
- высокий уровень развития мозга и сложное поведение.

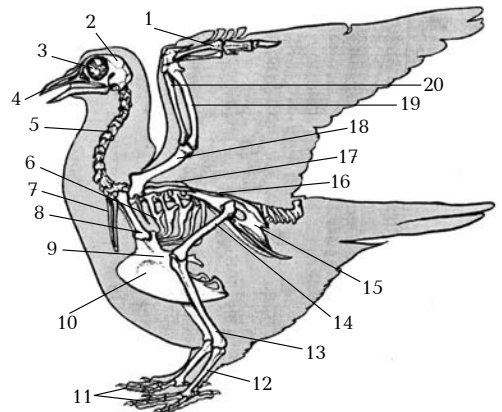


Рис. 9.72. Скелет голубя: 1 — кисть; 2 — череп; 3 — глазница; 4 — клюв; 5 — позвоночник; 6 — ребра; 7 — ключица; 8 — коракоид; 9 — грудина; 10 — грудной киль; 11 — пальцы; 12 — цевка; 13 — голень; 14 — бедро; 15 — тазовые кости; 16 — крестец; 17 — лопатка; 18 — плечо; 19 — локтевая кость; 20 — лучевая кость

Птицы совершают разнообразные виды движений. Они могут ходить (голуби, трясогузки, грачи, вороны), прыгать (воробьи), бегать со скоростью более 50 км/ч (страусы), лазать вертикально по стволам деревьев (поползны, пищухи).

Многие птицы приобрели способность плавать. Одни из них, находясь на воде, кормятся, отдыхают (утки, гуси). Другие приспособились нырять и добывать пищу в толще воды или на дне водоема (пингвин, баклан, зимородок, скопа, чомга).

Однако наиболее типичная форма движения птиц, определившая основные черты их организации, — полет. Летящая птица внешне во многом похожа на самолет. У нее есть корпус — туловище, несущие плоскости — крылья, руль — хвост, убирающиеся в полете шасси — ноги. Главную роль в полете выполняют большие, упругие и прочные контурные маховые перья крыла. Они образуют несущую плоскость крыла, создают тягу и подъемную силу.

Крупные рулевые перья хвоста увеличивают несущую поверхность тела, участвуют в управлении полетом, а при посадке выполняют роль тормоза.

У птиц различают машущий и парящий виды полета. При машущем полете птица ритмично поднимает и опускает крылья. У большинства крупных птиц, например у аиста, цапли, взмахи крыльев редкие и спокойные. Для мелких птиц характерны частые взмахи крыльев. Так, крошечные колибри совершают до 100 взмахов в секунду, что позволяет им зависать на одном месте, подобно вертолету, и успевать высосать нектар из цветка. При парящем полете птица с распростертыми неподвижными крыльями парит в вышине, используя восходящие потоки теплого воздуха, идущего от нагретой солнцем земли или воды (альбатросы, аисты, пеликаны). Долго паря в воздухе, птица отыскивает добычу, затрачивая меньше мускульной энергии, чем при машущем полете.

Скорость полета птиц разная. Лесные мелкие воробьиные птицы летают со скоростью 25—40 км/ч, голуби — 3—6, ласточки — 40—60, стрижи 100—120 км/ч. При пикировании с высоты крупные соколы на короткое время развивают скорость 300—350 км/ч.

Органы пищеварения. Сизый голубь, как и большинство птиц, захватывает пищу клювом. Выделения слюнных желез смачивают пищу и облегчают ее заглатывание. За ротовой полостью следуют глотка, пищевод, желудок и кишечник (рис. 9.73). Хорошо развиты пищеварительные железы — печень и поджелудочная железа. Последний отдел пищеварительного тракта — клоака.

Вместе с тем пищеварительная система птиц имеет некоторые отличительные особенности. Так, у голубей, попугаев, курообразных птиц пищевод в нижней части расширен и образует зоб, в котором корм (семена, плоды) накапливается и размягчается под действием жидких выделений желез зоба.

Желудок у птиц состоит из двух отделов — железистого и мускульного (см. рис. 9.73). Стенки железистого отдела сравнительно тонкие и содержат многочисленные железы, выделяющие в полость желудка пищеварительные соки. Мускульный отдел имеет толстые мышечные стенки. Его внутренняя поверхность складчатая и покрыта прочной рогоподобной оболочкой — кутикулой. Стенки мускульного отдела работают, как жернова, и перетирают твердую и грубую пищу. Дополнительное измельчение пищи у зерноядных птиц осуществляют заглатываемые ими в желудок камешки и песчинки. Таким образом, функцию отсутствующих зубов у птиц выполняет мускульный желудок.

Окончательное переваривание пищи и всасывание растворенных питательных веществ происходят в тонкой

На ногах у птиц чаще добывают члеников, реже тараканов и только в одном случае (африканский страус) — два пальца

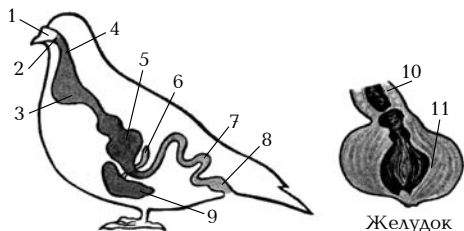


Рис. 9.73. Пищеварительная система голубя: 1 — ротовая полость; 2 — глотка; 3 — зоб; 4 — пищевод; 5 — желудок; 6 — поджелудочная железа; 7 — кишечник; 8 — клоака; 9 — печень; 10 — железистый отдел; 11 — мускульный отдел

кишке. Задняя кишка короткая, поэтому непереваренные остатки быстро удаляются наружу через клоаку. Частое опорожнение кишечника облегчает тело птицы.

Многие виды птиц питаются крупными животными (соколы, орлы и др.). Другие виды птиц добывают разнообразных мелких беспозвоночных (синицы, ласточки, гялты). Есть птицы, питающиеся в основном вегетативными частями растений (гуси), семенами (клесты). Немало птиц всеядных, потребляющих как животную, так и растительную пищу (вороны, грачи).

Птицы потребляют большое количество пищи и быстро ее переваривают за счет высокой активности пищеварительных ферментов, работающих при постоянной и высокой температуре тела. Мелкие воробьиные птицы за сутки съедают объем пищи, составляющий около 50 % их собственной массы, крупные виды меньше — 15—20 %, поэтому птицы не могут долго голодать. Без корма птенцы погибают уже через 10—15 ч.

Высокая потребность птиц в пище вынуждает их постоянно ее искать. Многие виды совершают сезонные перемещения — *миграции* — в места, где корм имеется в достаточном количестве.

Органы дыхания. Атмосферный воздух через парные ноздри попадает в носовую полость, затем в гортань и длинную трахею. В нижней части трахеи расположен голосовой аппарат, благодаря которому птицы издают различные звуки и даже могут петь.

Легкие птиц малы, компакты и напоминают губку (рис. 9.74). Они имеют тонкостенные выросты — *воздушные мешки*, которые располагаются между внутренними органами, а их ответвления проходят между мышцами, под кожей и в трубчатых костях.

Вдох и выдох у нелетающей птицы происходят за счет изменения объема грудной клетки. В полете этот механизм дыхания невозможен из-за работы грудных мышц, поэтому вентиляция в легких осуществляется за счет воздушных мешков. При подъеме крыльев мешки растягиваются и воздух через ноздри засасывается в легкие, где происходит газообмен, но большая часть свежего воздуха проходит в полости мешков. При опускании крыльев воздушные мешки сжимаются, и из них богатый кислородом воздух поступает в легкие, где вновь происходит газообмен. Обмен газами в легких на вдохе и выдохе получил название *двойного дыхания*. Его значение велико: чем чаще птица машет крыльями, тем активнее она дышит и не задыхается. Кроме того, воздушные мешки облегчают тело птицы и предохраняют от перегрева во время быстрого полета.

Органы кровообращения. Сердце у птиц *четырёхкамерное*: два предсердия и два желудочка (рис. 9.75). Левая половина сердца заполняется чистой артериальной кровью, поступающей в левое предсердие из легких. Артериальная кровь из левого желудочка по правой дуге аорты движется ко всем тканям и органам тела. Отдав кислород, насыщенная углекислым газом венозная кровь вливается в правое предсердие, а из него — в правый желудочек. От него отходит легочный ствол, который разветвляется на две легочные артерии, несущие в легкие венозную кровь. Обогатившись кислородом, артериальная кровь от легких по легочным венам оттекает в левое предсердие.

Таким образом, в отличие от земноводных и пресмыкающихся, у которых кровь смешивается в желудочке, у птиц благодаря четырехкамерному сердцу артериальный и венозный потоки крови разобщены.

Частые сокращения сердца птицы способствуют быстрому продвижению крови по сосудам, обеспечивая интенсив-

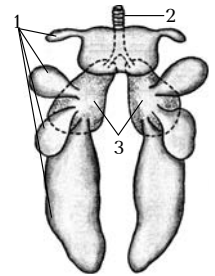


Рис. 9.74. Органы дыхания птиц: 1 — воздушные мешки; 2 — трахея; 3 — легкие

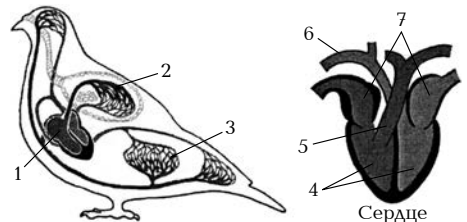


Рис. 9.75. Органы кровообращения птиц: 1 — сердце; 2 — малый круг кровообращения; 3 — большой круг кровообращения; 4 — желудочки; 5 — легочный ствол; 6 — правая дуга аорты; 7 — предсердия

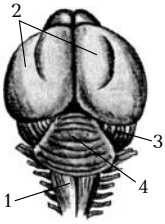


Рис. 9.76. Головной мозг птиц: 1 — продолговатый мозг; 2 — большие полушария переднего мозга; 3 — средний мозг; 4 — мозжечок

ный газообмен в тканях. Как следствие, выделяется много тепла, что приводит к повышению температуры тела птицы по сравнению с температурой окружающей среды. Благодаря этому все птицы — *теплокровные животные* с постоянной температурой тела. Она колеблется у разных видов от 38 до 43,5 °С. Большую роль в сохранении тепла в теле птицы играет перьевой покров.

Органы выделения. У птиц — это тазовые почки, как и у пресмыкающихся. Отличие состоит лишь в отсутствии мочевого пузыря, что облегчает массу тела птицы. Моча вместе с неперевааренными остатками пищи частыми порциями удаляется наружу через клоаку.

Нервная система. Головной мозг птиц по сравнению с таковым у пресмыкающихся отличается значительным развитием и крупными размерами (рис. 9.76). Наиболее развитыми его отделами являются большие полушария переднего мозга и мозжечок. Передний мозг обеспечивает сложное поведение птиц, а мозжечок координирует все виды движений и полет.

Органы чувств. Птицы обладают острым зрением. Глаза у них крупные, особенно у ночных и сумеречных видов. У большинства птиц глаза расположены по бокам головы, что в сочетании с большой подвижностью шеи обеспечивает почти круговой обзор. Аккомодация двойная: путем изменения кривизны хрусталика и перемещения его относительно сетчатки. Все птицы обладают цветовым зрением, распознают не только цвета, но и их оттенки.

Орган слуха состоит из внутреннего и среднего уха. У птиц развит элемент наружного уха — наружный слуховой проход. У некоторых ночных видов он оторочен кожистой складкой, усиливающей остроту слуха (*ушастая сова*).

Острый слух и умение анализировать звуки сочетаются у птиц со способностью издавать разнообразные звуки.

Обоняние у птиц, за исключением некоторых видов, развито слабо.

Поведение. У птиц оно отличается большим разнообразием и сложностью. Это проявляется в выборе мест для устройства гнезд, поиске подходящего материала для их постройки, насиживании яиц, выкармливании птенцов и защите их от врагов. Все эти действия инстинктивны.

Однако птицы легко приобретают и условные рефлексы.

Вылупившийся из яйца цыпленок проявляет безусловный пищевой рефлекс, выражающийся в клевании. Сначала он пробует клевать подряд все предметы. Однако постепенно, в результате приобретенного личного опыта, цыпленок начинает отличать съедобное от несъедобного и впоследствии редко ошибается.

По мере взросления птицы приобретают все более разнообразные условные рефлексы. Так, домашние птицы научаются узнавать голос хозяйки, которая их кормит, хорошо ориентируются за пределами птичника, отличают его от других построек. Приобретение индивидуального опыта и выработка определенного поведения облегчают жизнь птиц и способствуют их выживанию.

У птиц хорошо развито голосовое общение — *пение*. Каждый вид певчих птиц поет свою песню, благодаря которой особи одного вида узнают и находят друг друга. С помощью различных звуковых сигналов они выражают призыв, беспокойство, испуг, предупреждение об опасности.

Изучив этот язык, человек использует его в необходимых случаях. Например, воспроизведение записи «сигнала тревоги» применяют для отпугивания птиц с взлетной полосы аэродромов, с виноградников и т. п.

Птицы отлично ориентируются в пространстве. На способности безошибочно возвращаться на прежние места обитания основана *голубиная почта*. В прежние времена, отправляясь в длительное

Приспособления птиц к полету:

- передние конечности превратились в крылья;
- перьевой покров;
- обтекаемая форма тела;
- крыло — вырост грудных мышц для прикрепления грудных мышц;
- легкие полые кости;
- кости черепа тонкие и скрещиваются без швов;
- скрещивание ключиц — увеличение прочности плечевого пояса;
- наличие цевки облегчает взлет и приземление;
- воздушные мешки — охлаждение тела и двойное дыхание;
- четырехкамерное сердце;
- сложение строения ЦНС;
- высокая острота зрения, двойная аккомодация;
- отсутствие мочевого пузыря;
- редукция правого яичника и яйцевода

путешествие, люди брали с собой голубей. Возвращаясь в голубятню, птицы доставляли известия о путешественниках. Чувство ориентации имеет огромное значение во время сезонных перелетов птиц.

Способность быстро вырабатывать условные рефлексы используется при дрессировке птиц. Особенно легко поддаются обучению вороны, грачи, попугаи. Их учат совершать различные действия и даже произносить отдельные слова и фразы, смысл которых они, конечно, не понимают.

Сочетание безусловных (врожденных) и условных (приобретенных) рефлексов помогает птицам приспосабливаться к меняющимся условиям среды обитания, что повышает возможности их выживания и продолжения рода.

Органы размножения. В полости тела самцов сизого голубя имеются парные бобовидные **семенники**, протоки которых открываются в клоаку. У самок развит только левый яичник, отходящий от него яйцевод также открывается в клоаку. Яйцеклетки в яичнике развиваются, в них накапливаются питательные вещества в виде желтка. По мере созревания яйцеклетки продвигаются в яйцевод, где и происходит оплодотворение. Стенки яйцевода богаты железами, которые выделяют вещества, формирующие белок и оболочки яйца.

Строение яйца (рис. 9.77). В центре яйца находится **желток**, окруженный тонкой желточной оболочкой. На поверхности желтка оплодотворенного яйца имеется **зародышевый диск**, из которого формируется зародыш птицы. Желток подвешен на двух плотных белковых канатиках, позволяющих желтку вращаться и всегда принимать положение зародышевым диском вверх, т. е. к теплему телу насиживающей птицы. Желток погружен в прозрачную вязкую жидкость — **белок**, который защищает развивающийся зародыш от механических повреждений и служит ему источником воды. Белок окружен двуслойной кожистой оболочкой. В отложенном яйце из-за потерь влаги эти слои расходятся и на его тупом конце образуется **воздушная камера**.

Наружная известковая оболочка — **скорлупа** — пронизана порами, через которые происходит газообмен между развивающимся зародышем и атмосферным воздухом, и выполняет защитную функцию.

Снаружи скорлупа свежеснесенного яйца покрыта тонким матовым слоем — **нагскорлуповой оболочкой**. Она защищает яйцо от проникновения в него бактерий, поэтому яйца, предназначенные для длительного хранения, не следует мыть и протирать.

Яйца у разных видов птиц различны по форме, величине и окраске. Число яиц в кладке также различное. Например, дневные хищники, пингвины откладывают, как правило, одно яйцо, серая куропатка — до 26.

Развитие зародыша начинается еще в яйцевode. Однако его быстрый рост и формирование происходят после откладки яйца в процессе насиживания, при котором создается оптимальная температура и необходимая влажность.

У курообразных, воробьинообразных, гусеобразных, сов кладку насиживают самки, у австралийских и американских страусов — только самцы, у других птиц — оба родителя. Продолжительность насиживания яиц различна: 11—14 сут — у мелких воробьинообразных птиц; 26 сут — у утки-кряквы; 35—40 сут — у лебедя; около двух месяцев у крупных птиц — пингвина, грифа, альбатроса.

Типы развития птенцов. У одних птиц (*тетерева, куры, утки, гуси, страусы, журавли, лебеди*) птенцы вылупляются из яиц покрытыми пухом, с открытыми глазами, способными самостоятельно передвигаться и следовать за взрослыми птицами. Таких птиц называют **выводковыми** (рис. 9.78). Роль родителей в этом случае сводится к защите выводка, обогреву птенцов и помощи в поисках пищи.

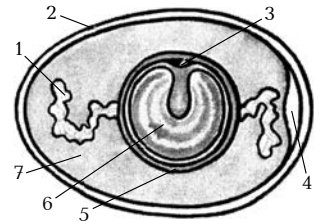


Рис. 9.77. Строение яйца: 1 — канатик; 2 — скорлупа; 3 — зародышевый диск; 4 — воздушная камера; 5 — желточная оболочка; 6 — желток; 7 — белок

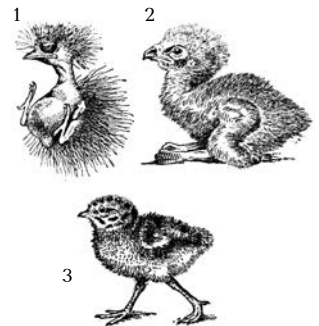


Рис. 9.78. Птенцы птенцовых (1 и 2) и выводковых (3) птиц: 1 — полевой конек; 2 — орел-могильник; 3 — серая куропатка

Птенцы другой группы выходят из яйца беспомощными, слепыми, голыми или слабо опушенными. В гнезде остаются долго, нуждаются в выкармливании, обогреве и защите. Такой тип развития птенцов называют *птенцовым*, или *гнездовым*. Количество откладываемых яиц у гнездовых птиц, как правило, меньше, чем у выводковых, что связано с невозможностью выкармливания большого количества птенцов. К птенцовым относятся воробьинообразные, голуби, попугаи, дятлы и хищные птицы.

Сезонные явления в жизни птиц. Происхождение птиц

В течение года в большинстве районов мира погодные и кормовые условия для птиц непостоянны. Они и определяют сезонную периодичность поведения птиц. Важнейшим сигналом для этого служит изменение длины светлого времени суток в умеренных и приполярных широтах, а в тропиках — чередование сухих и влажных периодов.

Гнездование птиц. Весной многие птицы выбирают гнездовые участки и строят гнезда. В этот период можно наблюдать разнообразные приемы ухаживания самцов за самками: пение, игры в воздухе, принятие различных поз, крики и битвы между самцами. Эту форму полового поведения называют *токованием*.

Птицы устраивают гнезда на земле (*жаворонок*), в дуплах (*дятел*), земляных норах (*береговая ласточка*). Наиболее искусными строителями являются певчие птицы. Они размещают гнезда среди листвы на ветвях деревьев и кустарников. Сизый голубь не строит гнезда.

Материалом для постройки гнезд служат сухие ветви и сучья (*аисты*, *грачи*), тростник (*цапли*), растительные волокна и пух (*ремез*), мокрая земля и ил (*ласточки*). Колониальные птицы (*кайры*, *пингвины*), обеспечивающие коллективную защиту от хищников, индивидуальных гнезд не строят.

Выведение птенцов. Вылупившиеся птенцы гнездовых птиц требуют прежде всего большого количества корма.

Так, пара *пестрых дятлов* приносит за сутки 5—6 птенцам 150—200 порций корма, а пара *больших синиц* за это же время 14 птенцам — до 500 порций. При интенсивном кормлении и обогреве птенцы мелких видов птиц за сутки увеличивают массу тела на 20—50 %.

Кроме кормления, родители обогревают птенцов, защищают их от перегрева солнечными лучами, регулярно чистят гнездо, унося в клюве помет и другой мусор. При появлении врага взрослые птицы бесстрашно защищают свое потомство. Нередко, объединив усилия соседних родительских пар, они отгоняют опасного пришельца и вынуждают его покинуть гнездовую территорию.

Все действия птиц, связанные с заботой о потомстве, инстинктивны.

Послегнездовой период. Подросшие птенцы покидают гнезда, интенсивно кормятся и затем начинают линять. У большинства видов птиц перья заменяются постепенно, лишь у некоторых (*утки*, *лебеди*, *гуси*) выпадают сразу все маховые перья. В этот период они не могут летать, поэтому вынуждены скрываться в зарослях прибрежной растительности. Птицы активно питаются, растут и запасают питательные вещества («жируют») перед зимовкой.

Оседлые птицы живут постоянно в одной и той же местности. В конце лета они делают небольшие запасы пищи на зиму. Так, *сойки* прячут орехи и желуди в ямки на поверхности земли, в мох или в дупла. *Синицы* запасают семена и насекомых, засовывая их в трещины коры и среди лишайников. Найденными зимой и ранней весной запасами птицы питаются, когда другого корма мало.

Кочующие птицы, объединяясь в небольшие стайки перед наступлением холодов, постепенно продвигаются к югу, мигрируя на относительно небольшие расстояния. В Беларуси к ним относятся *свиристель*, *клест*, *полярная белая сова*. С наступлением весны они вновь откочевывают в более северные местообитания, где и размножаются.

Перелетными являются *айсты*, *гуси*, *соловьи*, *ласточки*, *кукушки*. Они прилетают ежегодно весной для выведения птенцов и улетают в конце лета или осенью. В период отлета птицы собираются в большие стаи, состоящие из сотен и даже тысяч особей. Одни летят днем, другие — ночью. Крупные птицы летят, как правило, определенным строем; мелкие — стайками. Птицы многих видов летят одиночно. Первыми улетают насекомоядные, затем — зерноядные и позже всех — водоплавающие и болотные птицы.

Причины перелетов и способы их изучения. Непосредственными причинами перелетов являются сокращение продолжительности светового дня, понижение температуры, ухудшение условий добывания пищи.

При изучении перелетов большое значение имеет *метод кольцевания* птиц. Пойманным птицам надевают на ногу легкое алюминиевое кольцо, на котором указаны номер и учреждение, осуществившее кольцевание. В СНГ кольцевание птиц ведется с 1924 г. Все сведения о месте обнаружения окольцованных птиц поступают в Центр кольцевания Российской академии наук. Применение метода кольцевания позволяет выяснять пути и скорость перелета птиц, места зимовок, постоянство возвращения птиц к старым местам гнездования.

Происхождение птиц. Сравнение организации птиц с пресмыкающимися выявляет много общих черт. Животных обоих классов сближает строение кожи и присутствие рогового покрова, развитие клюва у птиц и черепах, наличие клоаки, в которую открываются мочеточники и половые протоки. Сходен также способ размножения и развитие зародышей. Эти общие черты организации дают основание считать, что пресмыкающиеся и птицы — родственные группы животных, которые имеют общих предков.

В Германии в конце XIX в. в отложениях юрского периода мезозойской эры были найдены окаменевшие остатки небольшого животного. Оно было названо *археоптериксом* (буквально — древнепернатый) (рис. 9.79). В его строении сочетались признаки, характерные для пресмыкающихся и птиц. Как и птицы, он имел перьевой покров, крылья, сросшиеся в вилочку ключицы, саблевидные лопатки. С пресмыкающимися его сближали длинный хвост, наличие зубов, три свободных пальца с когтями на крыльях, несросшиеся туловищные позвонки, отсутствие полости в трубчатых костях конечностей.

Археоптерикса рассматривают как тупиковую ветвь эволюции. Истинный предок птиц до сих пор не выявлен. Расцвет класса Птицы произошел в кайнозойскую эру. Они не только приспособились к жизни в лесах, как археоптерикс, но и заселили разнообразные местообитания — степи, пустыни, водоемы.



Кольцевание птицы

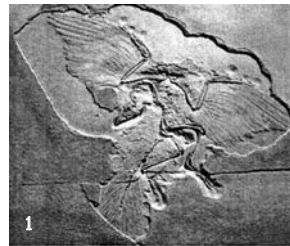


Рис. 9.79. Археоптерикс:
1 — окаменевший скелет с отпечатками перьев;
2 — реконструкция внешнего вида

Птицы в среде их обитания

Птицы леса. Разнообразие лесных деревьев и кустарников создает благоприятные условия для гнездования, нахождения пищи и укрытий для птиц многих видов. Широко распространены в лесах Беларуси птицы отряда *Дятлообразные*. Удерживаться на стволе деревьев дятлам помогают пальцы,



Черный дятел



Кряква



Королевский пингвин



Черный аист

два из которых направлены вперед, два назад, имеющие крепкие и сильно изогнутые когти, а также жесткий хвост, на который они опираются.

Часто встречается в лесах *большой пестрый дятел*. Корм он добывает в кронах и на стволах деревьев, поедая насекомых и их личинок, живущих открыто и под корой. Кору долбит своим крепким, долотообразным клювом и извлекает личинок длинным, заостренным, липким языком. Осенью и зимой питается семенами хвойных деревьев. Для этого дятел засовывает шишку в трещину коры или в расщепленную надломанную ветвь и раздалбливает ее, извлекая семена («кузница» дятла). Встречаются в лесах Беларуси также *черный дятел (желна)*, *малый пестрый* и *зеленый дятлы*.

В хвойных и смешанных лесах обитают представители отряда *Курообразные*: *рябчики*, *тетерева*, *глухари*. Ранней весной у самцов тетеревов и глухарей происходят турнирные бои — токование, после которого победители приступают к размножению. Питаются лесные курообразные частями растений, плодами, семенами, иногда беспозвоночными животными.

Болотные, водоплавающие и околотовдные птицы. Жизнь водоплавающих птиц тесно связана с водоемами, в которых они добывают корм. Плавать и нырять им помогают плавательные перепонки между пальцами ног. Оперение у них плотное. Хорошо смазанные жировыми выделениями копчиковой железы перья образуют водонепроницаемый поверхностный слой, защищающий их от намокания (отсюда выражение — «как с гуся вода»).

К водоплавающим относятся птицы разных отрядов.

Кряква, живущая на водоемах всех типов, относится к отряду *Гусеобразные*. У нее длинное, слегка уплощенное тело с отставленными далеко назад короткими ногами. При кормежке на мелководье утка может перевертываться головой вниз под воду, оставляя над водой заднюю часть тела и хвост. Край уплощенного клюва имеют роговые пластинки, образующие вместе с пластинками мясистого языка фильтрующий аппарат. Процеживая воду и ил, кряквы добывают беспозвоночных, едят водные растения. На зиму кряквы улетают в места, где не замерзают пресные водоемы (юг Европы, Индия, Китай). Некоторая часть крякв остается зимовать на незамерзающих водоемах в городах.

Представители отряда *Пингвины* являются обитателями побережий материков и островов Южного полушария. Живут они большую часть года в открытом море, питаясь рыбой, моллюсками и ракообразными. На берег выходят в период размножения.

Пингвины хорошо приспособлены к жизни в воде. Имеют плотное несмазываемое оперение, превращенные в ласты маленькие крылья. Грудной киль хорошо развит. К нему крепятся мощные мышцы, приводящие в действие ласты. В воде плавают быстро и проворно. Короткие ноги с перепонкой между пальцами при плавании вытягиваются назад и служат рулем. По льду и снегу пингвины ходят вертикально, опираясь на хвост.

Самый крупный из пингвинов — *королевский*, образует колонии на береговых льдах Антарктиды. Гнезд не строит. Единственное яйцо вынашивает на перепонках ног, прикрыв его складкой кожи. Вылупившиеся птенцы покрыты густым пухом («пуховики»), беспомощны и развиваются медленно. Оба родителя кормят их, отрывая пищу в рот птенцам.

Птицы отряда *Аистообразные* держатся около воды, но не умеют ни нырять, ни плавать. Они медленно ходят по мелководью на длинных ногах и вылавливают водных животных тонким и длинным, как пинцет, клювом. Представители отряда — *аисты*, *цапли*. Обычен в Беларуси *белый аист*. Реже встречается *черный аист*, занесенный в Красную книгу Республики Беларусь.

Птицы открытых местообитаний. Для птиц открытых местообитаний основной заботой является поиск укрытий от хищников. Своевременно

обнаружить хищника им помогают относительно большой рост, длинные ноги и острое зрение, позволяющее осматривать местность далеко вокруг.

Представители отряда *Страусы* населяют степи Африки, Южной Америки и Австралии. Это крупные птицы, не способные к полету. Грудной киль отсутствует. Перья пышные, так как бородочки не сцеплены из-за отсутствия крючочков. Сильно развитые ноги имеют только два (африканский страус) или три пальца, что связано с быстрым бегом. Держатся страусы группами, иногда в стадах крупных млекопитающих. Они первыми замечают опасность и вспугивают все стадо. От хищников спасаются бегом, развивая скорость до 70 км/ч. При близком столкновении с противником защищаются, нанося удары мощными ногами.

Дрофа — одна из редких крупных птиц (масса до 16 кг) степей. Издали заметив опасность, улетает или убегает на своих сильных ногах. Окраска оперения схожа с цветом выгоревшей на солнце растительности, поэтому птица, затаившись, легко скрывается от опасности. Из-за распашки степей и чрезмерного истребления численность дрофы в последние десятилетия резко снизилась.

Хищные птицы. Они распространены по всей планете и заселяют все наземные ландшафты — леса, равнины, горы, степи, пустыни. Для хищников характерно острое зрение, короткий, но сильный клюв, с загнутым книзу острым концом надклювья. Пальцы заканчиваются крупными изогнутыми когтями. Мускулатура груди и ног мощная. Полет маневренный, многие способны к длительному парению. Хищники одних видов поедают мертвых животных (*стервятники, грифы*), другие ловят живую добычу (*соколы, орлы, ястребы*). В основном питаются мышевидными грызунами, реже поедают мелких птиц, рыбу, иногда мелких копытных. Одни хищные птицы охотятся днем, другие — ночью. К дневным хищникам принадлежат соколы, орлы, ястребы. Ночные хищники (*совы, филины, сычи*) имеют крупные направленные вперед глаза, чуткий слух, бесшумный полет за счет развития рыхлого оперения.

В Беларуси наиболее часто встречаются: *ястребы тетеревятник и перепелятник, канюк, болотный лунь*. В Красную книгу Республики Беларусь занесены: *скопа, змееяг, орел-карлик, большой подорлик, беркут* и др.

Птицы парков и садов, лугов и полей. Птицы культурных ландшафтов вам хорошо знакомы. Они приносят пользу, истребляя вредных насекомых. Пением многих из них мы заслушиваемся. Самые многочисленные среди них — мелкие и средние по размерам птицы отряда *Воробьинообразные* (*жаворонки, синицы, ласточки, дрозды, скворцы, воробьи* и др.).

Часто встречается *большая синица* — красивая, подвижная птица величиной с воробья. Ее легко узнать по зеленоватой окраске спины, желтой грудке с черной полосой и черной шапочке на голове. Короткая и звонкая песенка большой синицы в конце января — начале февраля извещает о скором приходе весеннего тепла.

Ласточки гнездятся по долинам рек, в поселениях человека. Насекомых ловят на лету широким ртом. По земле из-за коротких ног почти не ходят. *Городская ласточка* строит (лепит) гнезда из комочков грязи, скрепляя их липкой слюной; *береговые ласточки* роют норы в обрывах по берегам рек.

Полевой жаворонок — обитатель полей, лугов и степей. Прилетает ранней весной. Высоко в небе слышны серебристые звонкие трели самцов жаворонка. Гнездо устраивает на земле. Серовато-бурое с темными крапинками оперение делает жаворонка незаметным на гнезде среди травы. Кормится он насекомыми, семенами, проворно бегая и отыскивая их среди растений.

Птицы в городе. На первый взгляд кажется, что в городе нет места для жизни диких животных. Город планируется и строится в интересах горожан. Тем не менее при строительстве городов остаются островки природы —



Дрофа



Ястреб-перепелятник



Змееяг



Черный дрозд



Свиристель



Калибри



Рябчик



Кряква



Гага

рощи, водоемы. Ведется в городах и «зеленое строительство»: посадка деревьев, разбивка скверов, устройство садов, парков, каналов, прудов. Естественные участки природы и искусственные насаждения, водные системы в комплексе образуют *природную среду городов*. Она заселяется разнообразными беспозвоночными и позвоночными животными, среди которых многочисленны птицы.

Птицы находят в условиях города не только множество мест для гнездования, а в зимнее время — укрытий от холода, но и, кроме естественной, свойственной им пищи, дополнительные источники корма на свалках, в контейнерах с бытовыми отходами, на кормушках.

Ученые-орнитологи насчитывают в городах более 100 видов птиц. Наиболее часто встречаются птицы отряда Воробьинообразные, доля которых составляет около 70 % от общего числа городских видов. Самыми многочисленными являются *сизый голубь, серая ворона, грач, галка, сорока, полевой и домовый воробы*.

В осенне-зимнее время в города прилетают с севера кочующие птицы, например *свиристели*. Стайки этих красивых птиц с хохолком на голове можно видеть на рябине, плодами которой они питаются.

Заселяются в городах даже жилые постройки, дома разной этажности. Здесь часто встречаются *галки, стрижи, ласточки, голуби, сычи домовые*.

Значение птиц в природе. Птицы заселили все материки и большую часть островов планеты. Численность их огромна. Птицы ежедневно потребляют большое количество растительной и животной пищи. Особенно велико значение птиц в регулировании численности насекомых и мелких грызунов — основных пищевых объектов птиц. Нередко птицы сами служат пищей другим животным.

Птицы способствуют расселению растений: склевывая сочные плоды рябины, брусники, черемухи, черники и других растений, они перелетают с места на место, оставляя вместе с пометом и семена.

Мелкие виды тропических птиц (*колибри, нектарницы*), как и многие насекомые, питаются цветочным нектаром, одновременно опыляя цветки растений.

Значение птиц для человека. Истребляя огромное количество насекомых-вредителей, насекомоядные птицы приносят пользу, так как создают благоприятные условия для роста культурных и ценных дикорастущих растений. Это пример биологического способа борьбы с вредителями.

Полезны также и хищные птицы, истребляющие мелких грызунов — вредителей полевых культур и распространителей возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных (чумы, холеры и др.).

Многие птицы являются объектом спортивной или промысловой охоты. Это в первую очередь *рябчик, тетерев, глухарь, куропатка, перепел, фазан; гуси, утки, различные кулики (бекас, вальдшнеп)*.

Важное значение имеет сбор гагачьего пуха. *Гага* — крупная морская утка — гнездится на побережье северных морей. Она выстилает гнездо толстым слоем отличного пуха, обладающего мягкостью, упругостью и малой теплопроводностью.

Помет морских водоплавающих птиц используется в качестве ценного удобрения. В местах гнездования колоний этих птиц на берегах Южной Америки скапливается большое количество помета — гуано, запасы которого разрабатываются промышленным способом.

Перо птиц издавна использовали для письма вплоть до середины XIX в. До сих пор мы называем ножи «перочинными» и пишем изделиями из стали, которые по традиции называются перьями. Пух и перо птиц используют для изготовления подушек, перин, пошива теплой зимней одежды.

Велика эстетическая роль птиц. Своей подвижностью, ловкостью, звонкими мелодичными песнями они украшают и оживляют леса и парки, луга и берега водоемов. Наблюдение за ними доставляет людям огромную радость.

Охрана и привлечение птиц. Положительная роль птиц в природе и польза для человека вызывают необходимость заботы о наших пернатых друзьях. Прежде всего, не следует проявлять к птицам чрезмерное любопытство, тревожить их, уничтожать яйца и трогать птенцов. Особенно важно это соблюдать в период гнездования, во время выведения потомства.

Принятый в республике Закон об охране животного мира предусматривает запрет охоты на промысловых птиц в период их размножения, линьки. Запрещается использование хищнических способов и орудий лова птиц — силков, петель, самоловных снастей.

Создано большое число охотничьих хозяйств, в которых человек не только пользуется готовыми дарами природы, но и сам затрачивает труд и вкладывает материальные средства в разведение промысловых птиц: на устройство охотничьих заказников, где птицы могут спокойно размножаться; на акклиматизацию видов, не принадлежащих к местной фауне.

Большую помощь птицам можно оказать, создавая им удобные места для гнездовий. Для этого в садах и парках развешивают скворечники и другие искусственные гнездовья, а также высаживают деревья и кустарники в городах и селах, где могут гнездиться и укрываться птицы. Зимой, когда птицы с трудом добывают пищу, важно подкармливать их, оборудуя для этого кормушки.

Птицеводство. Разведение птиц — одно из наиболее выгодных направлений животноводства. Птицы эффективнее других домашних животных перерабатывают пищу и быстро растут. Они дают высококачественное мясо, отличающееся хорошим вкусом и высокой питательностью. Куриные яйца — один из распространенных и излюбленных продуктов питания человека. Кроме высокой пищевой ценности, они служат источником многих витаминов. Яйца используют для приготовления разнообразных блюд, а также лечебных препаратов. Используется также перо и пух птиц. Разведение домашних птиц в настоящее время поставлено на промышленную основу.

Одомашнивание птиц началось давно. Около 4500 лет назад жители Древней Индии приручили *дикую банкивскую*, или *кустарниковую*, курицу, которая стала родоначальницей более 100 пород современных кур. В Европе кур стали разводить позже, примерно за 1—2 тысячелетия до нашей эры. Дикие куры имели массу 0,7—1 кг, самка откладывала всего 5—8 яиц в год. Современные породы некоторых мясных кур достигают массы 5—7 кг, другие имеют высокую яйценоскость (до 320—350 яиц в год). Созданы и чисто декоративные породы. Например, петухи *японских парковых кур* имеют хвост длиной 5—6 м.

Дикая индейка из лесов юга Северной Америки была одомашнена еще до нашей эры мексиканскими индейцами. Лучшие из современных пород отличаются интенсивным ростом молодняка и достигают массы 12—15 кг.

Разнообразны породы домашних гусей, ведущих свое происхождение от серого гуся, широко распространенного в Европе. Породы домашних уток — прямые потомки утки кряквы. В результате селекции были выведены породы мясных уток, достигающих массы 4—5 кг. Другие породы имеют повышенную яйценоскость (до 200—220 яиц в год).

Примерно за 5000 лет до нашей эры был одомашнен *сизый голубь*. В настоящее время известно более 200 пород голубей. Все породы можно объединить в три группы: декоративные, почтовые и мясные. Голуби каждой из трех групп отличаются окраской, формой и массой тела.



Дикая банкивская
курица

КЛАСС МЛЕКОПИТАЮЩИЕ, ИЛИ ЗВЕРИ

Млекопитающие — наиболее высокоорганизованный класс позвоночных животных. Распространены они по всем континентам и заселили все жизненные среды: водную, почвенную и наземно-воздушную. Размеры и масса млекопитающих разных видов сильно различаются. Так, крошечная бурозубка имеет длину тела до 4 см и массу всего 1,5 г, в то время как гигант океанических просторов синий кит достигает 33 м при массе до 150 т. Млекопитающим нет равных в скорости передвижения в наземной среде. У них высоко развит головной мозг. Некоторые из них ведут общественный образ жизни, обладают сложными формами поведения. Благодаря активным процессам жизнедеятельности и большой численности, млекопитающие играют огромную роль в природе и хозяйственной деятельности человека.

Известно около 4,5 тыс. видов млекопитающих. На территории нашей республики обитает 73 вида.

Особенности внешнего строения млекопитающих. Внешнее строение тела млекопитающих легко представить себе на примере собаки домашней. Оно подразделяется на голову, шею, туловище, парные конечности и хвост. Туловище приподнято над землей благодаря расположению под ним передних и задних конечностей. Такое расположение конечностей дает возможность животным развивать большую скорость движения.

Голова относительно велика и подвижна благодаря гибкой и хорошо выраженной шее. Рот имеет верхнюю и нижнюю губы. Над ртом находится вытянутый нос с парой ноздрей. Глаза защищены верхними и нижними веками с ресницами; мигательная перепонка недоразвита. На голове расположены подвижные ушные раковины.

Покровы. Кожа собаки толстая, прочная, эластичная. Она состоит, как и у всех позвоночных, из двух слоев. Наружный слой — эпидермис — многослойный. Расположенные в его глубине живые клетки активно делятся, а верхние клетки мертвые, ороговевшие непрерывно слущиваются. Эпидермис может достигать большой толщины в местах, испытывающих постоянное трение при хождении, например на подошвах лап, седалищных мозолях обезьян.

Внутренний слой кожи — собственно кожа — пронизан кровеносными сосудами, нервными окончаниями. В нем расположены сальные, потовые железы, корни волос и чувствительные клетки, воспринимающие давление, боль, тепло, холод. Нижняя часть этого слоя переходит в подкожную жировую клетчатку. В ней находятся запасы жира, которые используются животными (сурки, суслики, медведи, барсуки и др.) в период спячки как источник энергии. Велика роль подкожной жировой клетчатки в сохранении тепла в теле млекопитающих. Она особенно важна для китообразных и ластоногих, обитающих в холодных арктических и антарктических водах.

За счет эпидермиса кожи развиваются разнообразные роговые образования: волосы, ногти, когти, копыта, полые рога, чешуи. Костные рога оленей, лосей развиваются из внутреннего слоя кожи.

Волосы и покровы — характерная особенность млекопитающих. У собаки различают толстые и длинные волосы — остевые. Они образуют верхний ярус волосистого покрова. Под ним, в нижнем ярусе, лежат тонкие, нитевидные пуховые волосы — подпушь, или подшерсток. В подшерстке задерживается воздух, который сохраняет тепло тела. Особенно хорошо развивается подшерсток к зиме. У некоторых млекопитающих (кабаны, олени) летний мех состоит только из одних остевых волос, а у кроотов — только из пуховых; покров водных млекопитающих — из обоих видов волос. Иглы ежей, дикобразов — это видоизмененные остевые волосы.

Характерные
особенности
млекопитающих:

- волосяной покров;
- четырехкамерное сердце;
- диафрагмальное дыхание;
- видоизмененное развитие в матке;
- вскармливание детеныша молоком;
- постоянная температура тела

На разных частях тела зверей развивается небольшое количество очень длинных щетинковидных волос — *вибрисс*, выполняющих функцию осязания.

Собака, как и большинство млекопитающих, линяет. Часть волос постепенно выпадает, заменяясь новыми. У животных умеренных широт волосяной покров полностью меняется дважды в год, весной и осенью. У животных некоторых видов одновременно меняется и окраска меха (*зайцы, белки*).

В коже большинства зверей расположены сальные, потовые, млечные и пахучие железы. Протоки *сальных желез* открываются в волосяные сумки, смазывая отрастающий волос и делая его эластичным и ненамокающим.

Протоки *потовых желез* открываются на поверхности кожи. Испаряясь, пот охлаждает ее.

Млечные железы являются видоизмененными потовыми. Они развиваются у всех без исключения самок млекопитающих (отсюда и название класса). Они вырабатывают молоко, которым вскармливаются детеныши.

Пахучие железы представляют собой видоизмененные потовые или сальные железы. Они выделяют пахучие секреты, которыми животные метят свою территорию, узнают особей своего вида или особей другого пола. Секрет анальных желез *американских скунсов* с неприятным, едким запахом используется ими для самозащиты.

Скелет. У собаки и других млекопитающих он сходен со скелетом пресмыкающихся и состоит из тех же отделов: черепа, позвоночника, плечевого и тазового поясов и скелета передних и задних конечностей (рис. 9.80).

Особенностью *черепа* является увеличение объема мозгового отдела и уменьшение числа костей.

В шейном отделе *позвоночника* всегда семь позвонков. Так, короткая шея мыши и длинная жирафа состоят из одинакового числа позвонков, но разных по размеру. Грудные позвонки (обычно их 12—15) вместе с ребрами и грудиной образуют грудную клетку. В поясничном отделе 2—9 подвижно сочлененных между собой позвонков. В этом отделе туловище может сгибаться и разгибаться. Позвонки крестцового отдела (3—4) сросшиеся, к ним прирастают тазовые кости. Хвостовых позвонков — от 3 до 49, что и определяет длину хвоста.

Плечевой пояс млекопитающих состоит только из двух парных костей — лопаток и ключиц. Коракоиды утратили самостоятельность (за исключением первозверей) и приросли к лопаткам. Ключицы развиты у большинства млекопитающих, но отсутствуют у псовых и копытных, ноги которых перемещаются только вдоль продольной оси тела.

Пояс задних конечностей — та з образован парными тазовыми костями.

Конечности собаки пятипалые, как и у большинства наземных позвоночных животных. Кости отличаются относительно небольшой массой и высокой прочностью.

Мускулатура. У млекопитающих мускулатура сильно дифференцирована. Особенно хорошо развиты мышцы спины, конечностей и их поясов, нижней челюсти. С помощью хорошо развитой подкожной мускулатуры животные могут изменять положение волосяного покрова, обеспечивается лицевая мимика, особенно у хищников и обезьян.

Опорно-двигательная система млекопитающих позволяет осуществлять разнообразные виды

Шейный отдел позвоночника млекопитающих состоит из семи позвонков

Млекопитающие имеют пятипалые конечности, но число пальцев может изменяться до 1–2 (копытные)

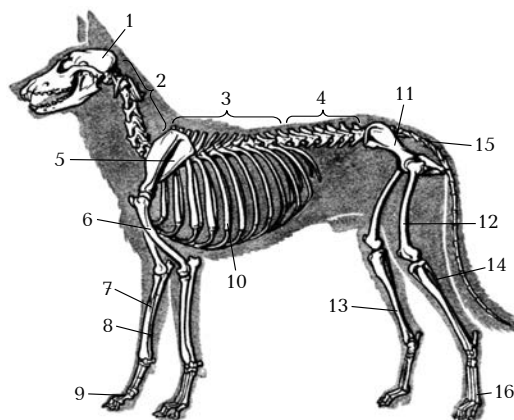


Рис. 9.80. Скелет млекопитающего на примере собаки: 1 — череп; 2 — шейные позвонки; 3 — грудные позвонки; 4 — поясничные позвонки; 5 — лопатка; 6 — плечевая кость; 7 — лучевая кость; 8 — локтевая кость; 9 — кости кисти с костями пальцев; 10 — ребра; 11 — тазовые кости; 12 — бедренная кость; 13 — большая берцовая кость; 14 — малая берцовая кость; 15 — хвостовые позвонки; 16 — кости стопы с костями пальцев

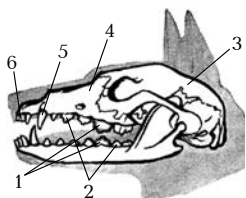


Рис. 9.81. Череп и зубы собаки: 1 — хищные зубы; 2 — коренные зубы; 3 — мозговой отдел черепа; 4 — лицевой отдел черепа; 5 — клыки; 6 — резцы

Особенности пищеварительной системы:

- имеются зубы;
- зубы дифференцированы на резцы, клыки и коренные, расположенные в специальных лунках;
- зубы молочные и постоянные;
- слюна содержит пищеварительные ферменты;
- на границе тонкого и толстого кишечника — слепой вырост — слепая кишка

передвижения — ходьбу, бег, лазание, прыжки, полет, плавание, что отражается на строении конечностей. Так, у наиболее быстро бегающих животных число пальцев сокращено: у *парнокопытных* развиты два (третий и четвертый) пальца, а у *непарнокопытных* — один (третий). У животных, ведущих подземный образ жизни (*кроты*), увеличена и своеобразно устроена кисть. Животные, способные к полету (*летучие мыши*), имеют удлинённые фаланги пальцев и кожистые перепонки между ними.

Полость тела. Как и у всех других млекопитающих, у собак она разделена плоской мышечной перегородкой — *диафрагмой* на грудную и брюшную части. В грудной полости расположены сердце и легкие, а в брюшной — все остальные внутренние органы.

Питание и органы пищеварения. Собака — хищник. Пищу она схватывает зубами, погруженными в лунки челюстных костей. Вкус пищи определяют вкусовые сосочки поверхности языка. По форме и назначению зубы подразделяются на резцы, клыки и коренные (рис. 9.81). Зуб образован костной тканью и покрыт прочной *эмалью*.

Число и форма зубов различны и зависят от способа добывания и вида пищи. Так, у зверей отряда Хищные сильно развиты клыки, которыми они схватывают и убивают жертву, а коренные зубы имеют режущие вершины. У грызунов развиты резцы, отсутствуют клыки, а коренные зубы имеют плоскую жевательную поверхность.

У животных большинства видов происходит смена *молочных зубов* на постоянные.

Ротовое отверстие окружено мясистыми *губами*, что свойственно только млекопитающим, детеныши которых сосут материнское молоко.

Млекопитающие используют в пищу разнообразные виды растительных и животных кормов. Так, вегетативными частями древесных, кустарниковых и травянистых растений питаются *слоны, бобры, жирафы, зайцы* и др. Семена и плоды поедают *мыши, белки, кабаны*. *Усатые киты* отфильтровывают из воды мелких беспозвоночных (ракообразных, моллюсков). *Дельфины, тюлени* питаются рыбой. Крупной живой добычей питаются животные отряда Хищные, проявляя во время охоты ловкость и внезапность нападения (*тигр, лев, соболь, куница*). Некоторые хищники (*волки, львы*) охотятся группами на крупную добычу.

В ротовую полость открываются протоки слюнных желез. Слюна не только смачивает измельченную зубами пищу, но и частично ее переваривает.

Через глотку и пищевод пищевая кашица поступает в желудок, в стенках которого многочисленные железы выделяют пищеварительный сок (рис. 9.82).

Кишечник подразделяется на тонкий и толстый отделы. В тонком кишечнике пища полностью расщепляется под действием кишечного сока, секретов поджелудочной железы и печени. На границе тонкого и толстого отделов у животных, питающихся растительной пищей, развита *слепая кишка* — начальный участок толстого кишечника. В ее полости под влиянием бактерий происходит переваривание клетчатки — стенки растительных клеток. Непереваренные остатки поступают в толстую кишку, затем в прямую и через анальное отверстие выводятся наружу.

Дыхательная система. Все млекопитающие дышат *легкими* (см. рис. 9.82), дыхательная поверхность которых образована многочисленными легочными пузырьками — *альвеолами*, оплетенными сетью кровеносных капилляров.

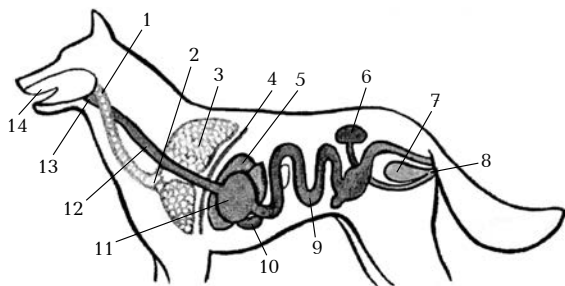


Рис. 9.82. Внутреннее строение собаки: 1 — трахея; 2 — бронхи; 3 — легкое; 4 — диафрагма; 5 — печень; 6 — почка; 7 — мочевой пузырь; 8 — выделительное отверстие; 9 — кишечник; 10 — поджелудочная железа; 11 — желудок; 12 — пищевод; 13 — глотка; 14 — ротовая полость

Общая поверхность альвеол легких в 50—100 раз больше поверхности тела, что позволяет быстро и эффективно осуществлять газообмен.

Вдох и выдох происходят за счет сокращений и расслаблений межреберных мышц и диафрагмы, вызывающих увеличение или уменьшение объема грудной клетки.

С дыханием связано и воспроизведение звуков. В гортани млекопитающих имеются *голосовые связки*. Выдыхаемый из легких воздух вызывает их колебания, благодаря которым животные издают звуки, свойственные каждому виду. Этими звуками они сообщают друг другу о грозящей опасности, местонахождении и др.

Кровеносная система. Сердце, как и у птиц, состоит из четырех камер: двух предсердий и двух желудочков. Движение крови осуществляется по двум кругам кровообращения: большому (туловищному) и малому (легочному). Все органы и ткани снабжаются чистой артериальной кровью, что повышает интенсивность процесса жизнедеятельности. Образуется много тепла, которое сохраняется благодаря шерстному покрову и подкожной жировой клетчатке. В связи с этим млекопитающие, как и птицы, являются теплокровными животными. Вот почему они заселили все климатические зоны планеты, включая Арктику и побережье Антарктики.

Выделительная система. У млекопитающих, как и у пресмыкающихся и птиц, развиты *тазовые почки* (см. рис. 9.82). Образовавшаяся в них моча по мочеточникам оттекает в мочевой пузырь, где накапливается, а затем выводится по мочеиспускательному каналу наружу.

Нервная система. У млекопитающих, как и других позвоночных, нервная система состоит из головного и спинного мозга и отходящих от них нервов. *Головной мозг* сильно развит и по массе больше спинного мозга в 3—15 раз, в то время как у пресмыкающихся они примерно равны. Из пяти отделов, свойственных головному мозгу позвоночных животных, особенно велики размеры *переднего мозга* и *мозжечка*. Развитие переднего мозга произошло за счет разрастания коры больших полушарий. В ней образовались борозды, увеличивающие поверхность коры, благодаря чему условные рефлексы у млекопитающих вырабатываются быстрее, чем у других хордовых животных. Роль условных рефлексов в жизни млекопитающих резко возросла по сравнению с врожденными рефлексами и инстинктивной формой поведения. Звери быстро приспосабливаются к жизни в меняющихся условиях среды, что повышает их выживаемость.

Млекопитающим свойственны игры молодых животных, в процессе которых они приобретают ловкость, подвижность, обучаются приемам нападения и защиты. Жизнь в семье, стаде способствует выработке многообразных форм поведения.

Органы чувств. У млекопитающих хорошо развиты органы чувств, особенно зрения и обоняния. Наибольшая острота зрения свойственна животным открытых пространств (*антилопы*). У животных с подземным образом жизни зрение слабо развито (*кроты*). Цветовое зрение характерно не для всех млекопитающих. Лучше всего оно развито у приматов.

Большинство млекопитающих имеет тонкое *обоняние*, благодаря которому они по запаху отыскивают особей своего вида, находят пищу, распознают на расстоянии врага или жертву.

Слух у млекопитающих очень тонкий за счет развития подвижной ушной раковины, собирающей звуковые колебания, а также наличия в среднем ухе трех слуховых косточек (молоточка, наковальни, стремечка), усиливающих звуковые колебания.

Размножение и развитие млекопитающих. Органы размножения самок представлены парными *яичниками*, лежащими в полости тела. Из них мел-

Легкие млекопитающих альвеолярного типа.

Эритроциты млекопитающих безядерные

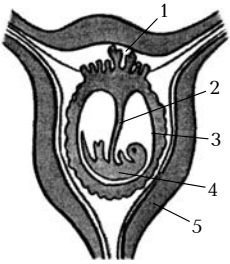


Рис. 9.83. Зародыш млекопитающего в матке: 1 — плацента; 2 — пуповина; 3 — околоплодный мешок; 4 — зародыш; 5 — стенка матки

кие яйцеклетки (до 0,2 мм) поступают в *яйцеводы*. Левый и правый яйцеводы открываются в полость мускулистого мешковидного органа — *матку* (рис. 9.83). Оплодотворение происходит в яйцеводе. На пути из яйцевода в матку из оплодотворенной яйцеклетки начинает развиваться зародыш, который и прикрепляется к стенке матки.

Вокруг развивающегося зародыша образуется околоплодный мешок, заполненный жидкостью, которая защищает его от сдавливания, сотрясений и ударов. С помощью *пуповины* развивающийся зародыш связан с *плацентой* (детским местом), а через нее — с организмом матери. В плаценте стенки кровеносных капилляров матери и зародыша тесно соприкасаются друг с другом. Через них от матери в зародыш поступают кислород, питательные вещества, а от зародыша в организм матери — углекислый газ и продукты жизнедеятельности.

На ранних стадиях развития зародыши всех хордовых животных имеют хорду. Зародыш развивается, увеличивается в размерах.

Продолжительность внутриутробного развития — беременность — у разных видов млекопитающих различна. Так, у *хомяка* она равна 11—13 сут, у *собаки* — 2 месяцам, у *коровы* — 9, у *китов* — 11 месяцам, а у *слона* длится почти 2 года.

Количество детенышей в помете колеблется от одного у крупных млекопитающих до 12—15 у мелких. Рекорд плодовитости принадлежит *серой крысе*, рождающей до 22 крысят.

Небольшая группа млекопитающих не имеет плаценты и размножается путем откладки яиц (*утконос*, *ехидна*).

После окончания срока беременности наступают роды, при которых сокращение мышечных стенок матки выталкивает плод наружу. Отделенный от пуповины родившийся детеныш совершает первый самостоятельный вдох, его легкие расправляются, и он начинает дышать самостоятельно.

Выкармливание детенышей *молоком* — характерная особенность всех млекопитающих. Млечные железы расположены на груди или на брюхе. Их протоки открываются наружу небольшими отверстиями на *сосках*. Число сосков у разных видов млекопитающих различается и находится в зависимости от количества рождающихся детенышей. Так, домашняя собака, рождающая 3—10 щенков, имеет 8 сосков.

Молоко содержит все необходимые для роста и развития детенышей вещества: белки, жиры, углеводы, витамины, соли и воду. После окончания периода молочного вскармливания молодняк переходит на питание собственными ему кормами.

Забота о потомстве. Детеныши большинства крупных растительноядных копытных (*косули*, *олени*, *лоси*) рождаются полностью сформированными, способными сразу после рождения следовать за родителями. Другие млекопитающие, например *собаки*, большинство *грызунов*, рождают беспомощных, слепых, голых детенышей, требующих большой заботы со стороны родителей. Самка или оба родителя заранее строят для будущих потомков гнездо или нору. В них новорожденные обогреваются теплом матери, содержатся в чистоте. Родители храбро защищают потомство от хищников, обучают их укрываться от опасности, передают им опыт добывания пищи и другие навыки. Чаще всего воспитывает потомство самка. Пары образуются, как правило, только на период размножения и редко на несколько лет, как у *обезьян* и *волков*.

Происхождение млекопитающих. Многие черты строения млекопитающих сближают их с пресмыкающимися: наличие рогового покрова, тазовых почек, внутреннее оплодотворение, развитие зародыша в водной оболочке. Некоторые примитивные млекопитающие размножаются, откладывая яйца, как пресмыкающиеся. Все это дает основание предположить, что предками млекопитающих могли быть древние пресмыкающиеся.

Это предположение подтвердилось палеонтологическими находками скелетов *зверозубых ящеров*, имевших дифференцированные, расположенные в лунках челюстных костей зубы и конечности под туловищем. Одна из групп подобных зверозубых ящеров дала начало млекопитающим.

Разнообразие млекопитающих

Класс Млекопитающие подразделяется на два подкласса: Первозвери, или Яйцекладущие, и Настоящие звери, или Живородящие.

Подкласс Первозвери. Это наиболее примитивная и древняя группа современных млекопитающих. В отличие от остальных представителей класса, они размножаются, откладывая яйца. Детеныши выкармливаются молоком, которое слизывают языком с железистых участков кожи или с шерсти матери, так как млечные железы первозверей не имеют сосков, поэтому у них отсутствуют губы. Как и у пресмыкающихся, у них развиты коракоиды в плечевом поясе, клоака. Температура тела низкая и непостоянная (26—35 °С).

Первозвери распространены, главным образом, в Австралии и на прилегающих к ней островах. *Утконос* ведет полуводный образ жизни. Его тело покрыто густой шерстью, почти не намокающей в воде. Пальцы лап соединены плавательной перепонкой, хвост уплощен. При помощи широкого клюва с роговыми пластинками на нем утконос процеживает воду, извлекая беспозвоночных, как утка (отсюда и его название).

Ехидна — наземное роющее млекопитающее. Пальцы кисти и стопы вооружены длинными сильными когтями. Тело покрыто жестким волосным покровом и острыми иглами. Живет в норах, питается насекомыми, извлекая их отовсюду длинным, клейким языком.

Подкласс Настоящие звери. Этот подкласс включает много отрядов. Познакомимся лишь с некоторыми из них.

Отряд Сумчатые — животные этой группы не имеют плаценты, или она слабо развита, поэтому после короткого срока беременности детеныши рождаются маленькими (1,5—3 см) и слабо развитыми. Длительное время (6—8 месяцев) они вынашиваются в кожистой сумке на брюхе самки.

Распространены сумчатые в Австралии и на прилегающих к ней островах. Представителями отряда являются *кенгуру*, *сумчатый медведь (коала)*, *сумчатый волк*, *сумчатая белка* и др.

Наиболее крупным сумчатым животным является *гигантский кенгуру*, достигающий высоты 2 м. Передвигается он большими прыжками задних ног со скоростью до 60 км/ч. Мощный хвост служит балансиром при прыжках и опорой во время отдыха. Питается растительной пищей.

Отряд Насекомоядные объединяет наиболее примитивных плацентарных зверей. Их мозг мал, кора полушарий гладкая, без извилин, у большинства видов зубы слабо дифференцированы. Морда вытянута в длинный подвижный хоботок. Размеры тела средние и мелкие. Питаются насекомыми и их личинками. Представители — *кроты*, *землеройки*, *ежи*, *выхухолы*. Распространены везде, кроме Австралии и Северной Америки.

Землеройка — самые маленькие млекопитающие. Наиболее обычна и широко распространена в лесах, на лугах умеренного пояса *бурозубка обыкновенная*. Ее небольшое, длиной до 7—10 см тело покрыто темно-бурым мехом. Несмотря на короткие ноги, она быстро бегает. Отличается большой прожорливостью: за сутки съедает корма в 1,5—2 раза больше массы собственного тела. Не найдя пищи в течение суток, погибает. Активна круглый год.

Крот обыкновенный — обитатель почвы лесной и лесостепной зон. Встречается на лугах, полях, опушках леса, в садах и на огородах. Его присутствие



Утконос



Ехидна



Гигантская бурозубка



Крот



Летучая мышь Вампир

выдают выбросы земли из подземных галерей — *кротовины*. Передние конечности крота направлены в стороны, а короткие плечо и предплечье скрыты в туловище. Сильно развитые лопатообразные кисти способны разгребать землю, благодаря чему крот быстро продвигается в почве. Тело крота плотное, цилиндрической формы. Шерстный покров не имеет направления. Голова без ушных раковин сидит на короткой шее. Маленькие недоразвитые глаза скрыты в шерсти. Сильно развито обоняние.

Ежа обыкновенного часто можно встретить в наших лесах. Спина ежа покрыта иглами — видоизмененными остевыми волосами. При опасности еж сворачивается в клубок, выставляя иглы во все стороны. Размножаются ежи со второго года жизни. В середине лета ежиха в густом кустарнике устраивает логово, в котором рождает 3—6 голых детенышей. Иглы у них появляются через несколько дней. Зимой ежи впадают в глубокую спячку в заранее приготовленном гнезде. Во время спячки у них резко снижается температура тела, замедляется дыхание. С наступлением весны ежи просыпаются и активно ищут пищу.

Отряд Рукокрылые объединяет летающих млекопитающих, распространенных везде, кроме Арктики и Антарктиды. Летательными поверхностями у них являются кожистые перепонки, натянутые между пальцами передних конечностей и боками тела, а также задними конечностями и хвостом. Как и у птиц, у рукокрылых на груди есть киль, к которому крепятся мощные грудные мышцы, приводящие крылья в движение. Ведут сумеречный или ночной образ жизни, ориентируясь в воздушном пространстве с помощью эхолокации. В основном приносят пользу, поедая вредных насекомых.

На территории Беларуси обитают *ушан*, *рыжая вечерница*, *ночницы*, несколько видов *кожанов*. Днем они спят, уцепившись задними ногами и свесившись вниз головой на чердаках, в дуплах деревьев и других укромных местах, образуя порой огромные скопления. Самка рождает чаще всего одного голого и слепого детеныша. Он удерживается за шерсть матери цепкими коготками, не покидая ее и во время ночной охоты.

Некоторые виды летучих мышей на зиму впадают в глубокую спячку, другие (*вечерницы*) откочевывают в более южные районы.

В тропической части Южной Америки живут кровососущие рукокрылые — *вампиры*. В ночное время они острыми, как бритва, резцами срезают кусочки кожи у спящих теплокровных животных (и человека) и слизывают вытекающую кровь.

Отряд Грызуны — самый многочисленный отряд млекопитающих (около 2000 видов). Распространены повсеместно. У грызунов отсутствуют клыки и сильно развиты резцы (рис. 9.84). Резцы, а у многих и коренные зубы, не имеют корней и растут всю жизнь. Только передняя сторона резцов покрыта эмалью, поэтому больше стачивается их задняя сторона, и резцы постоянно остаются острыми. Между резцами и коренными зубами находится широкое пространство, лишенное зубов. Питаются грызуны в основном растительным кормом.

К отряду принадлежат *полевки*, *крысы*, *белки*, *суслики*, *сурки*, *бобры*, *хомяки*, *тушканчики*. Некоторые грызуны имеют промысловое значение из-за их ценного меха: *белка*, *ондатра*, *бобр*, *нутрия* и др. Многие виды грызунов (*мыши*, *полевки*, *крысы* и др.) являются вредителями сельскохозяйственных культур и переносчиками возбудителей ряда опасных заболеваний человека и домашних животных (чума, туляремия, клещевой возвратный тиф, энцефалиты и др.). Высокая плодовитость (более 5—10 детенышей в помете), быстрое достижение половой зрелости, размножение несколько раз в течение года поддерживают высокую численность грызунов. Поэтому в наиболее благоприятные по климатическим условиям годы их численность может резко возрастать. Такие всплески массового размножения грызунов в прежние времена называли «мышинными напастями».

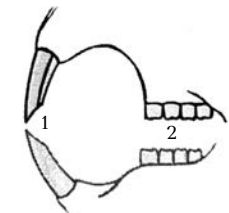
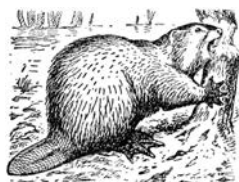


Рис. 9.84. Зубы грызунов:
1 — резцы; 2 — коренные



Речной бобр

Отряд Хищные включает животных, играющих важную роль в природе и хозяйственной деятельности человека. Основной особенностью хищников является питание живой добычей, поэтому они имеют особое строение зубов. Резцы хищников малы, клыки всегда сильно развиты, коренные бугорчатые зубы с острыми режущими вершинами (см. рис. 9.81). Клыками они убивают добычу, а коренными зубами перегрызают сухожилия и дробят кости. Ключицы отсутствуют. Кора больших полушарий с извилинами и бороздами.

К **семейству Псовые** принадлежат волки, шакалы, собаки, песцы, лисы и др. Это крупные и средние по размерам животные с вытянутой мордой, остроконечными ушными раковинами, длинными конечностями и пушистым хвостом. Жертву они обнаруживают по запаху и следам, долго преследуют ее.

Волк — один из самых крупных (до 50 кг) хищников на территории Беларуси. Это ловкий и сильный зверь, способный нападать на крупную жертву. При охоте на копытных волки объединяются в стаи из 5—12 особей. Каждая стая имеет свой участок, в пределах которого она передвигается и охотится.

Весной волчица приносит 4—6 слепых и беспомощных волчат. Осенью молодые волчата начинают вместе с родителями выходить на охоту, а зимой все волки собираются в стаи и ведут бродячий образ жизни в пределах своей территории.

При большой численности волки приносят вред, нападая на домашний скот. Численность волков как крупных хищников регулируется человеком.

К **семейству Кошачьи** принадлежат крупные и средние по размерам животные, являющиеся подстерегающими хищниками. Их тело стройное, гибкое, с округлой головой. Кошачьи обладают хорошо развитыми слухом и зрением. Находясь в засаде, они незаметно подкрадываются к добыче и, сделав короткий бросок, настигают ее. Бесшумно подкрадываться к жертве им позволяют развитые на нижней стороне пальцев подушечки и втяжные когти, которые при ходьбе не гудят и не стучат. К кошачьим относятся *тигр, лев, леопард, дикие и домашние кошки*. В лесах Беларуси встречается единственный представитель кошачьих — *рысь*, которая занесена в Красную книгу Республики Беларусь.

К **семейству Куны** принадлежат средние и мелкие по величине звери с гибким удлинённым телом и короткими ногами: *куницы, соболи, хорьки, ласки, горностаи, выдры*. Это активные хищники, обитающие в лесах и водоемах и охотящиеся, как правило, в сумеречное и ночное время. Объектами их охоты являются мышевидные грызуны, яйца и птенцы.

К **семейству Медвежьи** относятся крупные, массивные животные с большой головой и коротким хвостом. Из медвежьих в Беларуси охраняется *бурый медведь*, в Арктике — *белый медведь*.

Отряд Парнокопытные включает около 150 видов животных. К ним относятся млекопитающие с одинаково сильно развитыми третьим и четвертым пальцами, покрытыми у большинства видов роговыми копытами. Первый палец отсутствует, второй и пятый развиты слабо или отсутствуют. Зубной аппарат состоит из резцов, имеющих только на нижней челюсти, и коренных зубов с широкой жевательной поверхностью.

Различают жвачных (*олени, жирафы, быки*) и нежвачных (свинообразных) парнокопытных. Желудок жвачных состоит из четырех отделов: рубца, сетки, книжки и сычуга (рис. 9.85). В рубец попадает масса грубых, не измельченных зубами растительных кормов, где они сбраживаются под влиянием бактерий и инфузур. Из рубца пища переходит в сетку, откуда путем отрыгивания попадает снова в рот для повторного пережевывания. Смешанная со слюной полужидкая масса проглатывается и попадает в книжку, а оттуда в сычуг (настоящий желудок), где обрабатывается кислым желудочным соком, переваривающим белковую часть корма.

К этому отряду принадлежат все (кроме яка и буйвола) разводимые человеком породы рогатого скота, которые выведены от нескольких видов диких быков.



Волк



Рысь



Горностаи



Носорог

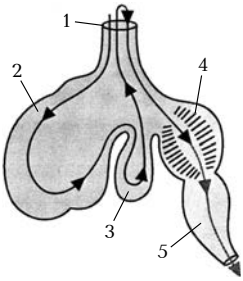


Рис. 9.85. Желудок жвачных: 1 — пищевод; 2 — рубец; 3 — сетка; 4 — книжка; 5 — сычуг

К нежвачным принадлежит *дикий кабан*. Он был родоначальником домашних свиней. Всеядность свиней, большая плодовитость и высокая скорость роста сделали выгодным их выращивание. Свиноводство — одна из самых развитых и перспективных отраслей животноводства нашей республики.

Отряд Непарнокопытные включает 16 видов. Это большей частью крупные животные — *лошади, носороги, ослы, зебры*. У непарнокопытных на ногах сильно развит один (третий) палец. Он расширен в копыто и имеет роговой покров.

Непарнокопытные имеют резцы на верхней и нижней челюстях, а также коренные зубы с широкой складчатой поверхностью, что позволяет им питаться растительной пищей.

До настоящего времени сохранился только один современный вид дикой лошади — лошадь Пржевальского, которая живет в зоопарках и заповеднике Аскания-Нова на Украине.

Лошадь была одомашнена намного позже других животных. Человек создал породы верховых, легко- и тяжелоупряжных лошадей. Кобылье молоко используется для изготовления вкусного и целебного напитка — кумыса. В степях Средней Азии до настоящего времени сохранился вид непарнокопытных, близкий к лошади, — *кулан*, занесенный в Красную книгу Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП).

Представители **отряда Ластоногие** (*моржи, тюлени, котики* и др.) большую часть жизни проводят в воде. На сушу или лед они выходят лишь для отдыха, размножения и линьки. Благодаря обтекаемой форме тела, укороченным или видоизмененным в ласты конечностям, а также большим подкожным жировым отложениям, ластоногие хорошо приспособлены к жизни в водной среде. Питаются они в основном рыбой.

Ластоногие дышат атмосферным воздухом, периодически (примерно через 10 мин) поднимаясь к поверхности воды.

Животные **отряда Китообразные** исключительно водные млекопитающие с рыбообразной формой тела и горизонтально расположенным хвостовым плавником. Передние конечности превращены в ласты, задние отсутствуют. Не имеют шерстного покрова и ушных раковин. Ноздри смещены на темя. Для смены воздуха китообразные поднимаются к поверхности воды. Подкожный слой жира мощный, достигает 50 см, поэтому удельная масса крупных китообразных примерно такая же, как и у морской воды. Зубатые киты (*дельфины, кашалоты*) имеют большое число зубов одинакового строения. Питаются рыбой. У беззубых усатых китов (*синий кит*) развит цедильный аппарат (китовый ус) в виде роговых пластин, расположенных по бокам нёба и свешивающихся в ротовую полость. Захватывая ртом воду, они через фильтр отсеивают планктонных беспозвоночных. Каждый сутки синий кит поедает примерно 4—5 т пищи.

Отряд Приматы включает более 200 видов наиболее высоко развитых животных, к которым относятся обезьяны, в том числе и человекообразные. Их головной мозг имеет относительно большие размеры, полушария переднего мозга с многочисленными извилинами.

Большинство приматов живет в тропических и субтропических лесах. В отличие от других древесных животных, у высших приматов нет когтей, они удерживаются на ветвях с помощью пяти длинных, хорошо развитых пальцев. Большой палец противопоставлен остальным. Это позволяет приматам прочно обхватывать ветку, брать пальцами мелкие предметы. Вместо когтей у них развиты плоские ногти. Конечности очень подвижны. С их помощью обезьяны ловко перемещаются по деревьям, по земле, схватывают пищу, чистятся. У ряда видов и хвост выполняет хватательную функцию.

У обезьян хороший слух и острое зрение. Глаза расположены не по бокам головы, а направлены вперед. Видение предмета одновременно двумя глазами (фронтальное зрение) дает возможность точно определить расстояние до него, что важно для обезьян при прыжках с ветки на ветку.



Моржи



Шимпанзе



Орангутан

Живут они стадами, семьями или парами, причем за детенышем, кроме матери, ухаживают и другие самки. У обезьян две млечные железы. Детеныш рождается зрячим, но неспособным к самостоятельному передвижению, поэтому мать носит детеныша на себе.

Поведение приматов сложное. Они обладают сообразительностью и хорошей памятью, у них быстрее, чем у других млекопитающих, вырабатываются условные рефлексы. Наиболее развитые приматы — представители семейства Человекообразные обезьяны (*гориллы, шимпанзе и орангутаны*). Они могут изготавливать простейшие орудия труда и пользоваться ими. Так, с помощью очищенного от листьев прутика они способны извлекать из узких щелей и ходов в коре насекомых и их личинок. Защищаясь, в качестве оружия могут использовать камни, комок земли, толстые ветки.

Мимика обезьян чрезвычайно разнообразна. Ею они выражают испуг, удивление, радость, озлобление, причем каждая особь тут же реагирует на движения, жесты, позы и крики сородичей.

Человек также относится к отряду Приматы. Наиболее близок он по строению к человекообразным обезьянам, особенно к шимпанзе. У человека и человекообразных обезьян одни и те же группы крови, сходные инфекционные заболевания.

Однако человек давно выделился из мира животных. Отличительной чертой человека является сознание и способность к абстрактному мышлению, возникшие на основе общественно-трудовой деятельности.

Значение млекопитающих в природе и жизни человека. Млекопитающие играют исключительно важную роль в природных биоценозах. Это определяется высоким уровнем процессов их жизнедеятельности, а также большой подвижностью. Млекопитающие — важные звенья цепей и сетей питания сообществ живых организмов. Многие звери, поедая семена и плоды, часть которых не переваривается, способствуют распространению этих растений. При заготовке белкой на зиму опавших желудей и орехов часть их теряется по дороге и таким образом переносится на достаточно далекие расстояния. Таким же способом полевки распространяют семена злаков. Роющие млекопитающие (землеройки, кроты), проделывая ходы в почве,рыхлят и обогащают ее кислородом. Помет зверей делает почву более плодородной. Насекомоядные млекопитающие, особенно кроты, ежи, летучие мыши, сдерживают рост численности насекомых. Эту же роль играют хищные млекопитающие, стабилизирующие численность своих жертв. Хищники выполняют санитарную функцию, нападая прежде всего на больных, травмированных, старых особей. Это способствует оздоровлению популяции жертвы.

Млекопитающие играют важную роль в жизни человека. Разводя коров, овец, свиней, кроликов, человек обеспечивает себя ценными продуктами питания — мясом, молоком, жиром. Непищевая продукция животноводства (кожа, шерсть, щетина) используется как сырье в различных отраслях хозяйства.

Велика роль в жизни человека и другой отрасли его хозяйственной деятельности — звероводства, направленного на разведение на зверофермах ценных пород зверей с целью получения пушнины и мяса. На пушных зверофермах нашей страны разводят серебристо-черных и платиновых лисиц, голубых песцов, норок различной окраски. В ряде звероводческих хозяйств ведется выращивание полуводного южноамериканского грызуна — нутрии, обладающего красивым буровато-коричневым мехом и вкусным мясом.

Некоторые виды млекопитающих приносят вред хозяйству человека. К ним относятся многие виды грызунов, поедающих и повреждающих культурные растения и различные виды сельскохозяйственной продукции. Они же являясь переносчиками ряда возбудителей опасных инфекционных заболеваний человека и домашних животных. Хищные млекопитающие (волки) нередко наносят ощутимый ущерб животноводству, нападая на домашний скот.

ГЛАВА 10

Организм человека

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

В изучении организма человека ведущая роль принадлежит таким наукам, как анатомия, физиология, психология и гигиена.

Анатомия человека — наука о строении человеческого тела, его органов и систем.

В анатомических исследованиях используются разнообразные методы: измерение различных органов и частей тела (антропометрический метод), микроскопическое изучение тканей (гистологический метод), рентгеноскопический и рентгенографический методы, ультразвуковое исследование и компьютерная томография (изучение послойного строения органов живого человека с помощью ультразвука и рентгеновских лучей), методы патолого-анатомического исследования и др.

Физиология человека — наука о функциях и процессах жизнедеятельности организма как единого целого, а также отдельных его органов и систем, механизмах их регуляции. Основными методами исследований являются наблюдение за физиологическими процессами с помощью специальных оптических приборов — эндоскопов, графическая регистрация биотоков головного мозга (электроэнцефалография), сердца (электрокардиография), радиографический (введение радиоактивных веществ и обнаружение с их помощью изменений функционирующих органов), биохимические и др.

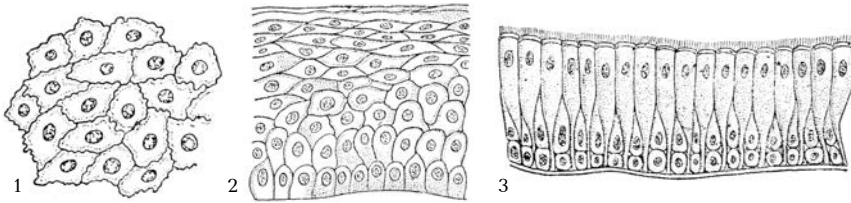
Психология — наука о поведении человека, о закономерностях и механизмах психических процессов, индивидуально-личностных свойствах человека. Методы психологии: наблюдение, анкетирование, эксперимент.

Гигиена — наука о влиянии условий жизни и труда на здоровье человека. Она разрабатывает меры профилактики заболеваний, обеспечения оптимальных условий сохранения здоровья и продления жизни человека. Используются физические, химические, физиологические и другие методы для гигиенической оценки окружающей человека среды, а также реакций организма на ее воздействие.

Ткани, их классификация. *Ткань* — совокупность клеток и межклеточного вещества, имеющих сходное строение, одинаковые выполняемые функции и общее происхождение. В организме человека представлены те же ткани, что и в организме других млекопитающих.

Выделяют четыре типа (группы) тканей: эпителиальные, мышечные, соединительные и нервная.

Эпителиальные (покровные) ткани образуют наружные покровы тела, выстилают полости внутренних органов, формируют железы. Поскольку эпителиальные ткани занимают пограничное положение в организме, особенностями их клеток являются плотное прилегание друг к другу с образованием сплошного пласта и способность к быстрой регенерации (восстановлению) естественно гибнущих клеток. Клетки железистого эпителия образуют дольки печени, слюнные, потовые, млечные и другие железы.



По форме строения клетки эпителиальных тканей могут быть плоскими, цилиндрическими, кубическими, а по количеству слоев эпителий бывает однослойным и многослойным (рис. 10.1). Так, однослойный плоский эпителий выстилает полость кровеносных сосудов, однослойный цилиндрический — полость желудка, кишечника, однослойный кубический образует стенки почечных канальцев; многослойный плоский ороговевающий эпителий — поверхностный слой кожи (эпидермис), многослойный цилиндрический выстилает внутреннюю поверхность воздухоносных путей (носовую полость, трахею, бронхи).

Функциями разных видов эпителиальных тканей являются защитная и секреторная.

Мышечные ткани состоят из клеток, обладающих свойствами возбудимости (способностью отвечать на раздражение) и сократимости (способностью укорачиваться или удлиняться). Различают три вида мышечной ткани: поперечно-полосатую (скелетную), гладкую и сердечную (рис. 10.2).

Поперечно-полосатая мышечная ткань состоит из длинных (до 10—12 см) волоконоподобных многоядерных клеток. При рассмотрении под микроскопом клетка имеет поперечную исчерченность за счет чередования светлых и темных дисков, находящихся в тончайших продольных сократительных нитях — миофибриллах. В каждой мышечной клетке их находится около 1000. Миофибрилла образована двумя видами параллельно расположенных продольных белковых нитей, способных скользить друг относительно друга, вызывая укорочение (сокращение) или удлинение (расслабление) мышечного волокна (рис. 10.2, а).

Особенностями поперечно-полосатой мышечной ткани являются произвольность и быстрота сокращений, большая сила, значительные затраты энергии и кислорода, быстрая утомляемость, а следовательно, необходимость в отдыхе.

Из поперечно-полосатой мышечной ткани образованы скелетная мускулатура, язык, мышцы рта, глотки, гортани, верхней части пищевода, диафрагма, мимические мышцы.

Гладкая мышечная ткань (рис. 10.2, б) образована мелкими (от 20 мкм до 1 мм длиной) веретеновидными, одноядерными клетками. Содержащиеся в них миофибриллы не имеют поперечной исчерченности.

Для гладкой мышечной ткани характерны произвольность сокращений, небольшая сила и скорость, способность к длительному тоническому сокращению, слабая утомляемость.

Гладкая мышечная ткань входит в состав стенок кровеносных и лимфатических сосудов и полых внутренних органов (желудка, кишечника, мочевого пузыря, матки и др.).

Сердечная мышечная ткань (рис. 10.2, в) состоит из одноядерных клеток, имеющих поперечно-полосатую исчерченность и отросток, соединяющийся с другой клеткой. Благодаря такому строению сердечная ткань имеет сетевую структуру. Между клетками существуют специальные щелевые контакты,

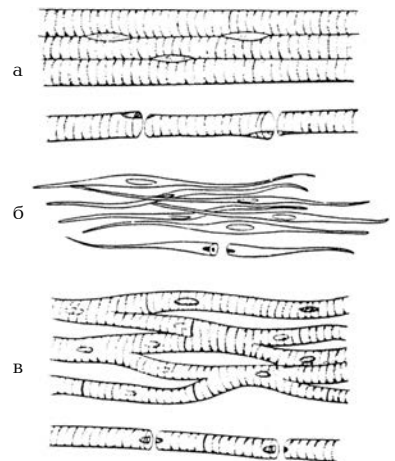


Рис. 10.2. Схема типов мышечной ткани: а — поперечно-полосатые мышечные волокна; б — гладкомышечные клетки; в — сетевидные волокна сердечной мышцы

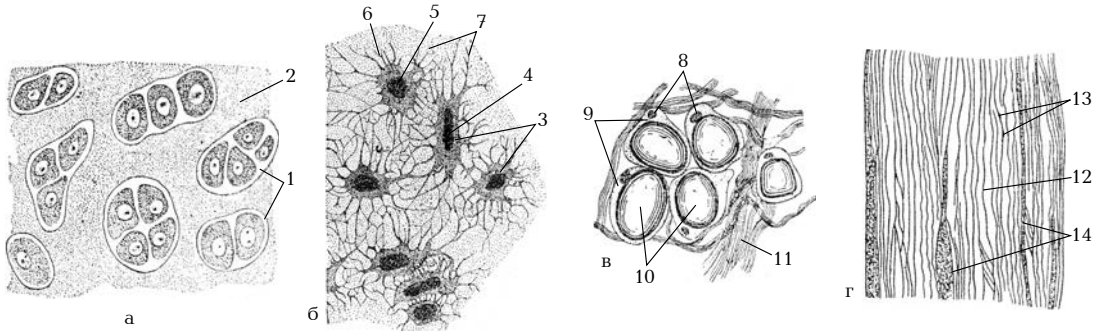


Рис. 10.3. Виды соединительной ткани: а — хрящевая ткань: 1 — группы хрящевых клеток; 2 — межклеточное вещество; 3 — костная ткань: 4 — ядро; 5 — цитоплазма; 6 — отростки; 7 — межклеточное вещество; в — жировая ткань: 8 — ядра; 9 — цитоплазма; 10 — скопления жира в клетках; 11 — соединительнотканное волокно вокруг клеток; г — плотная волокнистая соединительная ткань: 12 — волокна; 13 — клетки; 14 — прослойка рыхлой соединительной ткани

обеспечивающие быструю передачу возбуждения от одной клетки к другой, благодаря чему происходит одновременное сокращение, а затем расслабление всей мышечной массы сердца. Клетки сердечной ткани имеют две разновидности: одни обеспечивают сокращение сердца, а другие — проведение нервных импульсов внутри сердца. Таким образом, сердечная мышечная ткань в отличие от поперечно-полосатой и гладкой обладает еще и свойством проводимости.

Мышечная ткань сердца по строению напоминает поперечно-полосатую, а по функциям — гладкую (сокращается непроизвольно) и способна к автоматии.

Функция мышечной ткани — двигательная.

Соединительные ткани образованы рыхло расположенными клетками, между которыми находится хорошо выраженное межклеточное вещество, состоящее из основного вещества и волокон (рис. 10.3). Основное вещество имеет коллоидную консистенцию и служит для транспорта различных веществ между клетками и кровью. Волокна межклеточного вещества образованы прочными коллагеновыми и эластическими нитевидными белками. Во всех типах соединительной ткани преобладает межклеточное вещество. Каждый вид соединительной ткани имеет свои характерные особенности организации межклеточного вещества, благодаря которым они различаются по строению и функциям.

Из соединительной ткани образуются костные и хрящевые элементы скелета, сухожилия, связки, рыхлая волокнистая и жировая ткани, кровь, лимфа, дерма кожи.

Функциями соединительной ткани являются опорная (механическая), защитная (фагоцитоз и выработка иммунитета), транспортная, кроветворная.

Нервная ткань образована нервными клетками — нейронами, обладающими свойствами возбудимости и проводимости, и расположенными между ними клетками нейроглии. В нейроне различают четыре элемента: тело, дендриты, аксон и аксонные окончания (терминали) (рис. 10.4). В теле нейрона расположены все органоиды клетки и происходят процессы, свойственные любой клетке. При разрушении тела нейрона все остальные ее элементы отмирают. **Дендриты** — короткие и ветвящиеся отростки нейрона. Их функция — восприятие нервного импульса и проведение его к телу нейрона. **Аксон** — длинный, как правило, неразветвленный отросток нейрона, покрытый белой миелиновой оболочкой, выполняющей изоляционную функцию. Функция аксона — проведение нервного импульса от тела к концу аксона до терминали. **Аксонное окончание (терминаль)** представляет собой концевое расширение аксона, функцией которого является передача нервного импульса на дендриты другого нейрона, мышечную или железистую клетки. Передача нервного импульса осуществляется в межклеточном контакте — **синапсе** (рис. 10.5). Он образован двумя мембранами и щелью между ними. Одна

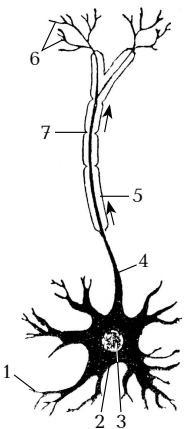


Рис. 10.4. Строение нейрона: 1 — дендриты; 2 — тело клетки; 3 — ядро; 4 — аксон; 5 — миелиновая оболочка; 6 — ветви аксона; 7 — перехват

из мембран (пресинаптическая) принадлежит терминали, другая (постсинаптическая) является мембраной клетки, воспринимающей нервный импульс. Нервный импульс (сигнал) передается от терминали в виде выделяемых ею в межмембранную щель химических веществ (нейромедиаторов) — ацетилхолина или норадреналина. Нейромедиаторы встраиваются в постсинаптическую мембрану принимающей нервный импульс клетки, вызывая ее возбуждение.

Скопления тел и дендритов нейронов образуют *серое вещество* головного и спинного мозга (ЦНС), а также *нервные узлы (ганглии)*, лежащие вне центральной нервной системы, и *нервные центры*, расположенные в самом сером веществе ЦНС. Совокупность аксонов (волокон) формирует *белое вещество* мозга и *нервы*. *Нерв* представляет собой тяж нервной ткани, образованный совокупностью (свыше 100) параллельно расположенных аксонов (волокон) и тонких кровеносных сосудов, покрытых общей соединительнотканной оболочкой (принцип устройства электрического кабеля).

Выделяют три вида нейронов. *Чувствительные (афферентные)* начинаются от рецепторов, воспринимающих различные раздражители и преобразующих их действие в форму нервного импульса. Воспринимаемый от рецепторов нервный импульс по чувствительным нейронам передается в ЦНС, поэтому они еще называются *центростремительными*. *Двигательные (эфферентные) нейроны* заканчиваются нервными окончаниями в органах, отвечающих на раздражение (эффекторах). Поскольку они проводят нервный импульс от ЦНС на периферию, их называют еще *центробежными*. Третий вид нейронов — *вставочные*. Они расположены только в пределах ЦНС и передают нервные импульсы от одной нервной клетки к другой.

Нервная ткань погружена в нейроглию. К функциям клеток нейроглии относятся опорная, доставка питательных веществ, изоляция аксонов миелиновой оболочкой, фагоцитарная.

Понятие о гомеостазе. Организм человека, как и любой другой организм, представляет собой систему, которая, с одной стороны, тесно связана с внешней средой, а с другой — резко обособлена от нее. Каждый организм имеет свою *внутреннюю среду*, значительно отличающуюся от внешней. Характерная особенность внутренней среды — ее динамическое постоянство, которое является обязательным условием выживания организма.

У человека выработались специальные физиологические механизмы, которые направлены на поддержание постоянства характеристик внутренней среды организма независимо от действия разной интенсивности факторов внешней среды. В этом механизме принимают объединенное участие все системы органов.

Приведем пример функционального механизма поддержания постоянства температуры тела. Так, при низкой температуре воздуха в организме увеличивается выработка тепла и одновременно уменьшается его отдача во внешнюю среду. Температура тела остается постоянной, что обеспечивает нормальное протекание всех процессов в организме. При высокой температуре воздуха происходят противоположные процессы: уменьшается теплопродукция и увеличивается теплоотдача. Температура тела и в этом случае остается постоянной. И в первом, и во втором случаях для поддержания постоянства температуры тела совместно и согласованно участвуют кровеносная, пищеварительная, дыхательная, нервная и другие системы органов человека.

Эта способность организма поддерживать постоянство своей внутренней среды называется *гомеостазом* (гр. *homoios* — подобный, *stasis* — неподвижность, состояние). Несмотря на участие всех систем органов в обеспечении гомеостаза, регуляторная функция осуществляется согласованной работой нервной и эндокринной систем.

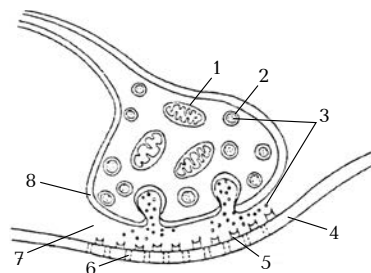


Рис. 10.5. Строение синапса: 1 — митохондрия; 2 — синаптический пузырек; 3 — молекулы медиатора; 4 — постсинаптическая мембрана; 5 — макромолекула-рецептор; 6 — ионный канал; 7 — синаптическая щель; 8 — пресинаптическая мембрана

РЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИЙ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Организм человека — единое целое. Благодаря согласованной деятельности всех органов, организм человека представляет собой единое целое. Он может приспосабливаться к меняющимся условиям окружающей среды. Процесс координации деятельности органов и систем органов человека называется *регуляцией*. Она осуществляется нервными и гуморальными механизмами.

Быстрые и локальные реакции организма осуществляются механизмом *нервной регуляции*, достигая высокого совершенства при необходимости быстрого ответа на изменения в окружающей среде. Вместе с тем существует и другая, более древняя форма регуляции функций организма — *гуморальная*.

Гуморальная регуляция (лат. *humor* — влага, жидкость) осуществляется действием на клетки организма биологически активных веществ — *гормонов*, вырабатываемых железами внутренней секреции (эндокринными железами) и поступающих в кровь. Доставка химических веществ ко всем органам осуществляется значительно медленнее, чем проводится нервный импульс по нейронам. Как правило, гуморальной регуляции подвергаются медленно и длительно протекающие процессы, например рост тела, половое созревание, обмен веществ, секреция пищеварительных соков и др.

Эндокринными железами (железами внутренней секреции) называются секреторные железы, не имеющие выводных протоков и выделяющие вырабатываемые ими физиологически активные органические вещества (*гормоны*) непосредственно в тканевую жидкость, а из нее в кровь или лимфу, т.е. во внутреннюю среду организма. Они невелики по размерам и богаты кровеносными сосудами. По химической природе гормоны являются белками и пептидами (инсулин, глюкагон, окситоцин, вазопрессин, гормон роста), стероидами (половые и гормоны надпочечников), производными аминокислот (тироксин, адреналин). Гормоны обладают высокой физиологической активностью (действуют в малой дозе), специфичностью действия (влияют на определенный вид обменных процессов), избирательностью (циркулируя в кровеносном русле всего организма, они действуют только на те клетки органов и тканей, которые имеют специальные рецепторы для восприятия данного вида гормона), дистантным воздействием (влияют на жизнедеятельность клеток, расположенных вдали от места образования гормона). Гормоны сравнительно быстро разрушаются, поэтому необходимо постоянное поступление в организм и поддержание их содержания в крови на определенном уровне. При избыточной секреции гормона железой (гиперфункции) или сниженной против нормы (гипофункции) развиваются эндокринные заболевания.

Рассмотрим главные железы внутренней секреции человека и действие вырабатываемых ими гормонов (см. рис. 6.5).

Щитовидная железа расположена в области передней стенки гортани; имеет массу 25—40 г. Вырабатывает йодсодержащие гормоны — тироксин и трийодтиронин. Они оказывают воздействие на процессы обмена веществ: увеличивают использование жиров и углеводов, повышают расход энергии, усиливают процессы кровообращения и дыхания. Все это способствует росту и развитию организма.

При гипофункции щитовидной железы развивается *микседема*, а в детском возрасте добавляется замедление роста организма, нарушение пропорций тела, задержка полового созревания, отставание психического развития, в наиболее тяжелых случаях развивается *кретинизм*.

При избыточной функции щитовидной железы, приводящей к усиленному образованию гормонов, развивается *базедова болезнь*. Ее признаками



являются увеличение массы железы, пучеглазие, учащенное сердцебиение, исхудание, повышенная возбудимость нервной системы.

Нарушения функций щитовидной железы могут возникать в результате недостатка в питьевой воде йода, необходимого для синтеза гормонов. Увеличение размеров железы (*зоб*) является характерным признаком нарушения деятельности щитовидной железы. Для профилактики заболеваний в местностях с дефицитом содержания йода в почве и воде добавляют йодид калия к поваренной соли, молоку.

Надпочечники — парные железы массой около 12 г, расположенные у верхнего полюса почек. Имеют наружный — *корковый* и внутренний — *мозговой слой*, вырабатывающие разные гормоны.

В корковом слое образуются гормоны, регулирующие углеводный, белковый и водно-солевой обмен. В этом слое в небольшом количестве вырабатываются и половые гормоны противоположного пола, влияющие на развитие вторичных половых признаков. При гипофункции коркового слоя надпочечников развивается *бронзовая (аддисонова) болезнь*: кожа больных приобретает бронзовый оттенок, они худеют, снижается содержание сахара в крови, падает кровяное давление, развиваются слабость и быстрая утомляемость.

Клетки мозгового слоя надпочечников вырабатывают и выделяют *адреналин*. Он ускоряет кровоток, учащает сокращения сердца, расширяет сосуды сердца и мозга, расширяет просвет бронхов, увеличивая глубину дыхания; повышает распад гликогена в печени и вывод глюкозы в кровь, усиливает сокращение мышц, снижает степень утомляемости. Это ведет к мобилизации всех ресурсов организма для выполнения тяжелой работы, а также реакций организма в стрессовых ситуациях. Активная выработка адреналина сопровождается всякое физическое усилие, особенно если оно связано с нервным возбуждением.

Поджелудочная железа является железой смешанной секреции, так как большая часть ее клеток участвует в образовании поджелудочного сока, содержащего ферменты, необходимые для переваривания пищи, и выделяемого по протоку в двенадцатиперстную кишку. Другие же клетки, собранные в многочисленные *островки*, представляют собой эндокринную часть железы. Они вырабатывают гормоны, поступающие непосредственно в кровь.

Один тип островковых клеток (β -клетки) вырабатывает гормон *инсулин*, под действием которого облегчается поступление основного источника энергии клетки — глюкозы из крови в нервную ткань, во все виды мышечной ткани, а избыток глюкозы откладывается в печени в виде гликогена. Таким образом, инсулин оказывает противоположное адреналину действие в поддержании уровня сахара в крови.

Другой тип островковых клеток (α -клетки) вырабатывает гормон *глюкагон*. Под его влиянием гликоген расщепляется до глюкозы, что повышает ее уровень в крови.

Совместное согласованное действие указанных гормонов трех видов у здорового организма человека приводит к поддержанию уровня сахара в крови до величин физиологической нормы.

При гипофункции поджелудочной железы, сопровождающейся снижением выработки инсулина, большая часть поступающей в организм глюкозы не используется клетками и выводится из организма с мочой. Это приводит к развитию одного из самых распространенных эндокринных заболеваний человека — *сахарного диабета*. Его признаками являются повышенное содержание сахара в крови, постоянное чувство голода, неутолимая жажда, обильное выделение мочи и нарастающее исхудание.

Половые железы также являются железами смешанной секреции. Гормоны половых желез наиболее активно вырабатываются начиная с периода поло-

Железы смешанной секреции

Поджелудочная:

- поджелудочный сок (амилаза, мальтаза, трипсин, химотрипсин, липаза);
- инсулин;
- глюкагон

Половые:

- половые клетки;
- андрогены (тестостерон);
- эстрогены (эстрадиол, эстрадион);
- прогестерон (желтое тело)

вого созревания. Они определяют развитие вторичных половых признаков, репродуктивные возможности организма, обеспечивают оплодотворение, развитие зародыша и роды.

Эндокринные клетки яичка вырабатывают *тестостерон*; клетки яичника — женские гормоны — *эстрогены*, желтое тело — *прогестерон*.

Гипофиз — нижний придаток головного мозга. Он имеет массу 0,5—0,7 г и подразделен на три доли: переднюю, среднюю и заднюю, вырабатывающие разные гормоны.

Клетки *передней* доли секретируют следующие гормоны: *соматотропин* — гормон роста; *адренокортикотропин* — усиливает синтез гормонов коры надпочечников; *тиреотропин* — стимулирует функцию щитовидной железы; гонадотропные — *фолликулостимулирующий* (влияет на рост и созревание половых клеток), *лютеинизирующий* (усиливает образование половых гормонов и рост желтого тела), *пролактин* — стимулирует выработку грудного молока. При недостатке гормона роста в детском возрасте развивается *карликовость*, а при избытке — *гигантизм*.

Задняя доля гипофиза в отличие от передней и средней долей образована нервной тканью. Она выделяет *вазопрессин* — повышает тонус гладкой мускулатуры артериол; увеличивает артериальное давление; усиливает обратное всасывание воды в канальцах почек, снижая диурез; *окситоцин* — усиливает сокращения гладкой мускулатуры матки, ускоряя роды; стимулирует отделение молока. Оба гормона задней доли гипофиза секретируются клетками гипоталамуса и поступают в гипофиз, который их и выделяет в кровь.

Таким образом, гипофиз с помощью тропных гормонов, вырабатываемых клетками передней доли, оказывает регулирующее воздействие на активность большинства эндокринных желез.

В гипоталамусе синтезируются гормоны вазопрессин и окситоцин, которые выделяются задней долей гипофиза

НЕРВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Значение нервной системы. Важнейшие функции, выполняемые нервной системой:

1. Осуществление *связи организма с внешней средой*, обеспечивающей его выживание. Для этого необходимо распознать объекты внешнего мира и оценить их значимость для организма. Это осуществляется нервной системой с помощью вынесенных на периферию органов чувств.

2. *Согласование и регуляция работы всех систем органов.* Для удовлетворения своих потребностей организму приходится проявлять активность. Для этого в деятельное функционирование вовлекаются многие системы органов. Так, например, при бегстве от опасности интенсивно и согласованно работают мышечная, дыхательная, кровеносная, выделительная системы, обеспечивая повышенные потребности клеток мышечной ткани в энергии, кислороде, удалении из них продуктов обмена веществ. Подобно дирижеру оркестра, нервная система определяет порядок сокращения отдельных мышц, управляет силой мышечного напряжения и т. д.

3. Обеспечение *постоянства внутренней среды организма — гомеостаза.* Внешние и внутренние рецепторы, расположенные в различных органах, осуществляют непрерывный контроль за уровнем жизненно важных параметров: температурой тела, газовым составом, кислотно-щелочным равновесием крови и др. При отклонении показателей от уровня физиологической нормы нервная система включает необходимые коррекционные механизмы.

4. Осуществление *психической деятельности* человека, его сознания, мышления, интеллекта, речи, поведения. Именно особенностями психической деятельности организм человека отличается от животного. Реализация этой функции полностью определяется особой организацией важнейшей структуры нервной системы — коры головного мозга.

Общие принципы организации нервной системы. По структурной организации нервная система подразделяется на *центральную нервную систему (ЦНС)*, включающую головной и спинной мозг, и *периферическую*, представленную нервами, нервными узлами, нервными окончаниями.

По функциональным признакам нервная система подразделяется на *соматическую (СНС)* — иннервирует кожу, скелетные мышцы и *вегетативную (ВНС)* — иннервирует гладкую мускулатуру внутренних органов, железы, а также стимулирует работу скелетных мышц. Деятельность вегетативной нервной системы не подчинена воле человека, чем объясняется и ее другое название — *автономная*.

Рефлекс и рефлекторная дуга. Основным видом деятельности нервной системы является **рефлекс** (лат. *reflexus* — отражение) — ответная реакция организма на раздражение рецепторов при участии центральной нервной системы. Путь, по которому нервный импульс (возбуждение) передается от рецептора к исполнительному органу (эффектору), называется *рефлекторной дугой* (рис. 10.6). Она включает пять звеньев:

- рецептор — воспринимает раздражитель и преобразует его действие в нервный импульс;
- центrostремительный нейрон (афферентный, чувствительный) — проводит нервный импульс от рецептора в ЦНС;
- вставочный нейрон — передает нервный импульс от нейрона к нейрону (от центrostремительного к центробежному, находится весь в ЦНС);
- центробежный нейрон (эфферентный, двигательный) — передает нервный импульс из ЦНС исполнительному (рабочему) органу;
- эффектор (исполнительный орган) — отвечает на раздражение.

Рефлекторные реакции самые разнообразные. Например, у человека при выходе из темной в освещенную комнату сужается зрачок глаза — *зрачковый рефлекс*. Например, при уколе иголкой боярышника происходит отдергивание руки — *защитный двигательный рефлекс*. При попадании пищи в ротовую полость и на язык выделяется слюна — *слюноотделительный рефлекс*.

Рецепторы, воспринимающие раздражения, подразделяются на внешние и внутренние. *Внешние рецепторы* находятся вблизи поверхности тела (в коже, языке, слизистой оболочке ротовой, носовой полостей и др.). *Внутренние рецепторы* расположены во внутренних органах, в сосудах, мышцах, сухожилиях, связках. Они воспринимают сигналы о состоянии и деятельности органов и изменениях, происходящих во внутренней среде организма.

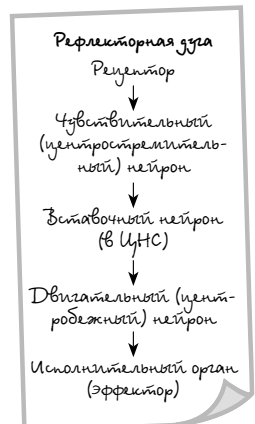
Обязательным условием для осуществления любого рефлекса является целостность всех частей рефлекторной дуги.

Строение и функции отделов центральной нервной системы. ЦНС представлена спинным и головным мозгом. Ее функциями являются:

- переработка сигналов, поступающих по чувствительным (афферентным) нейронам в ЦНС от органов чувств;
- управление деятельностью органов при помощи двигательных (эфферентных) нейронов.



Рис. 10.6. Сложная рефлекторная дуга сгибательного рефлекса: 1 — рецептор; 2 — чувствительный нейрон; 3 — спинной мозг; 4 — вставочный нейрон; 5 — двигательный нейрон; 6 — мышца



Таким образом, ЦНС воспринимает входящую информацию из внешней среды и от самого организма, обобщает (обрабатывает) ее и определяет ответную реакцию.

Строение и функции спинного мозга. Это белый снаружи тяж, лежащий в позвоночном канале и заканчивающийся на уровне второго поясничного позвонка. По длине спинной мозг достигает 45 см у взрослого человека, толщиной примерно 1 см. Соответственно делению позвоночника на позвонки в спинном мозге выделяют определенные *сегменты* (шейные, грудные и др.), общее число которых составляет 31.

Спинной мозг покрыт тремя оболочками: *твердой* (наружной), представляющей собой плотный защитный соединительнотканый чехол, выстилающий позвоночный канал; *паутинной* (средней), имеющей вид сети, и *сосудистой* (внутренней), пронизанной кровеносными сосудами, питающей мозг и срастающейся с поверхностью мозга. Пространство между средней и внутренней оболочками заполнено спинномозговой жидкостью, предохраняющей спинной мозг от толчков и сотрясений, а также обеспечивающей нервные клетки питательными веществами, удаление из них продуктов обмена и участие в поддержании внутричерепного давления.

На поперечном разрезе (рис. 10.7) видно, что спинной мозг разделен передней и задней бороздами на левую и правую части. Узкий центральный канал, заполненный спинномозговой жидкостью, окружен *серым веществом*, имеющим форму бабочки. Вокруг серого вещества расположено *белое вещество*, представленное совокупностью аксонов, формирующих *проводящие пути*. По *восходящим проводящим путям* нервные импульсы проводятся в головной мозг, по *нисходящим проводящим* — в обратном направлении. По этим путям осуществляется связь между различными сегментами спинного и отделами головного мозга.

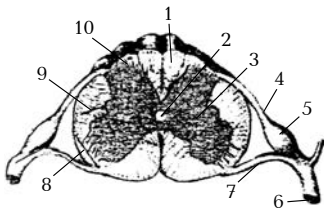


Рис. 10.7. Строение сегмента спинного мозга: 1 — белое вещество; 2 — центральный канал; 3 — серое вещество; 4 — задний корешок; 5 — спинномозговой ганглий; 6 — спинномозговой нерв; 7 — передний корешок; 8 — передние рога; 9 — боковые рога; 10 — задние рога

В сером веществе различают передние и задние рога. *Передние рога* сформированы телами и дендритами двигательных (центробежных) нейронов, волокна (аксоны) которых образуют *передние корешки*. Тела и дендриты вставочных нейронов, осуществляющие связь между чувствительными и двигательными нейронами, образуют *задние рога серого вещества*. *Задние корешки* образуют волокна (аксоны) чувствительных нейронов, а их тела формируют левый и правый спинномозговые ганглии (узлы). Через задние, или чувствительные, корешки нервный импульс передается с периферии в спинной мозг, а через передние, или двигательные, — от спинного мозга к мышцам или другим исполнительным органам.

За пределами позвоночного канала передние и задние корешки каждого сегмента спинного мозга объединяются (вместе с нервными волокнами вегетативной нервной системы) и образуют 31 пару (в соответствии с числом сегментов спинного мозга) *смешанных спинномозговых нервов*, отходящих справа и слева от каждого сегмента. В сером веществе грудно-поясничных сегментов спинного мозга расположены *вегетативные ядра* симпатического отдела вегетативной нервной системы, которые образуют *боковые рога*.

Основную массу белого вещества спинного мозга образуют *проводящие пути*, по которым осуществляется связь между различными отделами ЦНС.

Спинной мозг выполняет две функции: *рефлекторную* и *проводниковую*.

Через серое вещество спинного мозга проходят *дуги безусловных* (врожденных) *рефлексов*, регулирующих работу внутренних органов, просвет сосудов, мочеиспускание, половую функцию, сокращение диафрагмы, дефекацию, потоотделение и управление скелетной мускулатурой. При этом двигательный нейрон каждого из 31 пары смешанных спинномозговых нервов иннервирует строго определенные участки кожи и скелетных мышц.

При разрыве спинного мозга выше дуги безусловного рефлекса данный рефлекс не испытывает регулирующего действия головного мозга и ответная реакция нарушается или вовсе исчезает.

Проводниковая функция заключается в том, что по *восходящим проводящим путям* информация из серого вещества спинного мозга, поступившая в него от чувствительных нейронов, проводится в головной мозг. От двигательных центров головного мозга импульсы по *нисходящим проводящим путям* поступают в разные сегменты спинного мозга и оттуда по спинномозговым нервам — к соответствующим органам. Благодаря проводниковой функции все рефлексы находятся под контролем головного мозга. При повреждении проводящих путей спинного мозга наступает *паралич* — утрата способности к произвольным движениям органов тела, расположенных ниже места повреждения.

Головной мозг, строение и функции. Головной мозг расположен в полости мозгового отдела черепа. У взрослого человека его масса составляет от 1100 до 2000 г (в среднем 1500 г). Он покрыт такими же оболочками, как и спинной мозг.

В составе головного мозга выделяют пять отделов мозга: продолговатый, задний (мост и мозжечок), средний и передний (промежуточный мозг и большие полушария) (рис. 10.8).

В головном мозге имеются четыре расширенные полости (мозговые желудочки), соединенные друг с другом и заполненные спинномозговой жидкостью: желудочки I и II называются боковыми и расположены в левом и правом полушариях, желудочек III находится в промежуточном мозге, IV — в продолговатом мозге. Полости III и IV желудочков соединены в области среднего мозга узким каналом, называемым водопроводом. Полость IV желудочка соединена со спинномозговым каналом.

Ствол головного мозга образуют все отделы головного мозга, кроме больших полушарий и мозжечка. В стволе расположены ядра черепных нервов, связывающих мозг с органами чувств, мышцами и некоторыми железами.

От ядер головного мозга отходят 12 пар *черепно-мозговых нервов*, иннервирующих органы чувств, расположенные на голове, мышцы головы, шеи, органы грудной и брюшной полости.

Продолговатый мозг является непосредственным продолжением спинного мозга; вверху граничит с мостом. Белое вещество находится снаружи, серое — внутри белого и образует в нем многочисленные *ядра (центры)*, управляющие многими жизненно важными функциями.

Функциями продолговатого мозга являются:

- *проводниковая* — через него проводятся импульсы от спинного мозга в вышестоящие отделы головного мозга (восходящие проводящие пути) и в обратном направлении (нисходящие проводящие пути);
- *рефлекторная* — расположены центры регуляции дыхания (центры вдоха и выдоха), сердечно-сосудистой деятельности, пищеварения (отделения пищеварительных соков, сосания, глотания), защитных рефлексов (рвота, чихание, кашель, моргание).

Разрушение продолговатого мозга приводит к смерти.

Задний мозг состоит из *моста (варолиев мост)* и *мозжечка*.

Мост находится между продолговатым и средним, связывая их проводящими путями. С участием черепно-мозговых ядер моста осуществляются движения глазных яблок, сокращения мимических мышц лица.

Мозжечок находится над продолговатым мозгом и мостом и состоит из *двух полушарий*, соединенных в срединной области *червем*. Полушария покрыты слоем (1—2,5 мм) серого вещества — *корой*, имеющей поперечные

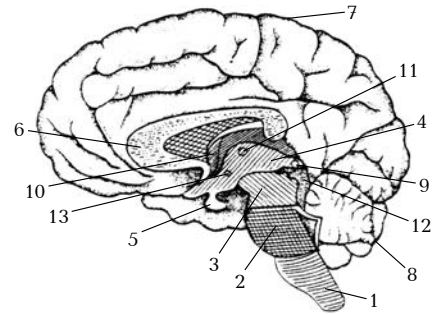


Рис. 10.8. Продольный разрез головного мозга человека: 1 — продолговатый мозг; 2 — варолиев мост; 3 — средний мозг; 4 — промежуточный мозг; 5 — гипофиз; 6 — мозолистое тело; 7 — правое полушарие; 8 — полушарие мозжечка; 9 — эпителиум; 10 — свод мозга; 11 — таламус; 12 — четверохолмие; 13 — гипоталамус

борозды, увеличивающие ее поверхность. Белое вещество расположено под корой. Функции мозжечка: координация движений, равновесия, позы тела, поддержание мышечного тонуса.

Средний мозг — наименьший из отделов головного мозга. Расположен над мостом между промежуточным мозгом и мозжечком. Представлен *четверохолмием* (по паре верхних и нижних бугров) и *ножками мозга*.

Функциями среднего мозга являются *проводниковая* (через ножки мозга) и *рефлекторная*: обеспечение мышечного тонуса, ориентировочных рефлексов на свет (верхние бугры четверохолмия) и звук (нижние бугры), выражаемых в движениях глаз и поворотах головы.

Промежуточный мозг расположен над средним мозгом и под большими полушариями. Состоит из центральной части — *таламуса* (зрительных бугров) и *гипоталамуса* (подбугровой области). У основания гипоталамуса расположен *гипофиз*.

Через *таламус* в кору больших полушарий поступает вся информация от органов чувств, происходит подкорковый анализ всех видов ощущений (кроме обонятельных). В нем находятся центры регуляции сна и бодрствования, эмоциональных реакций (агрессии, удовольствия, страха). При повреждении таламуса меняется характер ощущений: незначительное прикосновение к коже, звук или свет вызывают приступы сильных болей либо человек не чувствует боли.

В *гипоталамусе* расположены центры регуляции всех видов обмена (углеводного, белкового, жирового, водного, солевого), центры жажды, насыщения и голода, поддержания параметров внутренней среды организма, центр терморегуляции. Здесь же находятся высшие центры регуляции деятельности вегетативной нервной системы, осуществляющие ее через выделяемые нейrogормоны, поступающие в гипофиз и регулирующие его деятельность, а через тропные гормоны гипофиза — деятельность других желез внутренней секреции.

При повреждении гипоталамуса нарушаются многие функции организма: может развиваться неумеренный аппетит («волчий аппетит») либо его потеря, исхудание и другие отклонения.

Во всех структурах ствола мозга расположена *ретикулярная формация* — диффузная сеть вставочных нейронов. Она играет важную роль как в интеграции чувствительной (сенсорной) информации, так и в контроле над деятельностью всех эффекторных нейронов (моторных и вегетативных). Она имеет также первостепенное значение для активации коры больших полушарий, для поддержания сознания.

Большие полушария головного мозга составляют до 80 % массы головного мозга (рис. 10.9). Глубокой продольной бороздой они разделены на *правое* и *левое полушария*. Полушария соединены толстой поперечной пластинкой — *мозолистым телом*, которое образовано нервными волокнами, идущими из одного полушария в другое. Три наиболее глубокие борозды — *центральная*, *теменно-затылочная* и *боковая* — делят каждое полушарие на четыре доли: лобную, теменную, височную и затылочную. Каждая доля мозга, в свою очередь, имеет борозды и ряд извилин. Снаружи полушария лежит слой серого вещества — *коры*,

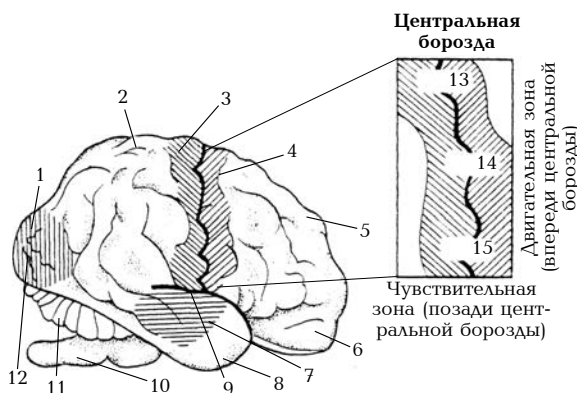


Рис. 10.9. Большое полушарие головного мозга человека (вид сбоку): 1 — зрительная зона; 2 — теменная доля; 3 — кожно-чувствительная зона; 4 — мышечные движения; 5 — лобная доля; 6 — зона обоняния; 7 — слуховая зона; 8 — височная доля; 9 — боковая борозда; 10 — продолговатый мозг; 11 — мозжечок; 12 — затылочная доля; 13 — нога; 14 — рука; 15 — лицо

внутри расположено *белое вещество*, в котором находятся *подкорковые ядра*. Подкорковые ядра — наиболее древняя часть мозга, управляющая бессознательными автоматическими действиями (инстинктивное поведение). Волокна белого вещества связывают симметричные участки обоих полушарий, участки в пределах одного полушария, большие полушария с нижележащими отделами головного и спинного мозга.

Кора имеет толщину 1,3—4,5 мм. Благодаря наличию в ней складок, борозд, извилин общая площадь коры взрослого человека достигает 2000—2500 см² (в бороздах скрыто 2/3 площади коры). Кора состоит из 12—18 млрд тел нейронов, расположенных в шесть рядов.

В коре имеются специализированные участки — *зоны*, характеризующиеся единообразием строения и выполняемых функций. Выделяют три вида зон коры: сенсорные (чувствительные), моторные (двигательные) и ассоциативные (рис. 10.10).

Сенсорные (чувствительные) зоны — это высшие центры различных видов чувствительности. При их раздражении возникают простейшие ощущения, а при поражении наступает нарушение сенсорных функций (слепота, глухота и др.). Эти зоны находятся в тех областях коры, где заканчиваются *восходящие* проводящие пути, по которым проводятся нервные импульсы от рецепторов органов чувств (зрительная зона, слуховая зона и др.). Так, зрительная зона находится в затылочной доле коры, слуховая, обонятельная, вкусовая — в височной доле, зоны кожного и мышечного чувств — в коре постцентральной извилины, расположенной в теменной доле позади центральной борозды.

Моторные (двигательные) зоны — области коры, раздражение которых вызывает двигательные реакции. Эти зоны осуществляют управление произвольными движениями. В них берут начало *нисходящие* проводящие пути, по которым нервные импульсы идут к вставочным и исполнительным нейронам. Ядра двигательного анализатора различных частей тела находятся в прецентральной извилине. Наибольшее пространство занимают двигательные зоны кистей, пальцев рук и мышц лица, наименьшее — зоны мышц туловища. От двигательной области коры нервные импульсы направляются к нейронам спинного мозга, а от них — к скелетным мышцам.

Ассоциативные зоны — участки коры, осуществляющие обобщенную обработку поступившей информации от различных органов чувств, благодаря чему формируется интегрированный образ предмета, явления, мышления, речи, эмоций и др. Для человека особенно важны *лобные* ассоциативные зоны, в которых на основе сенсорной информации формируется цель и программа действий, состоящая из команд, направляемых к исполнительным органам. От этих органов поступает в них обратная информация о выполнении действий и их прямых последствиях. Полученная информация анализируется, определяется степень достижения поставленной цели, при необходимости команды органам корректируются. Развитие лобных долей коры в значительной степени обусловило высокий уровень психических способностей человека по сравнению с приматами.

Полушария мозга обладают *функциональной асимметрией*. Так, *правое* полушарие отвечает за образное мышление, является основой творческой деятельности, принятия нестандартных решений. Повреждение зрительной зоны

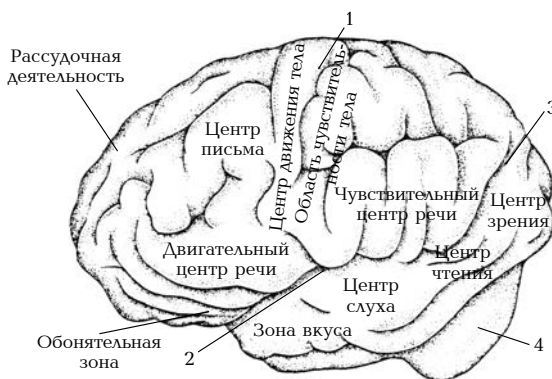
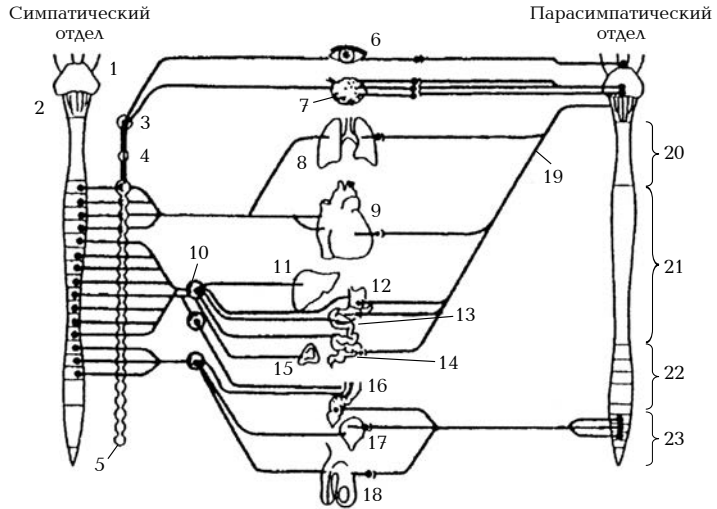


Рис. 10.10. Функциональные зоны коры больших полушарий: 1 — центральная борозда; 2 — боковая борозда; 3 — теменно-затылочная борозда; 4 — мозжечок

Рис. 10.11. Строение вегетативной нервной системы: 1 — средний мозг; 2 — продолговатый мозг; 3 — верхний шейный узел; 4 — звездчатый узел; 5 — симпатический ствол; 6 — глаз; 7 — слезные и слюнные железы; 8 — легкие; 9 — сердце; 10 — чревный узел; 11 — печень; 12 — желудок; 13 — поджелудочная железа; 14 — тонкий кишечник; 15 — мозговое вещество надпочечника; 16 — толстый кишечник и прямая кишка; 17 — мочевой пузырь; 18 — половые органы; 19 — блуждающий нерв; 20 — шейный отдел; 21 — грудной отдел; 22 — поясничный отдел; 23 — крестцовый отдел



правого полушария приводит к нарушению узнавания лиц. *Левое* полушарие ответственно за абстрактное мышление, в нем находятся центры устной и письменной речи, формирования решений. Повреждение зрительной зоны левого полушария приводит к нарушению узнавания букв и цифр. Однако, несмотря на свою функциональную асимметрию, мозг работает как *единое* целое, обеспечивая сознание, память, мышление, адекватное поведение, различные виды сознательной деятельности человека.

Значение коры больших полушарий:

- является органом психической деятельности, определяющим сознание, мышление, память, речь;
- в коре располагаются центральные отделы анализаторов, преобразующие нервные сигналы от органов чувств в форму различных ощущений — зрительных, слуховых, обонятельных и др.;
- является органом приобретения и накопления жизненного опыта, в коре замыкаются дуги условных рефлексов;
- контролирует и интегрирует работу систем органов и обеспечивает связь организма с внешней средой.

Вегетативная (автономная) нервная система (ВНС). Она представляет собой часть нервной системы, иннервирующую внутренние органы (сердце, гладкую мускулатуру полых внутренних органов, различные железы и др.), а также стимулирующую работоспособность скелетных мышц.

ВНС состоит из двух отделов — *симпатического* и *парасимпатического* (рис. 10.11). Ядра парасимпатического отдела ВНС расположены в среднем, продолговатом отделах головного мозга и крестцовых сегментах спинного мозга; ядра симпатического отдела — в боковых рогах грудных и части поясничных сегментов спинного мозга.

Особенность рефлекторной дуги ВНС заключается в том, что эфферентные (двигательные) нервные волокна (аксон) не доходят до иннервируемого органа, а прерываются и вступают в контакт с дендритами другой нервной клетки, волокно (аксон) которой достигает иннервируемого

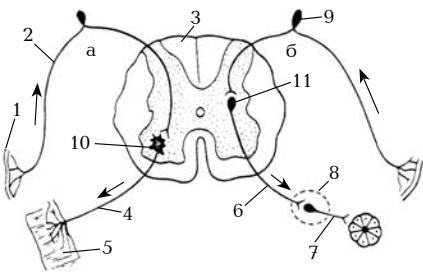


Рис. 10.12. Схема рефлекторной дуги соматического (а) и вегетативного (б) рефлексов: 1 — рецептор; 2 — чувствительный нерв; 3 — спинной мозг; 4 — двигательный нерв; 5 — рабочий орган (мышца, железа); 6 — преганглионарное нервное волокно; 7 — постганглионарное нервное волокно; 8 — вегетативный ганглий; 9 — чувствительный ганглий; 10 — ганглий двигательного нейрона; 11 — ганглий симпатического нейрона (в боковом роге)

органа (рис. 10.12). Скопления тел и дендритов второго нейрона формируют вегетативный ганглий, тела же первого эфферентного нейрона находятся в ядрах ЦНС. Волокно первого нейрона называется *преганглионарным*, второго — *постганглионарным*.

Ганглии *симпатического* отдела ВНС расположены по обе стороны позвоночника в виде цепочки, образуя правый и левый симпатические стволы. Ганглии *парасимпатического* отдела находятся вблизи иннервируемого органа или в нем. Из-за расположения вегетативных ганглиев на разных расстояниях от ЦНС преганглионарные волокна симпатического отдела короткие, а постганглионарные — длинные и наоборот у парасимпатического отдела (см. рис. 10.12).

Волокна ВНС значительно тоньше волокон соматической нервной системы. Скорость проведения нервного импульса также значительно ниже и составляет 1—18 м/с, тогда как по волокнам соматической нервной системы — 60—120 м/с.

Большинство внутренних органов обладает двойной иннервацией. Действие на органы симпатического и парасимпатического отделов ВНС противоположное (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Влияние симпатического и парасимпатического отделов

Орган	Показатель	
	Отдел	
	симпатический	парасимпатический
Сердце	Учащает и усиливает сокращения	Замедляет и ослабляет сокращения
Артерии	Сужаются. Повышается артериальное давление	Не влияет
Кишечник	Замедляется перистальтика	Усиливается перистальтика
Печень	Расслабляются желчные протоки	Сокращаются желчные протоки
Потовые железы	Усиливается секреция	Не влияет
Зрачок глаз	Расширяется	Сужается
Бронхи	Расширяются	Сужаются
Содержание сахара в крови	Увеличивается	Уменьшается
Потребление кислорода	Увеличивается	Уменьшается

Как видно из табл. 10.1, влияния симпатического отдела ВНС способствуют интенсификации процессов жизнедеятельности организма, особенно в стрессовых ситуациях, когда требуется мобилизация всех его возможностей. Влияния парасимпатического отдела противоположны, они способствуют восстановлению истраченных организмом ресурсов. Как уже было сказано, функционирование вегетативной нервной системы подчинено высшим центрам регуляции, расположенным в гипоталамусе.

Гигиена нервной системы. Это комплекс мер, направленных на сохранение нормального функционирования нервной системы. Следует избегать переутомления, которое приводит к снижению работоспособности, памяти, устойчивости к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды. Главным для предупреждения утомления является соблюдение режима труда и отдыха.

Необходимо избегать приобретения вредных привычек: курения, употребления алкоголя, приема наркотиков. Так, в табачном дыме содержится большое количество токсических (синильная кислота, никотин, оксид углерода

и др.) и канцерогенных (бензопирен и др.) веществ. Никотин вызывает спазмы сосудов, уменьшая кровоток и ухудшая снабжение кислородом и питательными веществами органы и ткани. В результате длительного курения развиваются опасные болезни сердца — стенокардия (сужение сосудов сердца) и инфаркт миокарда (омертвление участка мышечной ткани сердца), а также заболевания органов дыхания — хронический бронхит, рак гортани и легких. Часто эти болезни приводят к смерти либо инвалидности. Курение женщин способствует преждевременному старению, приводит к осложнениям при беременности. По данным международной статистики, смертность новорожденных у курящих женщин на 40 % выше, чем у некурящих.

Алкоголь является ядом для центральной нервной системы, приводящим к гибели нервных клеток и постепенной дегенерации личности алкоголика. Наиболее известен алкогольный психоз, получивший название «белой горячки». При приступе болезни у алкоголика наблюдаются слуховые или зрительные галлюцинации, он может выбраться из окна, спасаясь от неких несуществующих преследователей. От алкоголя сильно страдает печень, постепенно ее клетки перерождаются, нормальная ткань разрушается, сморщивается, и возникает *цирроз*. Последствия алкоголизма родителей сказываются на их потомстве. Дети алкоголиков страдают плохой памятью, не способны сосредоточиться, сидеть спокойно, четко действовать по заранее намеченному плану. Им трудно обучаться и овладевать сложными профессиями. Алкоголизм является причиной производственных травм, дорожно-транспортных происшествий, антиобщественного поведения, распада семей.

В последнее время увеличилась опасность попадания в сети таких наркотических веществ, как опий, марихуана, кокаин и др. Они вызывают еще большую зависимость, чем никотин и алкоголь. Употребление этих наркотических средств ведет к полному разрушению личности и ранней смерти.

ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Для человека свойственны две формы активности: психическая (умственная) и двигательная, осуществляемая мышечными сокращениями. Благодаря этим двум формам активности человек живет и взаимодействует с внешним миром.

Опорно-двигательная система — совокупность костей, мышц, связок, сухожилий, обеспечивающих движение частей тела относительно друг друга, а также перемещение всего тела в пространстве. Ее *активной частью* являются скелетные мышцы, сокращения которых приводят в движение *пассивную часть* — кости, сухожилия, связки.

Скелет человека состоит из 204 костей, соединенных между собой. *Функциями скелета* являются: *опорная* (сохранение формы тела, место прикрепления мышц), *защитная* (череп защищает головной мозг, позвоночный канал — спинной мозг, грудная клетка — легкие и сердце), *участие в минеральном обмене* (в костях содержатся соли кальция, фосфора, магния, железа и др.), *кровотворная* (в красном костном мозге образуются клетки крови).

Химический состав кости. Живая кость содержит 50 % воды, около 22 % неорганических солей (фосфат и карбонат кальция), 12,5 % белков (оссеин, коллаген), свыше 15 % жиров и углеводов. Органические вещества придают кости упругость, а минеральные соли — твердость и прочность.

Строение кости. В состав кости входят клетки трех видов: *остеоциты* (зрелые клетки, осуществляющие обменные процессы), *остеобласты* (деля-

щиеся недифференцированные клетки, образующие остециты), *остеокласты* (клетки-пожиратели поврежденных и регенерирующих участков костной ткани). Межклеточное вещество представлено белковыми *коллагеновыми волокнами* и *основным веществом*, содержащим минеральные соли.

Различают два вида костной ткани: компактное (плотное) и губчатое (ячеистое) вещество.

Компактное вещество образовано плотно расположенными костными пластинками, формирующими сложные системы цилиндров — *остеоны* (рис. 10.13). Остеоны состоят из 5—20 цилиндрических пластинок, вставленных друг в друга. В центре каждого остеона расположен канал, в котором проходят кровеносные сосуды. *Губчатое вещество* образовано костными перекаладинами (балками), расположенными рыхло с промежутками между ними, образующими ячеистую структуру. Расположение костных перекаладин соответствует направлениям, по которым кость испытывает нагрузки в виде сжатия и растяжения. Ячейки в губчатом веществе заполнены *красным костным мозгом*, выполняющим кроветворную функцию.

Кость быстро восстанавливается. Однако с возрастом восстановление костей идет медленнее, количество органического вещества уменьшается, а неорганического — увеличивается. В связи с этим у пожилых людей кости становятся более хрупкими, переломы плохо срастаются.

По форме, размерам и строению различают трубчатые, губчатые, плоские и смешанные кости.

Трубчатые кости входят в состав скелета конечностей. Они имеют вид цилиндра с утолщенными концами — *эпифизами* (головками) и средней частью — *диафизом* (телом) (рис. 10.14). Поверхность кости (за исключением суставных поверхностей) покрыта соединительнотканым чехлом — *надкостницей*, под которой расположен слой компактного вещества. В эпифизе компактное вещество переходит в губчатое, заполняющее всю его полость. Полость диафиза заполнена желтым костным мозгом. Длинные трубчатые кости скелета конечностей (плечевые, предплечье, бедренная, голень) являются прочными рычагами, за счет которых человек передвигается или поднимает тяжести. Короткие трубчатые кости (кости кисти и стопы) способны совершать разнообразные мелкие точные движения. Рука у человека выполняет функцию органа труда.

Губчатые кости состоят из губчатого вещества, покрытого тонким слоем компактного. Они расположены там, где необходимы одновременно большая прочность и подвижность скелета. Они бывают короткие (кости запястья, предплюсны, надколенник) и длинные (ребра, грудина).

Плоские кости ограничивают полости, защищая находящиеся в них органы (кости мозгового отдела черепа, тазовые кости), либо служат для прикрепления мышц (лопатки). Они образованы двумя пластинками компактного вещества с тонким слоем губчатого вещества между ними.

Смешанные кости состоят из нескольких частей, имеющих разное строение и выполняющих различные функции (тело позвонка — губчатая ткань, отростки позвонка — плоские кости; кости основания черепа).

Рост костей. Снаружи кость покрыта надкостницей (см. рис. 10.14). Она представляет собой соединительнотканную оболочку, состоящую из двух слоев: наружного (волокнистого) и внутреннего (костеобразующего).

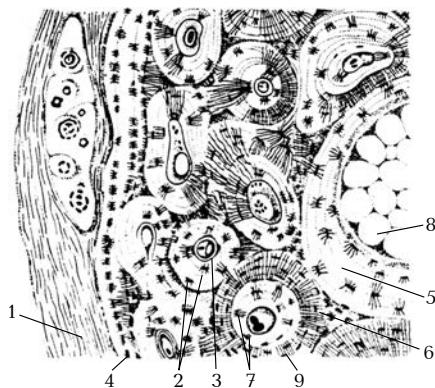


Рис. 10.13. Пластинчатая костная ткань (поперечный шлиф): 1 — надкостница; 2 — пластинки остеона; 3 — каналы остеона (гаверсовы каналы); 4 — наружные главные пластинки; 5 — внутренние главные пластинки; 6 — вставочные пластинки; 7 — остециты; 8 — костномозговая полость; 9 — остеон

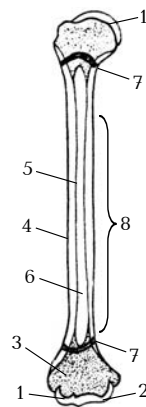
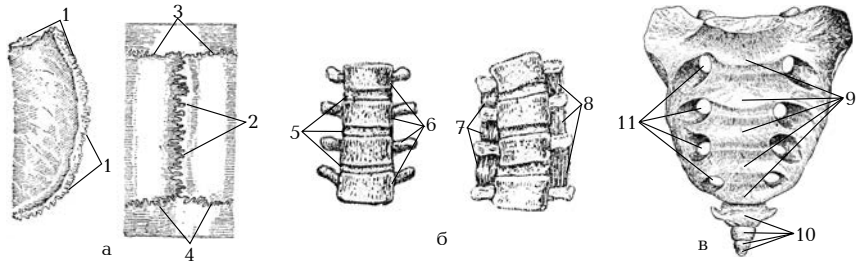


Рис. 10.14. Строение длинной трубчатой кости: 1 — головка (эпифиз); 2 — хрящ; 3 — губчатое вещество; 4 — надкостница; 5 — компактное вещество кости; 6 — полость, заполненная желтым костным мозгом; 7 — зона роста кости; 8 — тело кости (диафиз)

Рис. 10.15. Виды соединения костей: а — неподвижное соединение посредством шва (часть правой теменной кости изнутри и часть крышки черепа): 1 — край теменной кости; 2 — шов между двумя теменными костями; 3 — шов между лобной и теменными костями; 4 — шов между затылочной и теменными костями; б — полуподвижное соединение костей при помощи хряща: 5 — хрящевые прослойки между ними; 6 — позвонки; 7 — мышцы между позвонками в состоянии сокращения; 8 — мышцы между позвонками в расслабленном состоянии; в — неподвижное соединение (срастание) костей: 9 — сросшиеся крестцовые позвонки; 10 — сросшиеся копчиковые позвонки; 11 — крестцовые отверстия, через которые выходят нервы



Надкостница обильно снабжена кровеносными сосудами и нервами, проникающими в кость. Внутренний слой надкостницы образует костные клетки — остеобласты. Благодаря активности надкостницы кость растет в толщину и восстанавливает их целостность при переломах. С возрастом активность надкостницы снижается.

Рост кости в длину происходит за счет наличия хрящевых зон роста, расположенных между эпифизами и диафизом (см. рис. 10.14). Здесь хрящ непрерывно растет и замещается костной тканью. Полное окостенение хрящевой прослойки ведет к прекращению роста кости.

Соединение костей. Кости скелета соединены между собой (рис. 10.15) тремя видами соединений: непрерывным (неподвижным), полупрерывным (полуподвижным) и прерывным (подвижным).

Непрерывное соединение костей есть там, где необходима наибольшая прочность опоры или защиты внутренних органов. Такое соединение обеспечивается путем *срастания* костей (тазовая кость, позвонки крестца) или *швами* (кости мозгового отдела черепа).

Полупрерывное соединение осуществляется *хрящевыми дисками*, в толще которых находится полость. Такими дисками соединены тела позвонков.

Прерывное соединение (сустав) обеспечивает наибольшую подвижность соединенных костей (рис. 10.16). Он образуется тремя элементами: *суставными поверхностями костей*, *суставной капсулой (сумкой)* и *суставной полостью* (рис. 10.17).

Суставные поверхности костей, формирующих сустав, хорошо соответствуют друг другу по форме и покрыты плотным эластичным хрящом, облегчающим трение между костями. Сходную функцию выполняет и суставная жидкость, выделяемая внутренней поверхностью суставной капсулы в полость сустава.

Суставная капсула образована плотной соединительной тканью, края которой прирастают к костям на небольшом расстоянии от сустава и герметично закрывают полость сустава.

Суставная полость заполнена суставной вязкой жидкостью, выделяемой клетками внутренней поверхности суставной капсулы. Жидкость, смазывая суставные поверхности костей, уменьшает трение между ними. В полости сустава давление меньше атмосферного (отрицательное), благодаря чему суставные поверхности плотно прилегают друг к другу и обеспечивают прочность сустава.

Снаружи суставы укрепляются *связками*, *тяжами* или *пластинами* соединительной ткани, повышающими прочность суставов.

По движению вокруг осей выделяют следующие виды суставов:

- **одноосные** — движения возможны только в одной плоскости — сгибание и разгибание (межфаланговые суставы кисти и стопы);

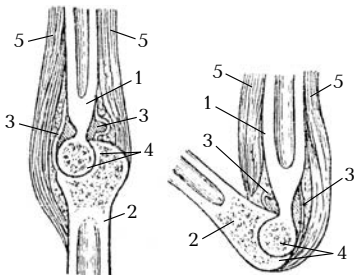


Рис. 10.16. Локтевой сустав при разгибании и сгибании руки в локте: 1 — плечевая кость; 2 — локтевая кость; 3 — суставная сумка; 4 — хрящ на суставной поверхности костей; 5 — мышцы

- **двухосные** — движение вокруг двух осей: сгибание и разгибание, приведение и отведение (лучезапястные суставы);

- **трехосные (шаровидные)** — движение вокруг трех осей: сгибание и разгибание, отведение и приведение, вращение внутрь и наружу, круговые движения (плечевой, тазобедренный суставы).

Скелет, строение и функции. Скелет человека состоит из отделов: скелета головы, скелета туловища (осевой) и скелета конечностей и их поясов.

Скелет головы (череп) защищает головной мозг и органы чувств от повреждений, а также является опорой для прикрепления мышц. Состоит из мозгового и лицевого отделов (рис. 10.18).

Кости **мозгового отдела** образуют полость, в которой расположен мозг. В его состав входят две парные кости — теменные и височные и четыре непарные — лобная, затылочная, клиновидная и решетчатая.

Кости **лицевого отдела** включают шесть парных костей (верхнечелюстные, скуловые, носовые, слезные, нёбные, нижние носовые раковины) и три непарные (нижнечелюстную, сошник, подъязычную). Все кости, кроме нижнечелюстной, соединены неподвижно. Верхнечелюстные и нёбные кости образуют перегородку между носовой и ротовой полостями — **твердое нёбо**. Нижняя и верхняя челюсти содержат углубления — альвеолы, в которых располагаются корни зубов. В костях черепа имеются отверстия, через которые проходят сосуды и нервы. Самое большое отверстие — затылочное, через которое соединяется спинной и головной мозг. Объем мозгового отдела черепа в 4 раза больше лицевого, что является отличительной от приматов особенностью человека.

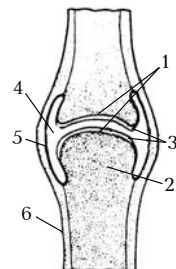


Рис. 10.17. Строение сустава: 1 — суставные поверхности костей; 2 — головка; 3 — хрящ; 4 — полость, заполненная жидкостью; 5 — суставная сумка; 6 — надкостница

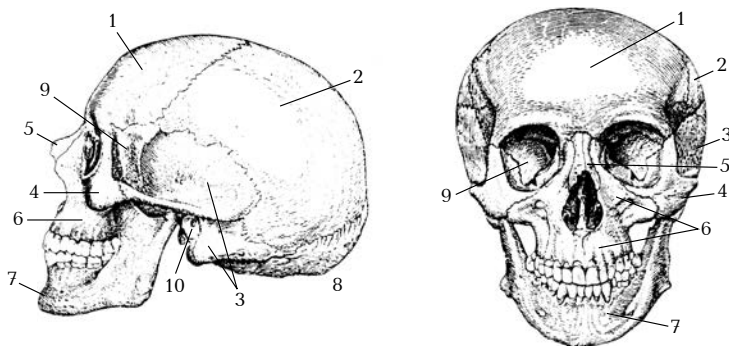


Рис. 10.18. Череп спереди и сбоку: 1 — лобная кость; 2 — теменная кость; 3 — височная кость; 4 — скуловая кость; 5 — носовая кость; 6 — верхняя челюсть; 7 — нижняя челюсть; 8 — затылочная кость; 9 — клиновидная основная кость; 10 — наружное слуховое отверстие

Скелет туловища включает позвоночник и грудную клетку (рис. 10.19).

Позвоночник образован 33—34 позвонками и имеет пять отделов: шейный — 7 позвонков; грудной — 12; поясничный — 5; крестцовый — 5 и копчиковый — 4—5 позвонков. Позвонок представляет собой кольцо с утолщенной передней частью — **телом** и задней **дугой**, с отходящими от нее отростками (рис. 10.20). Позвонки, соединяясь хрящевыми дисками, образуют позвоночный столб, или позвоночник, а их отверстия — **позвоночный канал**, в котором проходит спинной мозг. Крестцовые позвонки в младшем школьном возрасте начинают срастаться и к 19—20 годам представляют собой единую кость — **крестец**, к которому присоединяются тазовые кости.

В связи с прямохождением позвоночник человека имеет четыре изгиба. Шейный и поясничный изгибы направлены вперед (**лордозы**), грудной и крестцовый назад (**кифозы**). Благодаря изгибам, придающим позвоночнику S-образную форму, тело человека пружинит при ходьбе, беге и прыжках,

Позвочник состоит из 33—34 позвонков, которые группируются в отделы:

- шейный (7 п.);
- грудной (12 п.);
- поясничный (5 п.);
- крестцовый (5 п.);
- копчиковый (4—5 п.)

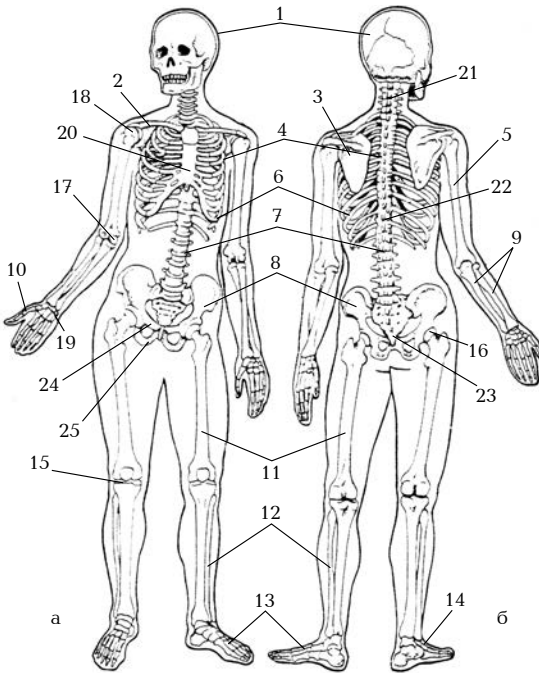


Рис. 10.19. Скелет человека (а — спереди; б — сзади): 1 — череп; 2 — ключица; 3 — лопатка; 4 — грудная клетка; 5 — плечевая кость; 6 — ребра; 7 — позвоночник (поясничный отдел); 8 — кости таза (подвздошная); 9 — кости предплечья (локтевая и лучевая); 10 — кости кисти; 11 — бедренная кость; 12 — кости голени (большая и малая берцовые); 13 — кости стопы; 14 — голеностопный сустав; 15 — коленный сустав; 16 — тазобедренный сустав; 17 — локтевой сустав; 18 — плечевой сустав; 19 — лучезапястный сустав; 20 — грудина; 21 — шейный отдел позвоночника; 22 — грудной отдел позвоночника; 23 — крестцовый отдел позвоночника; 24 — лобковые кости; 25 — седалищные кости

сохраняется равновесие, увеличиваются объемы грудной клетки и таза. У новорожденных изгибы отсутствуют. Они формируются постепенно, по мере роста ребенка. Шейный лордоз появляется тогда, когда ребенок начинает держать голову; грудной и поясничный изгибы — когда ребенок начинает сидеть и стоять.

Грудная клетка образована грудными позвонками, 12-ю парами ребер и грудиной. Ребра — плоские и изогнутые костные дуги — прикрепляются к отросткам грудных позвонков при помощи подвижного соединения. Передние части десяти верхних ребер срастаются с грудиной, 11-е и 12-е пары — короткие и имеют свободные концы, заканчивающиеся в мышцах. В связи с прямохождением грудная клетка человека плоская в спинно-брюшном направлении и широкая — в боковом. Грудная клетка защищает органы грудной полости от ударов и повреждений. Благодаря подвижному соединению ребер с позвонками и присоединенным к ним мышцам грудная клетка способна к ритмическому изменению объема, что используется при дыхании.

Скелет поясов и свободных конечностей (см. рис. 10.19). Пояса конечностей служат для прикрепления свободных верхних и нижних конечностей к позвоночному столбу.

Скелет пояса верхней конечности состоит из лопатки и ключицы. Каждая лопатка одним концом образует сустав с ключицей, а другим — с плечевой костью.

Скелет свободной верхней конечности представлен плечевой костью (плечо), которая соединяется с лопаткой подвижным трехосным суставом, костями предплечья (лучевой и локтевой) и костями кисти, состоящей из запястья, пясти и фаланг пальцев.

Функциями верхних конечностей являются обеспечение подвижности конечностей и высокой точности их движений, необходимых для трудовой деятельности.

Скелет пояса нижних конечностей состоит из двух тазовых костей, соединенных крестцом. Впереди тазовые кости соединены между собой лобковым полусуставом. Тазовые кости, как и лопатки, имеют шаровидные впадины, в которые входят головки бедренных костей. Каждая тазовая кость новорожденного состоит из трех костей, срастающихся полностью к 17—18 годам. В связи с прямохождением таз человека широкий, чашеобразный, служащий опорой для органов брюшной полости. Имеются половые отличия: женский таз более широкий и короткий, мужской — более узкий и длинный.

Скелет свободной нижней конечности образован бедренной костью (бедро), костями голени (большой и малой берцовой) и костями стопы, состоящей из костей предплюсны, плюсны и фаланг пальцев. Бедренная кость соединяется с тазовой костью при помощи шаровидного тазобедренного сустава, а с большеберцовой костью образует коленный сустав, в состав которого входит надколенник.

Самая большая кость предплюсны — пяточная, имеющая сзади пяточный бугор, служащий опорой при стоянии (рис. 10.21). У человека сводчатая стопа, она обеспечивает пружинистость при ходьбе. Свод (подъем) образуется опорой на пяточную кость и передние концы плюсневых костей и поддерживается крепкими суставными связками. Уплотнение стопы (*плоскостопие*) может развиваться при длительном стоянии, переносе больших тяжестей, при ношении узкой обуви, туфель с высокими каблуками. Специальные упражнения для мышц стопы способствуют укреплению ее свода.

Функции нижних конечностей: обеспечение опоры тела человека и его быстрого, плавного и пружинистого перемещения.

Мышцы, их строение и функции. Скелетные мышцы (более 400) образуют *активную часть* опорно-двигательной системы, составляющую от массы тела 28—32 % у женщин и 35—45 % у мужчин.

Скелетные мышцы состоят из поперечно-полосатой мышечной ткани. Ее мышечные волокна объединяются в пучки, покрытые соединительнотканной оболочкой. Между мышечными пучками проходят кровеносные и лимфатические сосуды, мелкие нервы. Объединяясь, мышечные пучки образуют скелетную мышцу, покрытую более плотной соединительнотканной оболочкой — *фасцией*. В каждой мышце имеется сокращающаяся часть — *мышечное брюшко (тело)* и несокращающаяся — *сухожилие*, с помощью которого мышцы прикрепляются к костям обоими концами (кроме мимических мышц, прикрепленных одним концом к кости, другим — к коже). Сухожилие формируется за счет концов фасции. Сухожилия скелетных мышц перекинута через суставы и прикреплены к разным костям. Сокращение приводит к укорочению мышцы и сближению ее концов и костей, к которым она прикреплена (рис. 10.22).

По *функции* скелетные мышцы делятся на *сгибатели* (обеспечивают движение вперед) и *разгибатели* (обеспечивают движение назад, кроме коленного сустава); *отводящие* (обеспечивают движение наружу) и *приводящие* (обеспечивают движение внутрь); *вращающие* (мышцы, расположенные косо).

По *характеру взаимодействия* различают мышцы *синергисты* (обеспечивают сходный эффект) и *антагонисты* (обеспечивают противоположный эффект). Так, например, сходный эффект обеспечивают жевательные мышцы, противоположный эффект на локтевой сустав оказывают двуглавая (сгибатель) и трехглавая (разгибатель) мышцы плеча (см. рис. 10.22).

Работа мышцы зависит от ее *силы* и *величины сокращения*. Чем больше поперечный диаметр мышцы, тем она сильнее, тем большую работу она может произвести. Величина сокращения мышцы (степень ее сокращения) зависит от длины мышечного волокна: чем они длиннее, тем сильнее сокращаются.

Сокращение мышечных клеток возможно только при условии поступления в нее нервного импульса. Мышечные волокна никогда не находятся в состоянии полного расслабления. Они всегда (даже во время сна) слегка сокращены, что обеспечивает *мышечный тонус*. Благодаря мышечному тонусу движения плавные, а не прерывистые (как у марионетки). Как уже рассматривали ранее, иннервация скелетных мышц осуществляется соматической нервной системой, а тонус мышц — нервными импульсами, исходящими из мозжечка и среднего мозга.

Основные группы скелетных мышц (рис. 10.23):

- *мышцы головы и шеи* — жевательные (жевание), круговые мышцы рта и глаза, мимические (мимика лица), грудино-ключично-сосцевидные (движения головы);

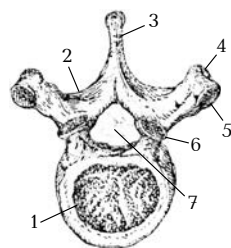


Рис. 10.20. Грудной позвонок (вид сверху): 1 — тело; 2 — дуга; 3 — остистый отросток; 4 — поперечные отростки; 5 — суставные поверхности для соединения с ребрами; 6 — суставные отростки; 7 — позвоночный канал

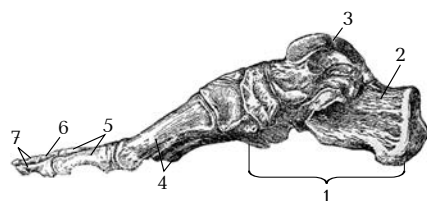


Рис. 10.21. Стопа: 1 — кости предплюсны, среди них пяточная (2) и таранная (3); 4 — плюсневые кости; 5 — основные фаланги; 6 — средняя фаланга; 7 — ногтевые фаланги

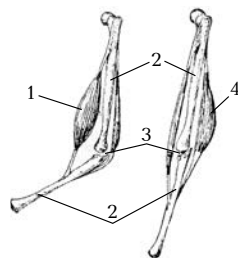


Рис. 10.22. Схема попеременного сокращения и расслабления мышц-антагонистов: 1 — мышца-сгибатель; 2 — кость; 3 — сустав; 4 — мышца-разгибатель

Многие мышцы
одним концом
прикрепляются
к костям черепа,
груди — к коже
лица

- **мышцы туловища** — мышцы спины (трапециевидные, широчайшие), груди (большие грудные, межреберные, диафрагма), живота (прямые, внутренние, косые);

- **мышцы плечевого пояса и верхних конечностей** (подлопаточные, дельтовидные дву- и трехглавые);

- **мышцы тазового пояса и нижних конечностей** (ягодичные, больше- и малоберцовые, портняжные, икроножные, сгибатели и разгибатели пальцев).

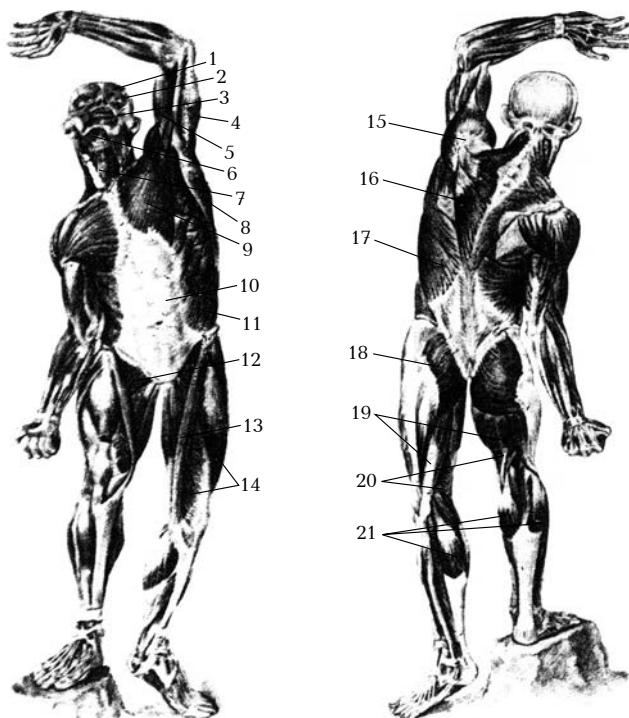
Работа и утомление мышц. Работа мышц является необходимым условием их жизнедеятельности. Тренировка мышц способствует увеличению их объема, силы, работоспособности, а длительное бездействие приводит к потере мышечного тонуса, ослаблению их и даже атрофии.

Работа мышц сопровождается расходом энергии, которая выделяется при расщеплении в мышцах органических веществ. Необходимые для этого вещества и кислород приносятся кровью. Вредные продукты жизнедеятельности из мышцы также выделяются в кровь. Чем более натренирована мышца, тем лучше она снабжается кровью.

Различают **статические** и **динамические сокращения мышц**. При длительном стоянии, удержании груза на вытянутых руках и т. п. одновременно сокращаются многие мышцы тела, что приводит к сдавливанию кровеносных сосудов в напряженных мышцах. Это ухудшает их снабжение кислородом и питательными веществами, ведет к накоплению в них конечных продуктов распада и к **утомлению** — снижению работоспособности мышц.

При **динамической** работе различные группы мышц сокращаются и расслабляются поочередно, что позволяет им работать длительное время без признаков заметного утомления. При динамической работе важно подобрать оптимальный ритм труда и отдыха.

Рис. 10.23. Мышцы передней и задней поверхности тела: 1 — лобная мышца; 2 — круговая мышца глаза; 3 — круговая мышца рта; 4 — трехглавая мышца; 5 — двуглавая мышца; 6 — жевательная мышца; 7 — грудино-ключично-сосковидная мышца; 8 — широкая мышца спины; 9 — большая грудная мышца; 10 — прямая мышца живота; 11 — наружная косая мышца; 12 — пояснично-подвздошная мышца; 13 — мышца портняжная; 14 — четырехглавая мышца бедра; 15 — дельтовидная мышца; 16 — трапециевидная мышца; 17 — широкая мышца спины; 18 — большая ягодичная мышца; 19 — двуглавая мышца бедра; 20 — полусухожильная мышца; 21 — икроножная мышца



Активный образ жизни и физические упражнения способствуют правильному формированию опорно-двигательной системы. Для роста кости необходимы стимулы в виде натяжения и сжатия. Сухожилия мышц прикрепляются к гребням и буграм костей, поэтому развитие скелета одновременно связано с развитием мышечной системы. Двигательная активность делает мышечную и костную системы более крепкими и устойчивыми к нагрузкам и травмам. Активная работа скелетных мышц активизирует деятельность сердечно-сосудистой, дыхательной и центральной нервной систем, благодаря высокому снабжению энергией и кислородом.

Осанка — привычное положение тела человека при стоянии, сидении, ходьбе и работе. Эффективному и здоровому функционированию органов человека и его высокой работоспособности способствует *правильная осанка*. Она характеризуется наличием равномерно-волнообразных изгибов позвоночника, симметричным расположением лопаток, развернутыми плечами, расположенной прямо или слегка откинутой назад головой, грудью, несколько выступающей над животом. Следует помнить, что осанка не наследуется, а формируется человеком. Формированию правильной осанки особое внимание следует уделять в детском и подростковом периодах, когда позвоночник еще гибок и хрящевые элементы позвонков полностью не окостенели. В это время может развиваться *сколиоз* — боковое искривление позвоночника. Развитию сколиоза способствуют неправильная посадка детей за партой, слабое развитие мышц, постоянное ношение тяжестей в одной руке.

Неосторожные движения, падение могут привести к смещению костей в суставе — *вывиху* или растяжению связок либо нарушению целостности кости — *перелому*.

При *вывихе* следует придать конечности положение, при котором боль не ощущается, зафиксировать сустав и приложить холодный компресс (снег, лед). При *переломе* необходимо наложить на поврежденный участок повязку с шиной, захватывающую два соседних с переломом сустава. При открытом переломе (нарушается целостность кожи и образуется открытая рана) важно остановить кровотечение, наложить стерильную повязку, затем шину и доставить пострадавшего в больницу.

ВНУТРЕННЯЯ СРЕДА ОРГАНИЗМА

Внутренняя среда организма представлена жидкостями, с относительно постоянным составом веществ и физико-химических свойств, принимающими непосредственное участие в обменных процессах и поддержании гомеостаза.

К жидким тканям внутренней среды относятся тканевая жидкость, кровь и лимфа (рис. 10.24).

Тканевая жидкость находится в межклеточных пространствах различных тканей и создает собственную среду для клеток, независимую от внешней среды организма. Образуется тканевая жидкость из плазмы крови, проникающей через пористые стенки кровеносных капилляров в межклеточное пространство, а также из продуктов жизнедеятельности, поступающих из клеток. По составу тканевая жидкость сходна с плазмой крови, однако в ней значительно меньше белков из-за больших размеров их макромолекул, не проходящих через мелкие поры капилляров. Объем тканевой жидкости взрослого человека, образуемой за сутки, составляет около 20 л. Большая часть (17—18 л) возвращается обратно в кровяное русло, а оставшаяся часть поступает

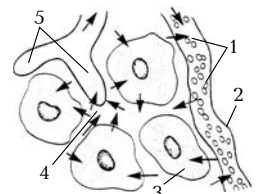


Рис. 10.24. Внутренняя среда организма: 1 — клетки крови; 2 — капилляр; 3 — клетки тканей; 4 — тканевая жидкость; 5 — начало лимфатических капилляров

в замкнутые капилляры лимфатических сосудов, образуя *лимфу*. Лимфа, в свою очередь, возвращается в венозную систему кровообращения. Тканевая жидкость выполняет функцию посредника между клетками и капиллярами, поскольку клетки все необходимые для них вещества берут именно из тканевой жидкости и в нее же выделяют конечные продукты жизнедеятельности.

Образование тканевой жидкости и возвращение ее в кровяное русло, образование и отток лимфы — непрерывно происходящий процесс, необходимый для поддержания жизнедеятельности клеток организма и гомеостаза.

Кровь и *лимфа* циркулируют по замкнутым кровеносным и лимфатическим сосудам, проникая во все органы и ткани, доставляя клеткам необходимые вещества и кислород и вынося конечные продукты их жизнедеятельности. Эти функции кровь и лимфа осуществляют косвенно — через тканевую жидкость.

Таким образом, жидкие ткани внутренней среды тесно взаимосвязаны между собой.

КРОВЬ. СОСТАВ И ФУНКЦИИ КРОВИ

Кровь — разновидность жидкой соединительной ткани, циркулирующая в кровеносной системе и обеспечивающая жизнедеятельность организма. Общее количество крови у взрослого человека 4—6 л (у мужчин — в среднем 5,4 л, у женщин — около 4,5 л), что составляет 6—8 % массы его тела. Потеря 1/3 объема крови может привести к гибели.

Функции крови:

- транспортная — переносит необходимые для жизнедеятельности клеток питательные вещества, гормоны, газы и выносит от них конечные продукты жизнедеятельности;
- защитная — в крови находятся компоненты иммунной системы, обеспечивающие сопротивляемость организма инфекциям и внедрению чужеродных тел и соединений;
- терморегуляторная — перераспределяет тепло между органами, поддерживая тем самым постоянную температуру тела;
- гомеостатическая — обеспечивает постоянство величин различных параметров внутренней среды организма.

Состав крови. Кровь состоит из жидкой части — плазмы и взвешенных в ней форменных элементов — клеток крови в соотношении 55 % к 45 %. Часть объема крови, занимаемая клетками, называется *гематокритом*.

Плазма крови — слегка желтоватая прозрачная жидкость, содержит 90—92 % воды и 8—10 % сухого вещества. Сухой остаток состоит из органических и минеральных веществ.

Органические вещества плазмы представлены:

а) белками — 7—8 % от объема плазмы. Среди них выделяют альбумины (около 4—5 %), глобулины (2—3 %), фибриноген (0,2—0,4 %), протромбин. Они обеспечивают коллоидное состояние плазмы, выполняют защитную функцию (глобулины), участвуют в свертывании крови (фибриноген, протромбин). Плазма крови без фибриногена называется *сывороткой* и не свертывается;

б) жирами — 0,7—0,8 %;

в) глюкозой — 0,10—0,12 %. При больших отклонениях ее содержания от нормальной концентрации может наступить смерть, поэтому регуляция содержания глюкозы в крови осуществляется совместным действием гормонов нескольких видов (см. с. 267).

Гематокрит — часть объема крови, занимаемая форменными элементами

Кровь:

- плазма (55 %);
- форменные элементы (45 %)

В плазме в небольшом количестве содержатся и другие органические вещества: аминокислоты, мочевины, гормоны и др.

Минеральные вещества плазмы составляют 0,9 %. В их состав входят преимущественно катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и анионы Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^{2-} .

Искусственные растворы, имеющие одинаковое с плазмой крови осмотическое давление, называют *изоосмотическими*, или *изотоническими*. Изотоническим для теплокровных животных и человека является 0,9%-ный раствор NaCl . Такой раствор называют *физиологическим*. Его используют для поддержания жизнедеятельности изолированных от тела органов, а также как заменитель при кровопотерях.

Кровь человека имеет слабощелочную реакцию. Концентрация водородных ионов (рН) артериальной крови равна 7,4, венозной — 7,35. Несмотря на то что в процессе жизнедеятельности в кровь непрерывно поступают диоксид углерода, молочная кислота, продукты жизнедеятельности, которые могут изменить концентрацию водородных ионов, реакция крови сохраняется постоянной. Это постоянство поддерживается *буферными* свойствами плазмы и эритроцитов крови, а также выведением из организма избытка кислот и щелочей, диоксида углерода. При сдвиге рН артериальной крови до 7,2 наступает кома (глубокая потеря сознания с расстройствами регуляции жизненно важных функций организма).

Таким образом, количество, состав крови и ее физико-химические свойства у здорового человека относительно постоянны. Небольшие отклонения от нормы быстро выравниваются, и обеспечивается *относительное постоянство параметров крови (гомеостаз)*, что является необходимым условием жизнедеятельности организма.

Форменные элементы крови. Они представлены у человека эритроцитами, тромбоцитами и лейкоцитами (рис. 10.25).

Эритроциты — красные кровяные тельца — безъядерные клетки, имеющие форму двояковогнутого диска диаметром 7—8 мкм и толщиной 1—2 мкм. В 1 мм³ крови содержится 4—5 млн эритроцитов. Общая площадь поверхности всех эритроцитов в 1500 раз превышает поверхность тела человека. Образуются они в красном костном мозге губчатых костей, средняя продолжительность их жизни — 100—120 сут. Разрушаются эритроциты в печени и селезенке.

Эритроциты содержат сложный белок — **гемоглобин**, придающий крови красный цвет. В его состав входит железо, благодаря которому гемоглобин способен без изменения валентности легко присоединять и отщеплять кислород и CO_2 . В норме в крови содержится 130—160 г/л гемоглобина.

Основная функция эритроцитов — транспорт кислорода от легких к тканям и выведение от них диоксида углерода. Гемоглобин в кровеносных капиллярах легких соединяется с кислородом, образуя **оксигемоглобин** и придавая крови ярко-алый цвет (артериальная кровь). В тканях и органах кислород легко отщепляется, а свободный гемоглобин присоединяет диоксид углерода, превращаясь в **карбогемоглобин**. Такая кровь приобретает темно-вишневый цвет (венозная кровь). В капиллярах легких диоксид углерода отщепляется от гемоглобина и присоединяет кислород. В форме карбогемоглобина переносится около 10 % диоксида углерода, большая его часть транспортируется плазмой крови в виде карбонатных соединений.

Гемоглобин способен образовывать с угарным газом (СО) соединение — **карбоксигемоглобин**, которое прочнее оксигемоглобина в 300 раз. По этой причине отравление угарным

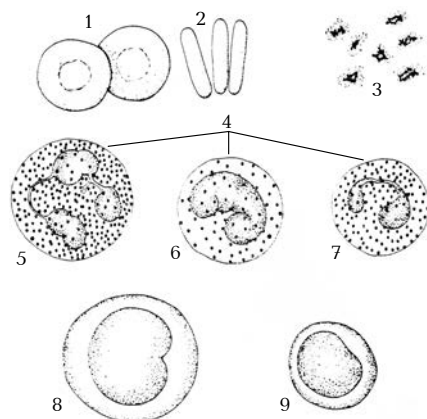


Рис. 10.25. Форменные элементы крови: 1, 2 — эритроциты; 3 — тромбоциты; 4 — гранулоциты (5 — нейтрофил; 6 — базофил; 7 — эозинофил); 8 — моноцит; 9 — лимфоцит

газом опасно для жизни, так как резко снижает транспорт кислорода. При содержании в воздухе 0,1 % угарного газа больше половины гемоглобина крови соединяется с ним, что приводит к дефициту кислорода в тканях и органах. Отравление угарным газом вызывает мышечную слабость, потерю сознания, судороги. Первой помощью является обеспечение пострадавшему притока чистого воздуха, затем необходимо вызвать скорую медицинскую помощь.

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ). Если предотвратить свертывание крови и оставить ее в капиллярных трубочках, то эритроциты начинают оседать. У женщин нормой считается СОЭ, равная 7—12 мм/ч, а у мужчин — 3—9 мм/ч. Определение величины СОЭ имеет важное диагностическое значение в медицине. Воспалительные процессы в организме сопровождаются повышением величины СОЭ.

Малокровие (анемия) — болезненное состояние организма, вызванное снижением в крови количества эритроцитов и/или уменьшением содержания в них гемоглобина, что приводит к недостаточному снабжению кислородом тканей.

Группы крови. Переливание крови. При потере большого количества крови нарушается постоянство внутренней среды и возникает необходимость в переливании крови. Для этого нужно знать свою группу крови, чтобы воспрепятствовать склеиванию (*агглютинации*) эритроцитов при смешивании собственной крови с несовместимой вводимой.

Кровь каждого человека имеет свои наследственные индивидуальные признаки. Наличие разных групп крови было открыто в 1901 г. австрийским ученым К. Ландштейнером и чешским врачом Я. Янским. Ими выявлено четыре группы крови — I (0), II (A), III (B) и IV (AB) — в зависимости от наличия встроенных в мембрану эритроцитов особых белков — *агглютиногенов* (A и B) и содержащихся в плазме крови антител — *агглютининов* (α и β) (табл. 10.2). Агглютиноген A и агглютинин α , агглютиноген B и агглютинин β называются одноименными. При их совместном присутствии в крови происходит склеивание (агглютинация) эритроцитов. Поэтому в крови каждого человека находятся разноименные агглютиноген и агглютинин. У людей имеются четыре их комбинации или группы крови (см. табл. 10.2).

Таблица 10.2

Распределение агглютиногенов и агглютининов в четырех группах крови

Фактор крови	Группа 0 (I)	Группа A (II)	Группа B (III)	Группа AB (IV)
Агглютиногены	нет	A	B	AB
Агглютинины	α , β	β	α	нет

При переливании крови используют донорскую кровь той же группы, что и у реципиента.

В 1940 г. К. Ландштейнером был открыт еще один мембранный белок эритроцитов — агглютиноген *резус-фактор*. Кровь, содержащая этот антиген, называется резус-положительной (Rh^+ у 85 % людей), а не содержащая его — резус-отрицательной (Rh^- у остальных 15 % людей).

При переливании кровь донора (дающего кровь) и реципиента (принимающего кровь) должна быть совместимой не только по группе, но и по резус-принадлежности. В случае попадания резус-фактора в кровь человека, у которого этот белок отсутствует, образуются антитела к резус-фактору и возникают тяжелые осложнения и угроза для жизни.

Тромбоциты — уплотненные, безъядерные пластинки диаметром 2—4 мкм и толщиной 0,5—0,75 мкм. В 1 мм³ крови их находится около 150—300 тыс. Тромбоциты образуются в красном костном мозге, живут около 5—7 сут и затем разрушаются в селезенке. Основная функция тромбоцитов — свертывание крови.

Свертывание крови — защитная реакция организма, направленная на остановку кровотечения из сосуда путем образования кровяного сгустка — тромба. Сущность процесса свертывания крови заключается в переходе растворимого белка крови *фибриногена* в нерастворимый нитевидный белок *фибрин*, образующий основу кровяного сгустка — *тромба*, закрывающего рану.

В сложном механизме свертывания крови требуется неперенное участие особых плазменных и тканевых соединений. Выделяют три ключевые фазы свертывания крови:

I — при разрыве тканей, стенок сосудов разрушаются тромбоциты, из них высвобождается активный фермент *тромбопластин*, который запускает цепную реакцию свертывания крови;

II — тромбопластин при участии ионов Ca^{2+} (и некоторых других факторов плазмы крови) превращает неактивный фермент плазмы крови *протромбин* в активный *тромбин*;

III — тромбин при участии ионов Ca^{2+} превращает растворимый белок плазмы *фибриноген* в нитевидный нерастворимый белок *фибрин*. В порах переплетений нитей фибрина застревают эритроциты, придавая сгустку — *тромбу* — красный цвет. Через 5—7 мин тромб загустевает, подсыхает и закупоривает рану, останавливая кровотечение.

В неповрежденных кровеносных сосудах, выстланных гладким плоским эпителием, тромбоциты не разрушаются и кровь не свертывается. Более того, в крови имеются специальные антисвертывающие вещества (гепарин, фибринолизин), препятствующие образованию внутрисосудистых тромбов и поддерживающие кровь в жидком состоянии.

У людей, страдающих наследственным заболеванием — *гемофилией*, отсутствуют некоторые факторы свертывания крови, поэтому у них резко снижена способность крови к свертыванию и любая царапина может вызвать смертельно опасное кровотечение.

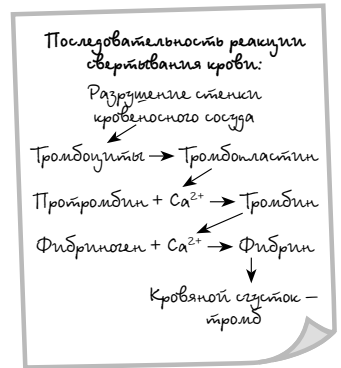
Лейкоциты — бесцветные, ядерные клетки крови. По размерам они крупнее эритроцитов, не имеют постоянной формы, способны к амебoidному движению. В 1 мм^3 крови здорового человека натошак их содержится 6—8 тыс. Образуются в красном костном мозге, лимфатических узлах, вилочковой железе (тимусе), селезенке. Продолжительность их жизни составляет несколько часов, дней, а у некоторых видов лейкоцитов — многие годы. Разрушаются в очагах воспаления, селезенке. Основная функция лейкоцитов — защита организма от инфекций, чужеродных белков и инородных тел, попадающих в него.

В отличие от эритроцитов, никогда не покидающих русла кровеносных сосудов, лейкоциты, как правило, функционируют за пределами кровеносных сосудов. Благодаря амебoidной подвижности они могут выходить в межклеточное пространство, обволакивать ложноножками микроорганизм и втягивать его внутрь цитоплазмы.

Лейкоциты бывают разных видов. При рассматривании мазка крови, окрашенной специальными красителями, видно, что у одних лейкоцитов в цитоплазме есть мелкие зерна (гранулы), у других их нет (см. рис. 10.25).

Зернистые лейкоциты (гранулоциты) содержат в цитоплазме гранулы и ядра, разделенные на доли. Самые многочисленные (45—75 %) *нейтрофилы* (*микрофаги*) осуществляют захват и переваривание бактерий. *Эозинофилы* (1—5 %) поглощают комплексы антиген — антитело. При аллергических состояниях их количество резко возрастает. *Базофилы* составляют около 0,5 % всех лейкоцитов. Они вырабатывают антисвертывающее вещество гепарин и регулирующий тонус гладких мышц гистамин.

Незернистые лейкоциты (агранулоциты) содержат крупное округлое или овальное ядро и незернистую цитоплазму. Выделяют два их вида: моноциты и лимфоциты.



Моноциты (макрофаги) — наиболее крупные лейкоциты, способные проникать через стенки капилляров в очаги воспаления и активно поглощать бактерии и различного рода частицы. В норме их количество составляет около 3—9 %, но при некоторых заболеваниях возрастает.

Лимфоциты (около 24 %) — самые мелкие из лейкоцитов, имеют ядро округлой формы и незначительное содержание цитоплазмы. Некоторые их разновидности способны вырабатывать защитные белки — *антитела* — в ответ на проникновение в организм чужеродного белка. Участвуют в выработке гуморального *иммунитета*.

Иммунитет

Иммунная система человека. *Иммунитет* — врожденная или приобретенная способность организма противостоять вмешательству чужеродных веществ и инфекционных агентов (антигенов), сохраняя постоянство внутренней среды и свою биологическую индивидуальность.

Антигены — это генетически чужеродные вещества, вызывающие специфический иммунный ответ. Антигенными свойствами обладают как свободные чужеродные белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и другие макромолекулы, так и находящиеся на мембране растительных и животных клеток, бактерий, поверхности вирусов и пересаженных органов.

В создании иммунитета принимают участие специфические и неспецифические механизмы.

К *неспецифическим механизмам иммунитета* относятся барьерная функция кожного эпителия и слизистых оболочек внутренних органов; бактерицидное действие некоторых ферментов (например, некоторые ферменты слюны, слезной жидкости, гемолимфы членистоногих) и кислот (выделяемых с секретом потовых и сальных желез, желез слизистой оболочки желудка). Эту функцию выполняют также клетки разных тканей, способные обезвреживать чужеродные для данного организма частицы и микроорганизмы. К неспецифическим механизмам иммунитета относится и фагоцитарная деятельность нейтрофилов, без разбора поглощающих чужеродные микроорганизмы, проникшие в организм.

Специфические механизмы иммунитета обеспечиваются иммунной системой, которая избирательно узнает и обезвреживает *антигены*.

Общая (неспецифическая) защита организма

Кожные покровы. Являясь пограничной тканью, поверхность кожи подвергается постоянным различным механическим и другим видам воздействий: трению, давлению, смещению, действию солнечных лучей, воды, ветра и т. п. Внешний слой кожи — *эпидермис* — представлен многослойным плоским эпителием. Живые клетки его внутреннего росткового слоя интенсивно делятся и продвигаются к поверхностным слоям, где ороговевают, отмирают и слущиваются. Отсутствие кровеносных сосудов и нервных окончаний в эпидермисе делает его пригодным для защиты организма от механических воздействий, поэтому в местах наибольшего их воздействия (например, на стопах ног) толщина эпидермального слоя соответственно большая. Вместе со слущивающимися ороговевшими клетками с поверхности эпидермиса механически удаляются попавшие на него микроорганизмы, а также продукты их жизнедеятельности.

Некоторые клетки эпидермиса вырабатывают пигмент *меланин*. Образующий темный слой (загар) защищает живые клетки нижних слоев от повреждающего воздействия ультрафиолетового излучения.

Внутренний слой кожи — *дерма* — представлен волокнистой соединительной тканью. Основными компонентами его межклеточного вещества являются белковые волокна коллагена и эластина, придающие этому слою дополнительные защитные свойства — прочность и растяжимость.

Потовая жидкость, вырабатываемая потовыми железами дермы и выделяемая на поверхность эпидермиса, помимо основной терморегулирующей функции выполняет и защитную. Благодаря наличию в ее составе низкомолекулярных органических кислот, pH потовой жидкости составляет 5,5. Такая кислая среда создает неблагоприятные условия для поселения на коже бактерий и грибов.

В секрете сальных желез дермы, выделяемой на поверхность эпидермиса, также содержатся неблагоприятно действующие на микроорганизмы органические вещества. Кроме того, жировой секрет защищает кожу от иссушения и растрескивания.

Таким образом, совместное действие ряда защитных механизмов кожного покрова формирует трудно преодолимую преграду для нарушения ее целостности и проникновения микроорганизмов.

Слизистые оболочки. Слизистые оболочки верхнего отдела пищеварительного тракта, дыхательных путей и других органов имеют небольшую механическую прочность и поэтому легко повреждаются внешними факторами. Защита этого слоя достигается высокой способностью его клеток к регенерации, а также выделяемой ими слизью, препятствующей воздействию микроорганизмов на клетки. Большинство секретов слизистых оболочек содержит бактерицидное вещество *лизозим*, способный расщеплять муреиновую клеточную стенку бактерий. Значительное количество лизоцима находится в слезной жидкости, слюне, выделениях слизистых оболочек мочеиспускательного канала и протоков половой системы.

Выделяемые клетками слизистой оболочки желудка *пищеварительные ферменты* и *соляная кислота* также обладают бактерицидными свойствами, как и *компоненты желчи*, выделяемые в просвет тонкого кишечника.

Фагоцитоз — клеточный защитный механизм, осуществляемый за счет поглощения и переваривания чужеродных тел микрофагами (нейтрофилами, эозинофилами, базофилами) и макрофагами (моноцитами). Защитная функция этих видов лейкоцитов впервые была выявлена русским ученым И. И. Мечниковым. Фагоциты обладают способностью к амебoidному передвижению в места повреждения клеток и тканей организма, кровяного сгустка, скопления бактерий. Наибольшей фагоцитарной активностью обладают нейтрофилы и моноциты. Стимулом для передвижения фагоцитов к объекту фагоцитирования являются выделяемые объектом химические вещества (хемотаксис).

Воспаление. При травмах какого-либо участка тела (например, сильном ушибе или повреждении кожи) возникает местная реакция окружающих тканей, которая проявляется в опухании, болезненности и часто даже в повышении температуры. Такое состояние называется *воспалением*. Оно связано с выделением из поврежденных тканей медиаторов воспаления — гистамина и серотонина. Эти вещества вызывают местное расширение кровеносных сосудов, что усиливает приток крови к поврежденному участку и, как следствие, приводит к повышению температуры. Возрастает также проницаемость стенок капилляров, в результате чего повышается выход плазмы крови в межтканевое пространство, что вызывает набухание поврежденного участка ткани — образуется отек. Через стенки капилляров в очаг воспаления активно проникают фагоцитирующие клетки, главным образом нейтрофилы и макрофаги, поглощающие чужеродные вещества и омертвевшие клетки собственной ткани организма.

В плазме также присутствует фибриноген, который в случае повреждения стенок кровеносных сосудов участвует в свертывании крови. Постепенно

симптомы воспаления исчезают и нарушенные функции органа или ткани восстанавливаются.

Таким образом, рассмотренные защитные механизмы человека помогают ему выжить в условиях действия на его организм многих повреждающих факторов среды. Все приведенные механизмы защиты организма являются врожденными, способными защищать организм сразу после его рождения.

Специфическая иммунная защита организма

Если неспецифической защите не удастся обезвредить возбудителей болезни или чужеродное вещество, то включается в действие *специфическая защита* — антигены распознаются лимфоцитами и начинается иммунная реакция. Специфические защитные механизмы — это все формы иммунного ответа, основанные на специфическом распознавании определенного чужеродного материала и последующем его уничтожении. Чужеродный материал, способный вызвать иммунный ответ, как мы уже упоминали, называется *антигеном*. Антигенами являются чужеродные вещества, молекулы которых имеют достаточную молекулярную массу в сочетании с определенной пространственной структурой. Ими чаще всего бывают молекулы белков, гликопротеинов. Кроме того, антигенными свойствами обладают посторонние клетки, ткани, хирургически пересаженные органы или изменившиеся клетки собственного организма (например, раковые).

Для реализации специфического иммунного ответа, как правило, требуется гораздо больше времени, чем для проявления неспецифического ответа. В формировании специфического иммунного ответа обязательно участие иммунокомпетентных клеток, которые продуцируются иммунной системой.

Иммунная система. Различают центральные и периферические органы иммунной системы (рис. 10.26). К *центральному органу* относятся красный костный мозг и тимус, или вилочковая железа. *Периферические органы* иммунной системы представлены лимфоузлами, селезенкой и лимфатическими скоплениями в слизистых оболочках внутренних органов. В центральных органах формируются и созревают иммунокомпетентные клетки, а в периферических — они функционируют.

Защитная реакция организма на антиген осуществляется двумя основными способами.

Один из них — *гуморальный иммунитет* представляет собой защиту организма путем синтеза и секреции лимфоцитами и их потомками специфических защитных белков *антител*, или *иммуноглобулинов*. Поскольку антитела высвобождаются в жидкую среду (плазму крови, тканевую жидкость, лимфу) и атака на антигены происходит также в жидкой среде, такой тип иммунного ответа назван **гуморальным** (лат. *гумор* — жидкость).

Пространственная форма молекул антител и распределение электрического заряда на ее поверхности делают молекулу способной связывать антиген, комплементарный ей по форме и распределению заряда (рис. 10.27). Такое специфическое связывание сходно со специфичностью связывания фермента со своим субстратом (ключ-замок). Реакция антиген — антитело направлена на связывание антигена, подавление его активности и предотвращение таким образом его вредного воздействия на организм.

Другой способ защиты — *клеточный иммунитет*, который осуществляется прямым контактом лимфоцитов с антигеном и разрушением его. Поскольку в атаке участвует вся иммунная клетка, иммунитет получил название **клеточный**. Свободные антитела при этом не выделяются.

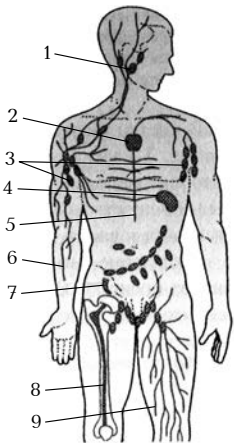


Рис. 10.26. Органы иммунной системы человека: 1 — миндалины; 2 — вилочковая железа; 3 — лимфоузлы; 4 — селезенка; 5 — грудной лимфатический проток; 6 — лимфатические сосуды; 7 — червеобразный отросток; 8 — костный мозг; 9 — лимфатические сосуды

Разделение функций в иммунной системе связано с существованием двух типов лимфоцитов — *В*-клеток (бурсазависимых) и *Т*-клеток (тимусзависимых). *В*-клетки вырабатывают антитела, которые осуществляют гуморальный иммунитет. *Т*-клетки антител не образуют, а с помощью своих поверхностных рецепторов распознают антигены и либо уничтожают их с помощью специальных веществ, либо передают информацию о них *В*-клеткам, включая их в антителообразование или другие формы защиты.

Оба вида лимфоцитов образуются в красном костном мозге из стволовых клеток-предшественниц. Окончательная дифференцировка *Т*-клеток и приобретение ими способности выполнять свои защитные функции происходит только после того, как они пройдут через ткань тимуса. После созревания и дифференцировки *Т*-клетки покидают тимус и проникают в кровяное русло. Некоторые из них остаются в нем, другие мигрируют в тканевую жидкость, лимфатические узлы и ряд других органов, например в селезенку. В этих органах, в случае встречи с определенным антигеном, *Т*-клетки узнают их и начинают делиться. В результате деления образуются клоны идентичных клеток, способных узнавать этот конкретный антиген и реагировать с ним. *Т*-клетки регулярно переходят из лимфоидных тканей в циркулирующую кровь и тканевую жидкость. Такое постоянное патрулирование в организме увеличивает вероятность их встречи с антигеном и, следовательно, его уничтожения.

Что касается *В*-клеток, то впервые они были обнаружены в так называемой фабрициевой сумке (бурсе) птиц, что и дало название этому виду клеток. Эта сумка представляет собой мешковидный вырост клоаки. У млекопитающих этого органа нет. Его функцию выполняют органы лимфатической системы. В красном костном мозге происходят начальные этапы дифференцировки и созревания *В*-клеток. Их суть заключается в формировании на мембранной поверхности *В*-клеток специфических рецепторов, представляющих собой белковые молекулы иммуноглобулина. Затем *В*-клетки покидают красный костный мозг и по кровеносным сосудам перемещаются в лимфоидные органы (лимфоузлы, селезенку), где окончательно дозревают.

Разделение иммунной защиты организма на гуморальный и клеточный носит несколько условный характер. Как вы убедитесь далее, оба вида иммунной защиты тесно связаны между собой и взаимозависимы.

Иммунологическая реакция организма (иммунный ответ)

***Т*-лимфоциты и их функции.** *Т*-клетки практически не отличаются по внешнему виду от *В*-клеток. Однако по характеру развития, функциям и особым поверхностным рецепторам на собственных клеточных мембранах они представляют собой четко обособленную группу иммунокомпетентных клеток.

По функциональным свойствам *Т*-лимфоциты неоднородны. В зависимости от вызываемых ими реакций различают три вида *Т*-лимфоцитов: *Т*-киллеры (клетки-убийцы), *Т*-хелперы (клетки-помощники) и *Т*-супрессоры (клетки-регуляторы).

Т-киллеры способны разрушать зараженные вирусами или злокачественно перерожденные (раковые) клетки или клетки хирургически пересаженных (трансплантированных) тканей и органов путем химической атаки (цитотоксичности) или «продырявливания» их клеточной мембраны. Благодаря этому данный вид клеток называют еще цитотоксическими лимфоцитами.

Т-хелперы с соответствующим по структуре мембранным рецептором распознают чужеродный белок антигена. После его распознавания ответным действием *Т*-хелперов является образование небольших собственных пептидных молекул. Функции этих молекул различны. Так, они стимулируют

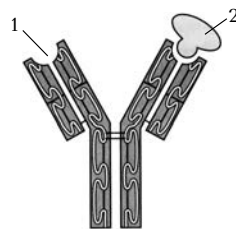


Рис. 10.27. Реакция «антиген — антитело» на примере молекулы иммуноглобулина G: 1 — место присоединения антигена; 2 — антиген

размножение *T*-клеток и процесс воспаления, а также выработку антител *B*-клетками. Стимуляция выражается в ускорении превращения *B*-клеток в плазматические клетки, производящие антитела. В присутствии пептидных молекул *T*-хелперов синтез антител повышается на один-два порядка. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), вызывающий СПИД, преимущественно поражает именно *T*-хелперы, разрушая этим иммунную защиту человека.

T-супрессоры являются регуляторами антителообразования и других иммунных процессов, поддерживают иммунитет в гармоничном состоянии путем регуляции силы иммунного ответа.

***B*-лимфоциты и их функции.** Различают два типа *B*-клеток: эффекторы, или плазматические клетки, и клетки памяти.

Поверхность мембраны *эффекторной B-клетки* несет антигенные рецепторы специфической формы, идентичные образуемым ею антителам (рис. 10.28). Все мембранные рецепторы одной клетки-эффектора одинаковы, поэтому данная клетка может распознать только один-единственный тип антигена. Связываясь с ним, клетка активируется, делится и дает множество одинаковых плазматических клеток. Они выделяют в кровь, тканевую жидкость и лимфу огромное количество антител одного вида против данного антигена. Связанные в комплекс *антитело — антиген* затем распознаются как мишени для уничтожения фагоцитами, поглощаются ими и перевариваются.

Активация *B*-клетки и превращение ее в плазматические клетки, образующие антитела, требует присутствия коротких пептидов, секретируемых *T*-хелперами. В связи с этим нельзя проводить резкой грани между гуморальным и клеточным иммунным ответом, поскольку в них участвуют как *B*-, так и *T*-клетки.

Клетки памяти образуются *B*-лимфоцитами одновременно с плазматическими клетками. Живут они в отличие от других лейкоцитов долго — 20 и более лет, а иногда в течение всей жизни организма. Данный тип клетки играет важную роль в активации иммунного ответа организма при повторном внедрении антигена, вызвавшего формирование этих клеток. Эта реакция носит название *вторичного иммунного ответа* и выражается в на-

ступлении быстрого и массового образования одного вида антител для нейтрализации проникшего в организм антигена. По скорости и силе вторичный иммунный ответ намного превышает первичный ответ, возникающий при первом взаимодействии с антигеном, поэтому каждый новый контакт с данным возбудителем болезни только усиливает сопротивляемость ему. Этот принцип лежит в основе первичной и повторной вакцинаций.

Таким образом, в процессе иммунного ответа, помимо эффекторных клеток, формируется группа долгоживущих клеток иммунной памяти, которые сохраняют в иммунной системе информацию о конкретных антигенах.

Как вы убедились, обычно в иммунном ответе в той или иной мере представлены оба типа иммунитета — клеточный и гуморальный. Кроме того, все типы иммунокомпетентных клеток осуществляют тесное взаимодействие в иммунном ответе организма.

Иногда при контакте с безвредными в норме антигенами окружающей среды, например с цветочной пылью, перхотью животных, пылью и др., у некоторых людей наблюдается неадекватная избыточная реакция иммунного ответа. Она получила название *аллергической*, а вещества, ее вызывающие, были названы *аллергенами*. Примерами проявлений

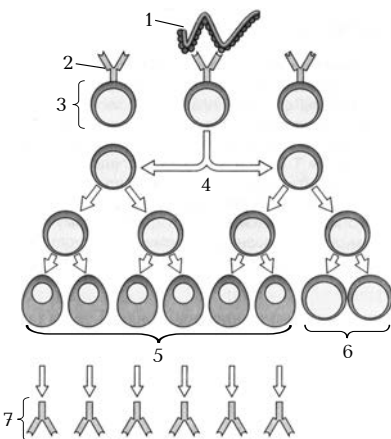


Рис. 10.28. Активация и превращение *B*-клеток в плазматические клетки и клетки памяти: 1 — антиген; 2 — рецептор; 3 — *B*-клетки; 4 — деление; 5 — плазматические клетки; 6 — клетки памяти; 7 — антитела

болезненных аллергических состояний, сопровождающихся воспалением и повреждением тканей, являются крапивница, сенная лихорадка, экзема, астма, ринит.

Виды гуморального иммунитета. В зависимости от происхождения выделяют врожденный и приобретенный иммунитет.

Врожденный иммунитет обусловлен генетически. Он передается по наследству в ряду поколений и характеризуется невосприимчивостью одного биологического вида к возбудителям, вызывающим заболевания у других видов. Так, человек никогда не болеет собачьей чумкой и многими другими болезнями, свойственными животным.

Приобретенный иммунитет — это индивидуальный иммунитет, вырабатываемый в процессе естественной жизни (*естественный иммунитет*) или вызванный искусственным путем (*искусственный иммунитет*). Приобретенный как естественный, так и искусственный иммунитет имеет две формы: активную и пассивную.

Естественный активный иммунитет (постинфекционный) вырабатывается у человека в результате перенесенного заболевания (кори, оспы и др.). Он осуществляется антителами, *вырабатываемыми В-лимфоцитами* заболевшего человека, и сохраняется в течение многих лет.

Естественный пассивный иммунитет осуществляется передачей *готовых* антител от матери плоду (плацентарный) или от матери младенцу при грудном вскармливании (материнский). После рождения ребенка и прекращения его вскармливания грудным молоком приобретенный пассивный плацентарный и материнский иммунитет угасает через 1—1,5 мес.

Искусственный активный иммунитет (поствакцинарный) создается путем введения в организм *вакцин*, содержащих ослабленные или убитые возбудители болезни, против которых организм *сам* вырабатывает антитела. Этот вид иммунитета вырабатывается примерно через две недели после введения вакцины. Он такой же стойкий, как и естественный постинфекционный. Массовое профилактическое вакцинирование населения позволило человечеству избавиться от ряда опасных заболеваний (оспа, полиомиелит, дифтерия и др.).

Искусственный пассивный иммунитет достигается введением лечебных сывороток, содержащих *готовые* антитела против конкретного антигена (например, яда змеи, вируса бешенства, столбнячной палочки и т. п.). Данная форма иммунитета нестойкая, поскольку введенные антитела через 1—1,5 мес. разрушаются.

СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ (КРОВЕНОСНАЯ) СИСТЕМА

Все рассмотренные функции крови выполняются при условии ее циркуляции в организме по *кровеносной системе*. Она состоит из *сердца* и *кровеносных сосудов*, образующих замкнутую систему *кровообращения*.

Строение и работа сердца. Центральным органом кровеносной системы, обеспечивающим непрерывную циркуляцию крови за счет его сокращений, является сердце (рис. 10.29). Расположено сердце в грудной полости почти посередине, слегка смещено влево. Масса сердца взрослого человека 250—360 г и имеет форму конуса. Верхняя, расширенная часть, от которой отходят сосуды, называется *основанием*, а нижняя, суженная — *верхушкой*. Сердце лежит в околосердечной сумке — *перикарде*. Замкнутая полость сумки заполнена жидкостью, уменьшающей трение при сокращениях сердца.

Стенка сердца имеет три слоя: наружный соединительнотканый — *эпикард*, средний мышечный — *миокард* и внутренний эпителиальный — *эндокард*. Наружный слой выполняет защитную функцию. Средний слой образован сердечной мышечной тканью, обладающей свойствами возбудимости, проводимости, сократимости и автоматии. Клетки миокарда соединены между собой отростками, благодаря чему возбуждение между ними быстро передается, охватывая всю сердечную мышцу. Миокард более развит в стенках желудочков, особенно в левом, из полости которого кровь движется по большому кругу кровообращения.

Как и у всех млекопитающих, сердце человека *четырёхкамерное*. Сплошной продольной перегородкой оно разделено на правую и левую половины, каждая из которых состоит из *предсердия* и *желудочка*. Между предсердием и желудочком каждой половины сердца расположены створчатые клапаны: *двустворчатый клапан* в левой половине и *трехстворчатый* — в правой (рис. 10.30). Створки клапанов прикреплены к стенкам желудочков сухожильными нитями. Клапаны пропускают кровь только из предсердий в желудочки, прилегая к стенкам желудочка под давлением потока крови. При сокращении желудочков кровь заполняет куполообразные створки клапанов, которые сближаются и препятствуют обратному попаданию крови в предсердия. Натяжение сухожильных нитей, отходящих от краев створок, препятствует выворачиванию клапанов в сторону предсердий.

В левом желудочке в устье отхождения аорты и в правом желудочке в устье легочного ствола расположены по три *полулунных клапана*, препятствующих обратному току крови при расслаблении желудочков (см. рис. 10.30, в). Полулунные клапаны имеют вид карманов на стенках артерии. Выброс крови под давлением из желудочков в артерии прижимает створки клапанов к стенке артерии, и кровь проходит свободно. При расслаблении желудочков и снижении в нем давления крови возникает обратный отток крови из артерии, заполняющий карманы полулунных клапанов. Они раскрываются, прижимаются друг к другу и перекрывают ток крови в желудочки.

Благодаря наличию створчатых и полулунных клапанов в сердце осуществляется односторонность движения крови: из предсердий — в желудочки, а из желудочков — в сосуды большого и малого кругов кровообращения.

Сердечный цикл. Деятельность сердца состоит в ритмичном чередовании сокращений и расслаблений. Сокращение сердца, сопровождающееся сжатием его полостей, увеличением в них давления и выталкиванием из них крови, называется *систолей*; расслабление, приводящее к расширению полостей сердца, снижению в них давления и заполнению кровью, — *диастолей*.

Период, охватывающий одно сокращение и расслабление сердца, называется *сердечным циклом*. Он последовательно включает три фазы: систолу предсердий и желудочков, их диастолу и общее расслабление предсердий и желудочков. Рассмотрим каждую фазу сердечного цикла на примере работы сердца с частотой пульса, равной 75 ударам в минуту.

При такой частоте сокращений продолжительность сердечного цикла составляет 0,8 с. Первыми сокращаются предсердия, затрачивая 0,1 с, после чего они расслабляются. Сразу же после завершения сокращений предсердий сокра-

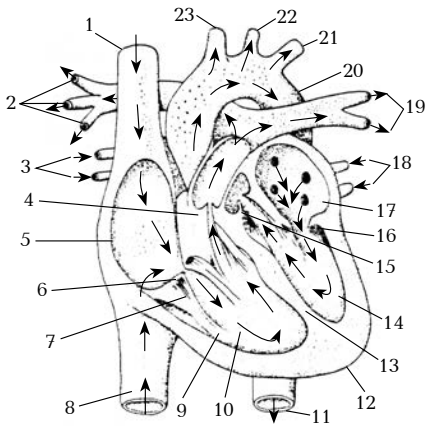
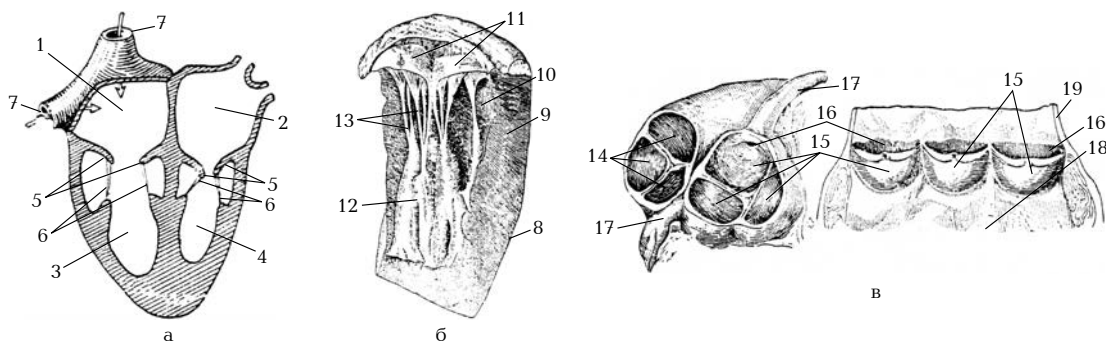


Рис. 10.29. Внутреннее строение сердца (видны клапаны и места впадения и выхода основных артерий и вен): 1 — верхняя полая вена; 2 — ветви правой легочной артерии; 3 — правые легочные вены; 4 — легочный полулунный клапан; 5 — правое предсердие; 6 — трехстворчатый (правый атриовентрикулярный) клапан; 7 — сухожильные струны; 8 — нижняя полая вена; 9 — сосочковая мышца; 10 — правый желудочек; 11 — нисходящая аорта; 12 — верхушка сердца; 13 — межжелудочковая перегородка; 14 — левый желудочек; 15 — аортальный полулунный клапан; 16 — двустворчатый (левый атриовентрикулярный) клапан; 17 — левое предсердие; 18 — левые легочные вены; 19 — ветви левой легочной артерии; 20 — аорта; 21 — левая подключичная артерия; 22 — левая общая сонная артерия; 23 — плечеголовный ствол



В

щаются желудочки в течение 0,3 с, затем наступает их расслабление. Таким образом, продолжительность диастолы предсердий, во время которой они отдыхают, составляет 0,7 с, а желудочков — 0,5 с. Общая продолжительность диастолы предсердий и желудочков — 0,4 с. Благодаря ритмическому чередованию с большей продолжительностью периода расслабления (диастолы) по сравнению с периодом сокращения (систолей) сердце успевает отдохнуть и восстановиться перед очередным сокращением и, не утомляясь, работать в течение всей жизни.

В покое частота сердечных сокращений в среднем равна 60—80 ударам в минуту. При физической нагрузке она возрастает до 150—200 ударов в минуту.

За одно сокращение из каждого желудочка выталкивается по 65—70 мл крови (*ударный, или систолический, объем*), за 1 мин — около 5 л крови (*минутный объем*). При тяжелой физической нагрузке минутный объем возрастает в 4—5 раз и более. У спортсменов это происходит за счет увеличения как частоты сердечных сокращений, так и ударного объема, у нетренированных людей — только в результате увеличения частоты сердечных сокращений, что приводит к изнашиванию сердца.

Автоматия сердца. Особенностью сердечной мышцы является ее способность сокращаться в изолированном от организма состоянии в течение нескольких часов и даже суток, если создать для этого необходимые условия. Способность изолированного сердца сокращаться под влиянием импульсов, возникающих в нем самом, называется *автоматией*.

Источником автоматии служат входящие в состав миокарда специализированные мышечные клетки, которые генерируют ритмические биоэлектрические импульсы и проводят их с большей скоростью по сравнению с типичными мышечными клетками сердца. Импульс зарождается в клетках стенки правого предсердия рядом с местом впадения полых вен. По проводящей системе импульсы передаются мышечным клеткам предсердий, а затем желудочков, поэтому вначале сокращаются предсердия, а затем желудочки, выталкивая кровь из полостей сердца.

Распространение возбуждения по сердечной мышце регистрируют с помощью высокочувствительного прибора электрокардиографа. По регистрируемой записи на самописце изменения электрической активности в течение сердечного цикла — *электрокардиограмме* — врач судит о состоянии сердечной мышцы и ее работе.

Регуляция деятельности сердца осуществляется вегетативной нервной системой и гуморальными механизмами (гормонами).

Увеличение частоты и силы сердечных сокращений осуществляется нервными импульсами, поступающими к сердцу по нервам симпатического отдела

Рис. 10.30. Строение клапанов сердца: а — створчатые клапаны между предсердиями и желудочками; 2 — левое предсердие; 3 — правый желудочек; 4 — левый желудочек; 5 — клапаны; 6 — сухожильные нити, не позволяющие клапанам прогнуться в сторону предсердий; 7 — верхняя и нижняя полые вены; б — двустворчатый клапан сердца; 8 — наружная оболочка сердца; 9 — мышечная стенка сердца; 10 — внутренняя оболочка сердца; 11 — двустворчатый клапан; 12 — сосочковый мускул; 13 — сухожильные нити; в — полулунные клапаны (вид сверху и вид на разрезанном сосуде); 14 — клапан между правым желудочком и легочной артерией; 15 — клапан между левым желудочком и аортой; 16 — отверстие венечной артерии; 17 — венечные артерии; 18 — стенка желудочка; 19 — стенка аорты

вегетативной нервной системы. Противоположный эффект на работу сердца оказывают нервные импульсы, идущие к сердцу от парасимпатического отдела ВНС.

Гормон мозгового вещества надпочечников *адреналин* увеличивает частоту и силу сердечных сокращений, что подобно влиянию симпатического отдела ВНС. Сходное с парасимпатическим влиянием действие на работу сердца оказывает гормон *ацетилхолин*.

Работоспособность сердечной мышцы зависит от ионного состава крови. Увеличение концентрации K^+ тормозит, а избыток ионов Ca^{2+} , наоборот, усиливает работу сердца.

Строение и функции кровеносных сосудов. В зависимости от строения и функций выделяют три вида кровеносных сосудов: артерии, вены и капилляры.

Артерии — сосуды, несущие кровь от сердца к органам и тканям. Поступающая в них под давлением кровь и необходимость быстро донести ее к органам определяют особенности строения артерий.

Стенки артерий состоят из трех слоев. *Наружный* соединительнотканый слой выполняет защитную функцию, обладает прочностью и эластичностью, пронизан нервными ответвлениями. *Средний* слой образован гладкими мышечными клетками, сокращения которых способны изменять диаметр просвета артерии и соответственно количество крови, поступающей к органу. Слой пронизан эластическими волокнами. *Внутренний* слой представлен однослойным плоским эпителием, выстилающим полость артерии. В результате такого строения образуется прочная, толстая и упругая трубка, способная выдержать большое давление крови и перераспределить ее в зависимости от необходимости между органами: к интенсивно работающим — подать больше крови, к слабо работающим — уменьшить кровоток. Крупные артерии многократно разветвляются на более мелкие сосуды — *артериолы*, а самые мелкие конечные из них переходят в *капилляры*.

Самая крупная артерия — *аорта*, отходящая от левого желудочка сердца. Ее диаметр — 2,5 см, артерий — 4 мм, артериол — менее 0,1 мм. Скорость движения крови в крупных артериях достигает 0,5 м/с.

Давление крови в артериальной системе пульсирующее: в период систолы оно выше, во время диастолы — ниже. Несмотря на то что сердце выбрасывает кровь в артерии порциями, эластичность стенок артерий обеспечивает непрерывный ток крови по сосудам.

По мере возрастающего ветвления артерий и уменьшения их диаметра количество эластических волокон, расширяющих сосуды, уменьшается, а мышечных — увеличивается. Сокращение стенок мелких артериол усиливает влияние на перераспределение крови, поэтому артериолы — своеобразные «краны» сердечно-сосудистой системы. Расширение их просвета увеличивает приток крови в капилляры соответствующей области, улучшая местное кровоснабжение, а сужение резко снижает его.

Пульсовая волна — волнообразно распространяющиеся вдоль артерий ритмические колебания их стенок в соответствии с ритмом работы сердца. Ее возникновение объясняется эластичностью и упругостью стенок артерий. Поскольку артерии залегают в глубине органов и тканей, пульсовую волну можно нащупать в тех местах, где артерии расположены поверхностно (область лучезапястного сустава).

Капилляры — наиболее короткие (0,2–0,7 мм) и тонкие (диаметр около 7 мкм) сосуды, соединяющие самые мелкие артериолы с венулами. Капилляры расположены в межклеточных пространствах, тесно прилегая к клеткам органов и тканей. Стенка капилляров образована одним слоем плоских эпителиальных клеток, между которыми имеются поры, через которые про-



исходит обмен газами, питательными и другими веществами с тканевой жидкостью. Быстрому обмену различными веществами и газами между кровью в капиллярах и тканевой жидкостью способствует также низкая скорость тока крови в капиллярах, составляющая 0,5—1 мм/с. Благодаря этому именно с участием капилляров происходит выполнение всех функций крови.

Общее количество всех капилляров в организме человека составляет примерно 40 млрд, общая их длина — около 100 тыс. км.

Вены — кровеносные сосуды, по которым кровь течет к сердцу. Кровь, пройдя через капилляры, поступает в мелкие *венулы*, которые, сливаясь, образуют более крупные венозные сосуды. Их стенка, как и у артерий, состоит из трех слоев, но средний слой ее более тонкий и содержит меньшее количество эластических волокон. Стенки вен в отличие от артерий способны растягиваться и спадаться, поэтому венозная система является вместительным резервуаром крови.

Скорость движения крови в венах составляет примерно 0,2 м/с и менее. Диаметр самых крупных вен — *полых* — составляет 30 мм, вен — 5, венул — 0,02 мм. Давление крови в венах обычно низкое. Вены (в основном нижних конечностей) снабжены *полулунными клапанами*, препятствующими обратному току крови. Отток крови от вен улучшает двигательная активность окружающих мышц.

Круги кровообращения. У человека, как и у всех млекопитающих, существует два круга кровообращения: *большой* и *малый*, или *легочный* (рис. 10.31).

Большой круг кровообращения начинается от левого желудочка аортой, которая дугообразно изгибается влево и затем спускается вниз вдоль позвоночного столба. От дуги аорты отходят крупные артерии, несущие кровь к голове и верхним конечностям. От нижней части аорты отходят артерии, снабжающие кровью туловище, внутренние органы и нижние конечности. Из капилляров кровь собирается в венулы, затем они сливаются в более крупные вены. Вены от верхней части тела (головы, шеи и верхних конечностей) несут кровь в *верхнюю полую вену*, а от туловища, органов брюшной полости и нижних конечностей — в *нижнюю полую вену*. Обе полые вены впадают в правое предсердие, в котором и заканчивается большой круг кровообращения.

По артериям большого круга кровообращения течет *артериальная кровь*, насыщенная кислородом, а по венам — *венозная*, содержащая продукты жизнедеятельности клеток (диоксид углерода, мочевину и др.).

Малый круг кровообращения начинается в правом желудочке, откуда венозная кровь выталкивается в *легочный ствол*, который разделяется на левую и правую *легочные артерии*, входящие в легкие. В легких артерии ветвятся, диаметр их уменьшается, затем переходят в капилляры, густо оплетающие легочные пузырьки (альвеолы). Между венозной кровью капилляров и альвеолами происходит обмен

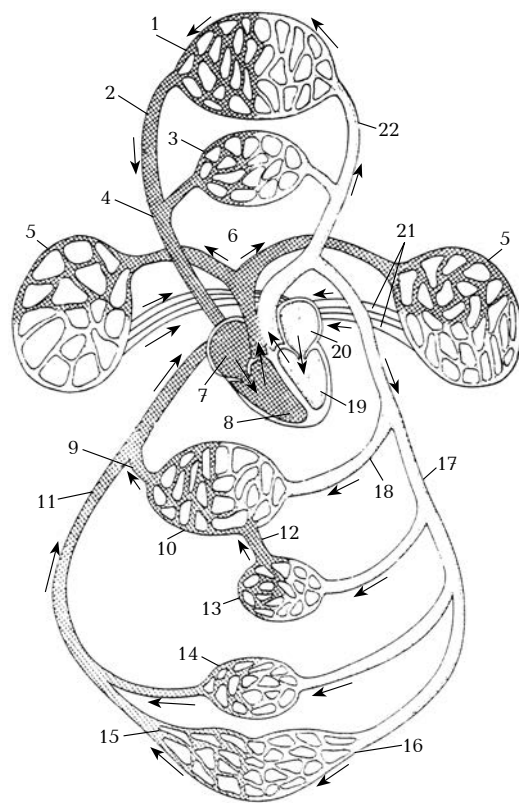


Рис. 10.31. Схема кровообращения (артериальная кровь показана светлым, венозная — темным): 1 — голова и шея; 2 — вены верхней половины тела; 3 — руки и грудь; 4 — верхняя полая вена; 5 — легкое; 6 — легочные артерии; 7 — правое предсердие; 8 — правый желудочек; 9 — печеночные вены; 10 — печень; 11 — нижняя полая вена; 12 — воротная вена; 13 — пищеварительный тракт; 14 — почки; 15 — вены нижней половины тела; 16 — артерии нижней половины тела; 17 — аорта; 18 — печеночная артерия; 19 — левый желудочек; 20 — левое предсердие; 21 — легочные вены; 22 — артерии верхней половины тела

газами: кровь капилляров легких теряет углекислый газ и насыщается кислородом, превращаясь в артериальную. Капилляры легких, сливаясь, формируют венулы, которые в свою очередь образуют более крупные вены. И наконец, от каждого легкого отходят по две крупные легочные вены, самостоятельно впадающие в левое предсердие, в котором и заканчивается малый круг кровообращения.

Таким образом, в отличие от большого круга кровообращения, в малом круге по артериям течет венозная кровь, а по венам — артериальная.

Движение крови по сосудам. Движение любой жидкости, в том числе и крови, подчиняется общим физическим законам: она течет из области высокого давления в область, где оно ниже. Нагнетание крови в сосуды осуществляет сердце, выполняя функцию насоса. Движение крови в сосудах встречает сопротивление в виде трения о его стенки. Чем тоньше сосуд, тем выше сопротивление, тем меньше скорость кровотока.

Наибольшая скорость тока крови в аорте — примерно 0,5 м/с, в самых тонких сосудах капиллярах она наименьшая — около 0,5—1,2 мм/с. Скорость движения крови в венах по мере приближения к сердцу увеличивается до 0,2 м/с.

Кровяное давление. Кровь, нагнетаемая в сосуды, оказывает на их стенки давление, которое у здорового человека находится на относительно постоянном уровне. Оно может повыситься при выполнении физической нагрузки, нервном напряжении, но вскоре возвращается к норме.

В течение сердечного цикла давление в аорте в фазе сокращения желудочков наибольшее и равно 115—140 мм рт. ст. Оно называется *систолическим*. В фазе расслабления желудочков оно минимальное, равное 60—85 мм рт. ст. Это *диастолическое давление*. В мелких артериях давление снижается до 60—70 мм рт. ст., в капиллярах оно составляет 30—40 мм рт. ст., в мелких венах — 10—20 мм рт. ст., а в полых венах вблизи места их впадения в правое предсердие близко к нулю. Разность давлений в артериальном и венозном кровотоках обоих кругов кровообращения способствует продвижению крови по сосудам и возвращению ее в сердце.

Кровяное давление измеряют с помощью тонометра.

При патологии сердечно-сосудистой системы могут развиваться *гипертония* — повышенное кровяное давление или *гипотония* — пониженное против нормы.

Нейрогуморальная регуляция кровообращения. У человека бывают разные жизненные ситуации, в которых он активен умственно или физически, находится в стрессе, отдыхает либо работает в обычном для него режиме. Работающие органы и ткани лучше снабжаются кровью и получают больше необходимых веществ, чем неработающие. Даже в покое в организме происходит перераспределение крови. Например, после приема пищи кровоснабжение отделов кишечника значительно усиливается; при умственной работе ткани мозга также более интенсивно обеспечиваются кровью. Во время этих ситуаций разные органы и ткани нуждаются в большем или меньшем притоке необходимых для жизнедеятельности организма веществ, доставляемых кровью.

Нервная регуляция кровообращения осуществляется воздействием импульсов, идущих от *сосудодвигательного центра*, расположенного в продолговатом мозге. Его волокна иннервируют мышечные клетки артерий и артериол. Действие центра двояко. Активизация одного из его отделов вызывает сужение просвета артерий и повышение кровяного давления. Импульсы, поступающие из другого отдела сосудодвигательного центра, оказывают противоположное действие.

Гуморальная регуляция движения сосудов осуществляется гормонами. Среди них наиболее активный *адреналин*. Поступление его в кровь повышает давление путем сужения всех артерий и артериол, кроме сосудов мозга и сердца.



Первая помощь при кровотечениях. При ранении кожи или мягких тканей возникает кровотечение. Оно может быть *внешним*, когда кровь выливается наружу, и *внутренним*, когда целостность кожных покровов не нарушена и кровь изливается в орган, полость или межклеточное пространство. При небольших поверхностных поражениях сосудов, когда кровь вытекает в рыхлую клетчатку, возникает *гематома* (*синяк*). Желательно приложить к ушибленному месту холодный предмет, что способствует сужению сосудов и уменьшению боли.

В зависимости от вида поврежденных сосудов различают капиллярное, венозное и артериальное кровотечение.

Капиллярное кровотечение бывает при небольшом неглубоком порезе, когда кровь слегка сочится из раны. Рану следует промыть перекисью водорода, смазать ее края йодной настойкой (йодом) или бриллиантовым зеленым (зеленкой), после чего зажать рану марлевым тампоном.

При *венозном кровотечении* темно-вишневая кровь вытекает довольно сильной струей без толчков. Следует смазать кожу вокруг раны йодом, закрыть ее стерильной салфеткой и туго перебинтовать. Если повязка не останавливает кровь, то *ниже* места повреждения следует наложить жгут.

Наиболее опасно *артериальное кровотечение*, при котором ярко-алая кровь вытекает пульсирующей струей, а при повреждении крупной артерии бьет фонтаном. Необходимо быстро пережать артерию пальцами *выше* места повреждения, а затем наложить жгут не более чем на 2 ч в теплое время года, а в холодное — на 1 ч.

При *носовом кровотечении* пострадавшему плотно сжимают носовым платком ноздри и кладут на переносицу холодную влажную салфетку.

Лимфатическая система. Началом лимфатической системы являются лежащие в межклеточном пространстве слепо замкнутые *лимфатические капилляры*, в полость которых фильтруется тканевая жидкость, образуя лимфу (см. рис. 10.24). Количество лимфы в организме человека — примерно 1,5—2 л.

Химический состав лимфы близок к составу плазмы крови, но содержание белков в 3—4 раза меньше, поэтому лимфа имеет небольшую вязкость. В ней содержится фибриноген, поэтому она способна свертываться. Из форменных элементов преобладают лейкоциты, эритроциты практически отсутствуют. Лимфа, оттекающая от кишечника, содержит значительное количество жира.

От многочисленных сетей лимфатических капилляров берут начало более крупные *лимфатические сосуды*, снабженные полулунными клапанами. По ходу лимфатических сосудов имеются *лимфатические узлы*, в которых лимфа обогащается лейкоцитами и очищается от бактерий. Наибольшие скопления лимфатических узлов на шее под нижней челюстью, в подмышечных впадинах, в паху, локтевых и коленных сгибах и др.

Самые крупные лимфатические сосуды, по которым лимфа оттекает от правой половины головы, правой руки и правой части груди, впадают в *правый лимфатический проток*, который, в свою очередь, впадает в правую подключичную вену, а она — в верхнюю полую вену. От остальной, большей части тела лимфатические сосуды впадают в *грудной лимфатический проток*, из него лимфа поступает в левую подключичную вену, а последняя — в верхнюю полую вену.

Ток лимфы медленный, в крупных лимфатических сосудах он равен 0,25—0,30 мм/мин. Механизм передвижения лимфы сходен с механизмом передвижения крови в венах.

Функциями лимфатической системы являются возврат жидкой части крови в кровеносную систему, очищение ее в лимфоузлах, всасывание жиров и их доставка в кровеносную систему организма.

ДЫХАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Дыхание — совокупность физиологических процессов, обеспечивающих поступление кислорода в организм, использование его в окислении органических веществ для получения энергии и удаление из организма углекислого газа. Полученную энергию клетки используют в разнообразных процессах жизнедеятельности организма.

Выделяют две формы дыхания: внешнее и внутреннее. **Внешнее дыхание** включает доставку кислорода и вынос углекислого газа через органы дыхательных путей и газообмен в легких; **внутреннее дыхание** осуществляется в клетках тканей и органов (биологическое окисление). Связывает эти две формы дыхания транспорт газов кровью, рассмотренный выше.

Внешнее дыхание, или газообмен, осуществляет **дыхательная система**, состоящая из дыхательных путей и легких.

Дыхательные пути. В состав дыхательных путей входят: носовая полость, носоглотка, ротоглотка, гортань, трахея, бронхи, бронхиолы. Эти органы имеют эластичный хрящевой осто (за исключением бронхиол), и их полость выстлана мерцательным эпителием. Рассмотрим их строение и функции.

Носовая полость — начальный отдел дыхательных путей. Костно-хрящевая перегородка делит ее на левую и правую половины. На боковых стенках каждой половины носа имеются по три носовые раковины — верхняя, средняя и нижняя, образующие между собой соответственно три носовых хода. Слизистая оболочка носа представлена многослойным мерцательным эпителием. Выделяемый слизистыми железами секрет обволакивает частички пыли и увлажняет вдыхаемый атмосферный воздух. Здесь он обогревается за счет тепла богатой кровеносной капиллярной сети в слизистой оболочке носа. В слизистой оболочке верхней носовой раковины расположены обонятельные рецепторные клетки, воспринимающие запахи.

Из полости носа вдыхаемый воздух поступает через хоаны (внутренние ноздри) в **носоглотку**, далее — в **ротоглотку**, в которой пересекаются дыхательные и пищеварительные пути, а затем продвигается в гортань.

Гортань — воронкообразный полый орган, сверху прикрепленный к подъязычной кости, а внизу переходящий в трахею (рис. 10.33). Над входом в гортань расположен **надгортанник** — подвижный пластинчатый хрящ, который закрывает вход в гортань при глотании.

Гортань образована тремя передними непарными хрящами, тремя задними парными хрящами, соединенными между собой суставами, связками и пучками поперечно-полосатых мышц. Самый крупный хрящ гортани — **щитовидный** — состоит из двух четырехугольных пластинок, соединенных впереди под углом. У мужчин он выступает вперед, образуя **кадык**.

Полость гортани выстлана слизистой оболочкой, образующей две пары складок, из которых нижняя прикрывает **голосовые связки**. Голосовые связки натянуты между щитовидным и одним из парных хрящей. Пространство между

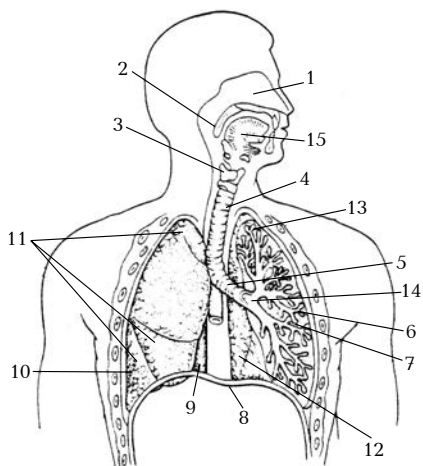


Рис. 10.32. Схема строения дыхательных путей: 1 — носовая полость; 2 — мягкое небо; 3 — гортань; 4 — трахея; 5 — левый бронх; 6 — бронхиола; 7 — альвеолы; 8 — диафрагма; 9 — пристеночная плевра; 10 — легочная плевра; 11 — три доли правого легкого; 12 — сердечная вырезка; 13 — верхушка легкого; 14 — корень легкого; 15 — язык

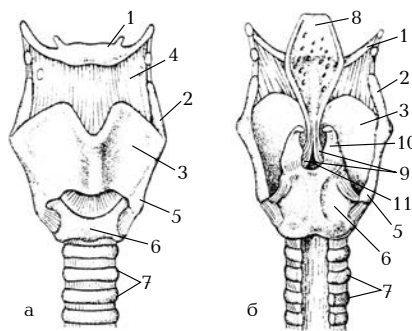


Рис. 10.33. Хрящи и связки гортани: а — вид спереди, б — вид сзади: 1 — подъязычная кость; 2 — верхний рог щитовидного хряща; 3 — щитовидный хрящ; 4 — щитоподъязычная мембрана; 5 — нижний рог щитовидного хряща; 6 — перстевидный хрящ; 7 — хрящи трахеи; 8 — надгортанник; 9 — голосовые связки; 10 — черпаловидный хрящ; 11 — голосовая щель

левыми и правыми связками называется *голосовой щелью*. При сокращении определенных мышц гортани изменяется положение хрящей, между которыми натянуты связки. Благодаря этому связки сближаются и натягиваются или, наоборот, расходятся, изменяя форму голосовой щели. Во время дыхания связки разведены и голосовая щель широкая; при пении и разговоре они сближаются и щель становится узкой. Воздух, проходя через эту щель, вызывает вибрацию краев связок, образуя звук. В формировании звука принимают участие также язык, зубы, губы, щеки. Два резонатора — ротовая и носовая полости — придают голосу тон и силу.

Трахея представляет собой трубку длиной 10—15 см. Форму трахеи придают 16—20 незамкнутых сзади хрящевых полуколец, соединенных плотной соединительной тканью. К задней мягкой части трахеи прилежит пищевод. Полость трахеи выстлана мерцательным эпителием, движение ресничек которого удаляет склеенные слизью пылевые частицы из легких в глотку. Как и в верхних отделах дыхательного пути, в трахее воздух также увлажняется и согревается.

На уровне 4—5-го грудных позвонков трахея делится на левый и правый **бронхи**. Каждый из них входит в ворота соответствующего легкого и разделяется по числу основных долей легкого: на два *долевых бронха* в левом легком и три — в правом. Далее долевые бронхи ветвятся на бронхи второго и третьего порядка, а последние делятся дихотомически на бронхиолы, образуя бронхиальное дерево. В отличие от бронхов, по строению напоминающих трахею, в бронхиолах нет хрящевых полуколец. Их стенки пронизаны эластическими волокнами, между которыми расположены гладкомышечные клетки. Диаметр концевых бронхиол — около 0,5 мм.

Легкие занимают почти всю грудную полость. Они плотно прилегают к стенкам грудной клетки, оставляя место для сердца, крупных сосудов, пищевода, трахеи. Правое легкое состоит из трех долей, левое — из двух. Снаружи легкие покрыты плотной эластичной соединительнотканной оболочкой — *легочной плеврой* (рис. 10.34). Грудная полость с внутренней стороны выстлана *пристеночной плеврой*. Между легочной и пристеночной плеврой находится узкая щель, называемая *межплевральной полостью*. Она герметично замкнута и заполнена небольшим количеством жидкости, являющейся смазкой для уменьшения трения легких о стенки грудной полости при дыхании. В межплевральной полости давление ниже атмосферного, что создает присасывающую силу, расправляющую эластичные легкие и прижимающую их к стенкам грудной полости. Благодаря этому легкие следуют за движениями грудной клетки.

Каждая конечная бронхиола разветвляется на ходы, стенки которых образованы легочными пузырьками — *альвеолами* (рис. 10.35). Стенки альвеол образованы однослойным плоским эпителием, лежащим на тончайшем слое эластических волокон. Снаружи альвеолы густо оплетены кровеносными капиллярами. Диаметр альвеол — 0,2—0,3 мм. Их общее количество в легких примерно 300—400 млн, совместно они образуют газообменную поверхность, равную 100—150 м². Большая поверхность альвеол способствует лучшему газообмену.

Дыхательные движения. Для газообмена организма с внешней средой необходима постоянная смена воздуха в альвеолах — *вентиляция легких*. Она осуществляется регулярными движениями грудной клетки при вдохе и выдохе.

Диафрагма — куполообразная сухожильно-мышечная перегородка, отделяющая грудную полость от брюшной. *Вдох* осуществляется активно за счет сокращения наружных косых межреберных мышц (ребра приподнимаются

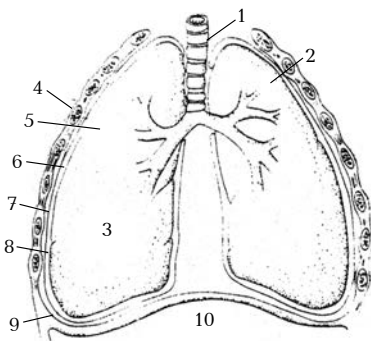


Рис. 10.34. Строение легких: 1 — трахея; 2 — бронх; 3 — легкое; 4 — грудная стенка; 5 — внутрилегочное давление; 6 — внутриплевральное давление; 7 — легочная плева; 8 — плевральная полость; 9 — пристеночная плева; 10 — диафрагма



Рис. 10.35. Схема дольки легкого. Левая долька покрыта капиллярами

и отводятся в стороны, а грудина — вперед), увеличивающих объем грудной клетки, и диафрагмы. Сокращаясь, диафрагма уплощается и опускается, что увеличивает объем грудной полости и понижает давление в межплевральной щели. Эластичные легкие, следуя за расширенной грудной клеткой и увеличенной грудной полостью, растягиваются, давление в альвеолах снижается, и атмосферный воздух засасывается в них через воздухопроводящие пути.

Выдох при спокойном дыхании осуществляется пассивно вследствие расслабления наружных межреберных мышц, под тяжестью возвращения в исходное положение ребер и расслабления диафрагмы, которая подымается куполом. Объем грудной клетки уменьшается, легкие сжимаются, давление в альвеолах становится выше атмосферного, и воздух выходит из них через дыхательные пути наружу. При сильном, форсированном выдохе сокращаются внутренние косые межреберные мышцы, мышцы брюшной стенки и др.

Частота дыхательных движений взрослого человека в спокойном состоянии равна 15—17 раз в минуту. При физической нагрузке дыхание учащается в 2—3 раза. У тренированных людей дыхание более редкое, но глубокое.

Жизненная емкость легких (ЖЕЛ). При спокойном дыхании в легкие поступает и выводится около 500 см^3 воздуха. Это так называемый *дыхательный объем*. После спокойного вдоха при волевом усилии можно дополнительно вдохнуть еще 1500 см^3 — это *резервный объем вдоха*. После спокойного выдоха усилием можно дополнительно выдохнуть еще 1500 см^3 — это *резервный объем выдоха*. Сумма трех объемов составляет *жизненную емкость легких*, равную в среднем 3500 см^3 . У спортсменов, особенно пловцов и гребцов, она может достигать 6000 см^3 . Измеряют ЖЕЛ с помощью прибора — спирометра.

Газообмен в легких (рис. 10.36). Обмен газов между альвеолами и кровью происходит вследствие *диффузии*. В альвеолярном воздухе кислорода на 65 % больше, чем в венозной крови капилляров, поэтому он перемещается из альвеол в капилляры. Гемоглобин эритроцитов присоединяет кислород и превращается в оксигемоглобин, и кровь становится *артериальной*. Углекислый газ движется в обратном направлении — из капилляров, где его больше, в альвеолы — и выводится наружу из организма при выдохе.

Газообмен в тканях. Он происходит в капиллярах большого круга кровообращения, где кровь отдает кислород клеткам органов и тканей и получает углекислый газ. В клетках тканей, где кислород используется, его содержание ниже, чем в капиллярах. Благодаря этому кислород путем диффузии перемещается из кровеносных капилляров в тканевую жидкость, а из нее —

в клетки, где используется в реакциях окисления. Тот же механизм, что и для кислорода, лежит в основе поступления углекислого газа из клеток тканей и органов в кровеносные капилляры. Кровь, обогатившись углекислым газом, становится *венозной* и поступает в правое предсердие. Пройдя через легкие малого круга кровообращения, кровь насыщается кислородом, становится *артериальной* и поступает в левое предсердие.

Нейрогуморальная регуляция дыхания. Основной структурой *нервной регуляции* дыхания является *дыхательный центр* продолговатого мозга. Он состоит из центра вдоха и центра выдоха, обеспечивая ритмичную деятельность дыхательных мышц и соответственно смену вдоха на выдох. В свою очередь дыхательный центр испытывает воздействие вышележащих отделов головного мозга, расположенных в коре больших полушарий. Это подчинение дает возможность человеку сознательно изменять ритм и глубину дыхания.

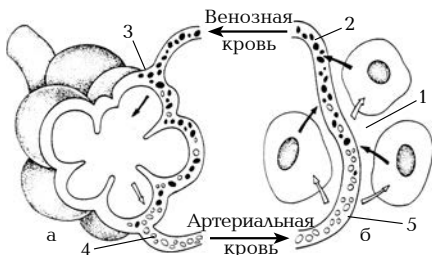


Рис. 10.36. Схема газообмена в организме: а — газообмен в легких; б — газообмен в тканях: 1 — тканевая жидкость; 2 — капилляр с венозной кровью; 3 — венозная кровь в капиллярах альвеол; 4 — капилляр с артериальной кровью; 5 — капилляр с артериальной кровью в тканях тела

Гуморальная регуляция дыхания осуществляется воздействием повышенных концентраций углекислого газа путем активизации центра вдоха. Информацию о содержании углекислого газа в крови дают специальные рецепторы, расположенные в стенках крупных артерий. Они, возбуждвшись, посылают импульсы к центру вдоха, и, как следствие, усиливается вентиляция легких. Первый вдох новорожденного ребенка осуществляется под действием только гуморальной регуляции, пробуждая нервный дыхательный центр к деятельности.

Гигиена дыхания. Она включает комплекс мер, направленных на поддержание нормального функционирования дыхательной системы. Следует дышать только через нос; вдох должен быть короче выдоха; соблюдать и формировать правильную осанку; по возможности дышать свежим воздухом; проводить влажную уборку помещений; регулярно проветривать рабочие и домашние помещения; проводить дыхательную гимнастику и укреплять дыхательную мускулатуру; использовать марлевые повязки или респираторы в помещениях в повышенном загрязнении воздуха.

Большую опасность для органов дыхания представляет курение. Вдыхание табачного дыма вызывает хронические воспалительные процессы в легких и бронхах. У курильщиков снижается жизненная емкость легких, нарушаются функции голосового аппарата. Канцерогенные вещества табачного дыма повышают риск возникновения рака легких, гортани и других органов дыхания. Следует избегать пассивного курения, т.е. пребывания некурящего человека в накуренном помещении, приносящего такой же вред, как и курильщику. Во многих странах мира ведется активная борьба с табакокурением.

Воздушно-капельные инфекции, их предупреждение. Многие возбудители заболеваний (бактерии, вирусы) передаются воздушно-капельным путем при разговоре, сильном выдохе, чихании, кашле из органов дыхания больного. Такой способ распространения заболеваний характерен для гриппа, дифтерии, коклюша, кори, скарлатины, туберкулеза и др. Профилактическими мерами предупреждения таких заболеваний являются: ограничение контакта с больным; избегание посещения массовых мероприятий во время эпидемий; защита носа и рта марлевыми повязками; вакцинация населения; закаливание организма; регулярное флюорографическое обследование.

Первая помощь при остановке дыхания. Остановка дыхания даже на 4—5 мин может привести к смерти или глубокой инвалидности.

У пострадавшего при утоплении следует как можно скорее удалить из воздухоносных путей и легких воду, песок, рвотные массы. С этой целью его кладут животом на колено и резкими движениями сдавливают грудную клетку. Затем пострадавшего переворачивают на спину, освободив шею, грудь и живот от одежды. Под лопатки подкладывают твердый валик или руку, голову запрокидывают и приступают к *искусственному дыханию*. Язык пострадавшего не должен западать и закрывать гортань, поэтому его придерживают носовым платком либо салфеткой.

Оказывающий первую помощь периодически (16—18 раз в минуту) активно вдвухает воздух через марлю или носовой платок в рот или нос пострадавшему. Если его грудная клетка при этом расширяется, то помощь оказывается верно и ее следует еще продолжить некоторое время.

Если у пострадавшего не бьется сердце, искусственное дыхание надо сочетать с *непрямым массажем сердца*. Для этого после вдвухания воздуха в легкие следует производить 4—5 быстрых надавливаний на нижнюю часть грудины, стараясь прогнуть ее по направлению к позвоночнику на 4—5 см.

ПИЩЕВАРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Для построения собственных структур клеток человеку необходимы разнообразные вещества, энергия, витамины, минеральные соли, вода, которые поступают с пищей. Вода, минеральные соли, витамины усваиваются организмом человека в том виде, в котором они находятся в пище. Белки, жиры, сложные углеводы, содержащиеся в пищевых продуктах, являются высокомолекулярными соединениями и без предварительного расщепления до низкомолекулярных соединений (мономеров) не могут пройти через биологические мембраны клеток. Пищеварительная система специализируется на переработке поступающей в организм пищи в форму, доступную для усвоения клетками.

Пищеварение — совокупность процессов, обеспечивающих механическое измельчение пищи, расщепление питательных веществ на компоненты, пригодные для всасывания в кровь и лимфу и участия в обмене веществ.

Продукты расщепления поступают во внутреннюю среду организма и переносятся к клеткам, где окисляются с выделением энергии (АТФ) либо используются как строительный материал в процессах биосинтеза собственных структур.

Пищеварение происходит в пищеварительном тракте под воздействием ферментов, выделяемых пищеварительными железами. Он выполняет следующие основные функции:

- **секреторную**, заключающуюся в выработке пищеварительных ферментов: *протеаз* — расщепляющих белки; *липаз* — расщепляющих жиры, и *амилаз* — расщепляющих углеводы. Ферменты ускоряют течение химических реакций, действуя как катализаторы. Они обладают высокой *специфичностью*, воздействуя только на определенное химическое вещество или на его промежуточный продукт распада, а также высокой активностью, действуя в малых количествах. Ферменты активны при оптимальной температуре (36—37 °С) и определенной реакции среды;
- **моторную**, или *двигательную*, производимую мускулатурой пищеварительного тракта: жевание, глотание, продвижение пищи по пищеварительному тракту, выбрасывание непереваренных остатков;
- **всасывания** продуктов расщепления пищи во внутреннюю среду организма.

Отделы пищеварительной системы человека, их строение и функции. Пищеварительная система состоит из следующих отделов: ротовой полости, глотки, пищевода, желудка, тонкого и толстого кишечника (рис. 10.37). В полость пищеварительного тракта и разных его отделов выделяют пищеварительные соки такие крупные пищеварительные железы, как печень, поджелудочная железа, слюнные железы и мелкие железы слизистой оболочки желудка и кишечника.

Стенки полых органов пищеварительной трубки состоят из трех слоев: наружного — *соединительнотканного*, среднего — *гладкомышечного* и внутреннего — *слизистого*. Степень развитости гладкомышечного слоя разная, наибольшая в желудке, пищеводе, более тонкий слой — в кишечнике. За счет сокращений кольцевой и продольной мускулатуры стенок осуществляются перистальтические движения пищеварительного тракта и продвижение пищевой массы.

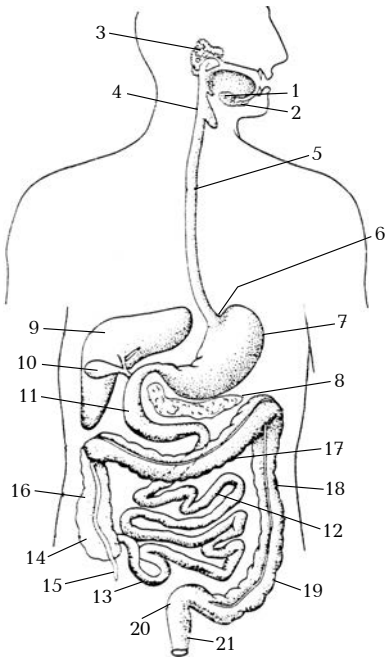


Рис. 10.37. Органы желудочно-кишечного тракта: 1, 2 — слюнные железы (1 — подъязычная; 2 — подчелюстная); 3 — околоушная слюнная железа; 4 — глотка; 5 — пищевод; 6 — кардия; 7 — желудок; 8 — поджелудочная железа; 9 — печень; 10 — желчный пузырь; 11 — двенадцатиперстная кишка; 12 — тощая кишка; 13 — подвздошная кишка; 14 — слепая кишка; 15 — аппендикс; 16 — восходящая ободочная кишка; 17 — поперечная ободочная кишка; 18 — нисходящая ободочная кишка; 19 — сигмовидная кишка; 20 — изгиб сигмовидной кишки; 21 — прямая кишка

Ротовая полость сверху ограничена твердым и мягким нёбом, снизу — челюстно-подъязычной мышцей, по бокам — щеками, а спереди — губами.

В ротовой полости происходит измельчение пищи с помощью зубов (рис. 10.38). Их 32: на каждой челюсти по 4 резца, 2 клыка, 4 малых коренных и 6 больших коренных зубов, закрепленных в лунках челюстных костей.

Зуб состоит из *коронки* (часть зуба, выступающая из десны в ротовую полость), *шейки* (часть зуба, погруженная в десну) и *корня* (часть зуба, погруженная в лунку челюсти). Сверху коронка покрыта *зубной эмалью*, а на шейке и корне — *цементом*, закрепляющим зуб в лунке челюстных костей. Внутреннюю основу зуба составляет *дентин*. Зубная эмаль, цемент и дентин — разновидности костной ткани. Самая твердая из них — зубная эмаль, приближающаяся по этому показателю к кварцу, но и она со временем стирается и растрескивается.

Внутри корня проходит канал, расширяющийся в полость зуба и заполненный рыхлой соединительной тканью — *пульпой*, содержащей кровеносные сосуды и нервы.

С 5—6-го месяца после рождения развиваются *молочные зубы* (их 20), которые в возрасте с 6 до 10—12 лет заменяются *постоянными*. Малые коренные и третьи большие коренные вырастают, минуя стадию молочных. Третьи большие коренные появляются только к 20—30 годам, поэтому называются *зубами мудрости*.

Смыкание верхних зубов с нижними называется *прикусом*. При правильном прикусе верхние передние зубы располагаются чуть впереди нижних, что усиливает их режущее действие. Неправильный прикус требует лечения.

Слизистая оболочка ротовой полости содержит множество мелких желез, расположенных неглубоко и выделяющих в полость слизистый секрет. Наряду с ними есть и крупные *слюнные железы*, лежащие вне слизистой рта и открывающиеся длинными выводными протоками в ротовую полость. Слюнных желез три пары: *околоушные*, *подчелюстные* и *подъязычные*. Их секрет — *слюна*. В зависимости от вида потребляемой пищи в сутки вырабатывается около 500—1500 мл слюны. Она состоит на 99 % из воды, растворенных в ней минеральных солей, слизи (белка *муцина*), бактерицидного вещества — *лизоцима* и ферментов, расщепляющих углеводы. Фермент *амилаза* расщепляет сложные углеводы до более простого углевода мальтозы, а фермент *мальтаза* расщепляет его до глюкозы. Слюна имеет слабощелочную реакцию, в которой активны ферменты, расщепляющие углеводы.

На мышечном органе ротовой полости — *языке* имеются вкусовые рецепторы. Рецепторы, расположенные на верхушке (кончике языка), чувствительны к сладкому, по бокам языка — к кислому и соленому, на корне — к горькому. Терморецепторы языка воспринимают температуру пищи. Кроме рецепторной, язык выполняет механическую функцию, своими движениями смешивая пищевой комок со слюной и слизью, выделяемой мелкими железами слизистой оболочки ротовой полости. После тщательного пережевывания корень языка подымается и проталкивает пищевой комок в глотку.

Глотка — полая мышечная трубка, соединяющая ротовую полость с пищеводом и носовую с гортанью. Как только пищевой комок поступает в глотку, сокращаются мышцы, суживающие глотку выше комка, и он передвигается в пищевод.

Пищевод — мышечная трубка длиной около 25—30 см. В стенке верхней трети пищевода располагается поперечно-полосатая мышечная ткань, в остальной — гладкая. С помощью перистальтических движений стенок пищевода пищевой комок продвигается в желудок.

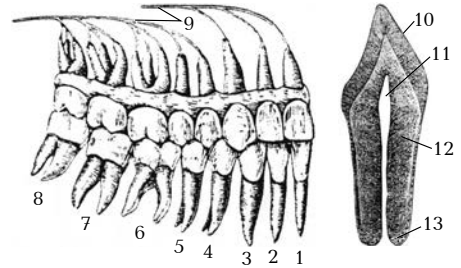


Рис. 10.38. Строение зубов человека (общий вид и в разрезе): 1, 2 — резцы; 3 — клык; 4, 5 — малые коренные зубы; 6, 7 и 8 — большие коренные зубы (последний из них — зуб мудрости); 9 — ветви нервов, входящие в корень зуба; 10 — полость зуба; 11 — дентин; 12 — цемент

У взрослого человека обычно 32 зуба.

В каждой челюсти:

- 4 резца;
- 2 клыка;
- 4 малых коренных;
- 6 больших коренных.

В детском возрасте у человека вырастают 20 молочных зубов, которые затем заменяются постоянными.

Желудок — расширенная часть пищеварительного канала. У взрослого человека его объем 1,5—3 л (у новорожденного — около 7 мл). Здесь пища накапливается и задерживается для переваривания на 2—8 ч.

Желудок имеет форму изогнутого рога (см. рис. 10.37). Его верхняя расширенная часть называется *дном*, средняя — *телом* и нижняя суженная часть — *пилорической*. Слизистая оболочка желудка складчатая. В полость желудка открываются протоки многочисленных желез. Они состоят из клеток трех типов. *Главные* клетки секретируют пищеварительные ферменты, *обкладочные* — соляную кислоту и *добавочные* — слизь *муцин*, защищающую стенку желудка от раздражающего действия соляной кислоты и переваривающего действия пищеварительных ферментов.

В сутки железы желудка выделяют около 2 л желудочного сока. Соляная кислота создает кислую реакцию среды (рН 1,5—2,2), при которой активны ферменты желудочного сока, а также выполняет бактерицидную функцию.

Главным для пищеварения в желудке является расщепление макромолекул белков под действием фермента *пепсина* на более мелкие фрагменты (пептиды). Другая протеаза желудочного сока — *химозин* — створаживает белок молока. Он очень активен у младенцев, питающихся молоком. У взрослых его синтез значительно ослабевает. Содержащийся в желудочном соке фермент *липаза* расщепляет только эмульгированные жиры молока до глицерина и жирных кислот. Углеводы в желудке не расщепляются, так как амилазы в кислой среде не активны и поэтому желудочными железами не вырабатываются.

Полупереваренная пища из желудка через отверстие периодически открывающегося *пилорического сфинктера* (кольцевой мышцы) порциями поступает в тонкий кишечник.

Тонкий кишечник — самый длинный отдел (5—6 м) пищеварительной трубки, занимающий большую часть брюшной полости. В начальную часть тонкой кишки — *двенадцатиперстную* — открываются протоки печени и поджелудочной железы, далее она переходит в *тощую*, а тощая — в *подвздошную*.

Слизистая оболочка тонкой кишки содержит большое количество микроскопических желез, вырабатывающих *кишечный сок*. Ее однослойный цилиндрический эпителий образует многочисленные (20—30 на 1 мм²) *полые* выросты, или *ворсинки*, высотой 0,1—0,5 мм, которые значительно увеличивают всасывающую поверхность тонкого кишечника (рис. 10.39). В полость ворсинок заходит хорошо развитая сеть кровеносных сосудов и лимфатический капилляр. Стенка ворсинок снабжена гладкими мышечными клетками, придающими ворсинкам способность сокращаться. На поверхности клеток ворсинок имеются *микроворсинки*, увеличивающие площадь тонкого кишечника в 30—40 раз.

Мышечная часть стенки тонкой кишки состоит из внутреннего (кольцевого) и наружного (продольного) слоев. Сокращение клеток кольцевого слоя сужает просвет кишки, продольного — укорачивает ее. В результате перистальтических поступательных движений происходит передвижение пищевой массы в направлении толстой кишки.

В кишечном соке, выделяемом железами слизистой оболочки тонкой кишки, содержатся ферменты, расщепляющие органические вещества и их фрагменты до простых органических соединений: углеводы — до простых сахаров, жиры — до глицерина и жирных кислот, белки — до аминокислот.

В тонком кишечнике сочетаются два типа пищеварения. Начальное расщепление осуществляется под действием ферментов, выделяемых железами в кишечную полость, — *полостное* пищеварение. *Мембранное*, или *пристеночное*, пищеварение происходит на поверхности микроворсинок, где находятся соответствующие ферменты.

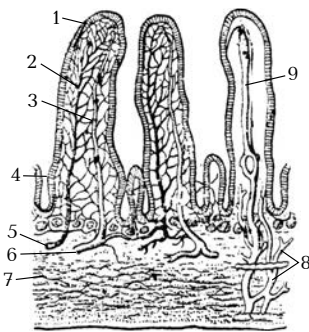


Рис. 10.39. Схема строения стенки тонкой кишки: 1 — эпителиальная стенка ворсинки; 2, 3 — вена и артерия кишечной ворсинки; 4 — кишечная железа; 5, 6 — вена и артерия кишечной стенки; 7 — мышечный слой тонкой кишки; 8 — лимфатические сосуды кишечной стенки; 9 — центральный лимфатический сосуд ворсинки

В полость двенадцатиперстной кишки открывается проток самой крупной железы (1,8 кг) организма человека — *печени*. Расположена она в правом подреберье, под диафрагмой. Ее клетки, объединенные в многочисленные дольки, вырабатывают секрет светло-желтого цвета — *желчь*, которая по мелким протокам оттекает в желчный пузырь, где накапливается. При поступлении пищевой кашицы в тонкую кишку желчь по протоку изливается в полость двенадцатиперстной кишки. В сутки ее образуется около 800 мл. Главнейшими функциями желчи являются:

- перевод жиров в форму мелких капелек (эмульгирование), что облегчает их расщепление;

- создает щелочную среду в кишечнике;
- усиливает перистальтические движения стенки кишечника;
- активирует ферменты кишечного сока и поджелудочной железы.

Важнейшими функциями печени, кроме желчеобразования, являются *обезвреживание* токсических веществ, попадающих в воротную вену печени из вен желудка и кишечника, а также синтез *гликогена* из глюкозы и его запасание.

Поджелудочная железа расположена под желудком в изгибе двенадцатиперстной кишки. Сок поджелудочной железы имеет щелочную реакцию. В нем содержатся ферменты *трипсин* и *химотрипсин*, расщепляющие короткие фрагменты белков до аминокислот, *липаза*, расщепляющая эмульгированные желчью жиры до глицерина и жирных кислот, *амилаза* и *мальтаза*, расщепляющие углеводы до глюкозы, а также фермент *нуклеаза*, расщепляющий нуклеиновые кислоты. За сутки вырабатывается около 800 мл поджелудочного сока.

Всасывание — это совокупность процессов, обеспечивающих перенос веществ из желудочно-кишечного тракта во внутреннюю среду организма. Огромная общая площадь поверхности тонкого кишечника (200 м²) хорошо приспособлена к всасыванию. Продукты расщепления белков (аминокислоты) и углеводов (глюкоза) всасываются в кровеносные капилляры ворсинок кишечника, жиров (глицерин и жирные кислоты) в лимфатические капилляры ворсинок кишечника, благодаря чему оттекающая от кишечника лимфа имеет молочный цвет.

Толстая кишка (длина 1,5—2 м) состоит из *слепой* кишки с червеобразным отростком — аппендиксом, *ободочной* и *прямой*, заканчивающейся кольцевой мышцей — сфинктером, регулирующим опорожнение кишечника. В толстом кишечнике происходит всасывание воды, минеральных солей, ряда ядовитых веществ, являющихся результатом гниения остатков непереваренных белков, которые затем обезвреживаются в печени. При участии многочисленных бактерий, среди которых преобладает *кишечная палочка*, происходит расщепление клетчатки — стенки растительных клеток. Полезная микрофлора подавляет деятельность патогенных микроорганизмов, синтезирует некоторые витамины.

Опорожнение кишечника происходит 1—2 раза в день.

Таким образом, потребленные пищевые продукты в пищеварительной системе перевариваются (расщепляются), всасываются во внутреннюю среду организма и становятся доступными его клеткам.

Регуляция пищеварения. В зависимости от состава и количества потребленной пищи она находится в пищеварительном тракте от 6 до 14 ч. За это время с пищей происходят существенные физико-химические преобразования — измельчение, смачивание, перемешивание, расщепление ферментами, всасывание. Согласование всех этих сложных и последовательно идущих процессов достигается путем тесного взаимодействия нервных и гуморальных механизмов регуляции.

Функции печени:

- образование желчи;
- барьерная;
- гликогенобразующая;
- участие в обмене белков (дезаминирование, образование мочевины, синтез фибриногена и протромбина);
- разрушение эритроцитов

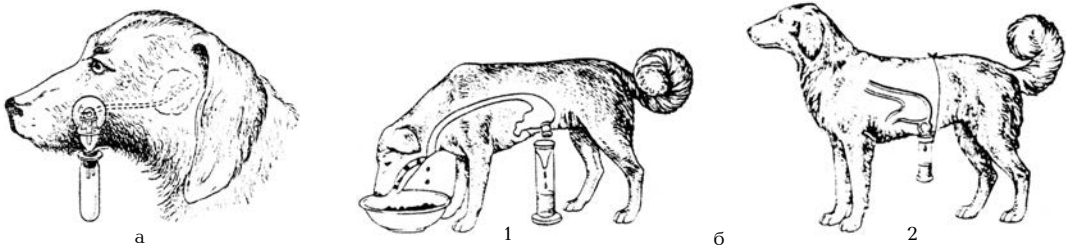


Рис. 10.40. Использование фистул в исследовании физиологии пищеварения: а — собака с фистулой околоушной слюнной железы (к щеке прикреплена воронка с пробиркой, в которую собирается слюна); б — опыты И. П. Павлова по изучению пищеварения у собак: 1 — мнимое кормление: пища выходит в рассеянный пищевод, но желудочный сок рефлекторно выделяется — это заальный сок, выходящий через фистулу в течение 50—60 мин; 2 — отделение маленького желудочка путем изоляции внутренней полости, но с сохранением стенок, обших для всего желудка

Воздействие пищи на рецепторы полости рта дает человеку информацию о ее вкусе, температуре, свежести и других качествах. От рецепторов по чувствительным нейронам возбуждение передается в *пищевой центр* — совокупность структур, находящихся в центральной нервной системе, регулирующих потребление пищи. Сюда входят *центры голода и насыщения*, расположенные в гипоталамусе, *центры жевания, глотания, сосания, слюноотделения, выделения желудочного и кишечного сока*, расположенные в продолговатом мозгу. Пищевой центр возбуждается и тормозится *нервными импульсами*, поступающими в него не только от рецепторов желудочно-кишечного тракта, но и от органов зрения (вид пищи), обоняния (запах пищи), слуха (разговоры о пище), а также *гуморальными факторами* (гормонами), поступающими к нему с кровью.

Физиология пищеварения была детально изучена академиком И. П. Павловым, разработавшим фистульный метод изучения факторов слюноотделения и желудочной секреции. Фистула — искусственно созданный канал для выведения наружу секретов желез или продуктов, находящихся в полости органа. Для сбора чистого, не смешанного с пищей желудочного сока он разработал метод фистулы с перерезкой пищевода (метод мнимого кормления) и метод «изолированного желудочка» (рис. 10.40). Результаты исследований показали, что отделение пищеварительных соков в ответ на действие пищи на рецепторы желудочно-кишечного тракта является безусловным рефлексом. Рефлексы отделения пищеварительных соков в ответ на вид, запах, разговоры о пище («слюнки текут») при виде пищи или разговоре о ней) являются условными. Однако условно-рефлекторная реакция будет возникать только на хорошо знакомые продукты питания. Следовательно, условно-рефлекторные пищевые реакции вырабатываются на базе безусловных рефлексов.

В регуляции секреции пищеварительных соков важную роль играют гуморальные факторы. Так, в стенке желудка вырабатывается гормон *гастрин*, усиливающий секрецию соляной кислоты и пепсина, а гормоны *холецистокинин* и *секретин*, выделяемые слизистой оболочкой тонкой кишки, стимулируют продукцию сока поджелудочной железы и желчи.

Основы рационального питания. Необходимые для жизнедеятельности организма питательные вещества человек получает в составе пищевых продуктов (молоко, яйца, творог, мясо, крупа, овощи и др.). Главное в питании — соблюдение баланса между затратами энергии и энергией, поступающей в организм с пищей. Пища должна быть разнообразной и состоять из продуктов животного и растительного происхождения.

Специалисты в области гигиены питания рекомендуют соблюдать соотношение белков к жирам и углеводам, равное 1:1:5 для детей школьного возраста и 1:1:4 — для взрослых. В весовом выражении суточная норма белка для взрослого человека составляет примерно 80—100 г, причем доля белков и жиров животного происхождения должна быть примерно 30 %.

Важно также обеспечить организм витаминами и минеральными веществами.

Суточная норма расхода энергии человеком зависит от физической активности. Так, лежа без движений человек затрачивает 1 кал/ч на 1 кг массы тела, что при массе 60—65 кг составляет примерно 1500 кал в сутки. При малоподвижном образе жизни расход энергии возрастает в 1,5 раза, при физической работе средней тяжести — в 2—2,5 раза, достигая 3000—3700 кал/сут.

Важен не только объем потребленных калорий, но и их распределение в течение времени суток. Для учащихся наиболее рационален 4-разовый прием пищи с интервалом между едой 3—4 ч.

Употребление несвежих или неправильно обработанных пищевых продуктов может вызвать **пищевые отравления**. Большую опасность, нередко со смертельным исходом, представляет заражение палочкой *ботулизма*, яд которой поражает ЦНС. Живут бактерии в кишечнике многих сельскохозяйственных животных и грызунов, не принося им вреда. Попадая в почву с навозом, они могут оказаться на овощах, ягодах, могут попасть в водоем и заразить рыбу. Развиваются они без доступа воздуха в герметично закрытых консервных банках. Если консервная банка даже слегка вздута, ее содержимое непригодно к употреблению.

Развивающиеся при неправильном хранении молока, мяса, рыбы *стафилококки* могут вызвать тяжелые отравления. Через инфицированные продукты — мясо (особенно птицы), молоко, яйца — человек может заразиться *сальмонеллезом*. Очень опасна *холера*, возбудителем которой является *холерный вибрион*. Он передается человеку через зараженную воду, в которой живет. Погибает вибрион в хлорированной воде. Серьезные пищевые отравления вызывают *ядовитые* грибы, особенно опасна бледная поганка. Даже небольшой кусочек этого гриба может привести к гибели человека, поэтому следует собирать только известные вам грибы. Наиболее общими признаками пищевых отравлений являются недомогание, боли в желудке и кишечнике, рвота, понос.

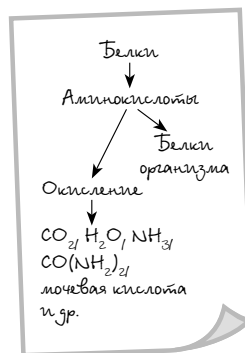
ОБМЕН ВЕЩЕСТВ

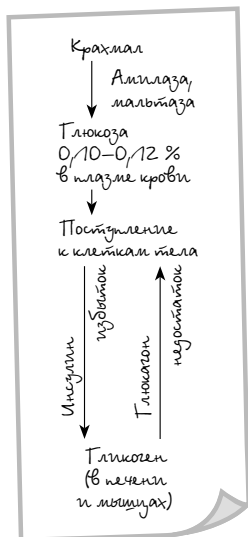
Обмен белков — совокупность процессов превращения белков в организме. Каждый человек имеет свойственный только ему набор белков. Именно это определяет уникальность и особенность индивидуальных свойств.

Белки пищи, содержащие весь набор аминокислот, необходимый для синтеза собственных белков организма, называются *полноценными*. К ним относят белки животной пищи и некоторых растительных (бобовых). Наиболее высока биологическая ценность белков молока, яиц, мяса, рыбы. Так как аминокислоты не образуются ни из жиров, ни из углеводов, то недостаток белков в пище невосполним. Кроме того, в отличие от жиров и углеводов, белки в организме человека, как и у всех животных, в запас не откладываются.

В желудочно-кишечном тракте белки пищи расщепляются до аминокислот, всасываются в кровь и поступают по воротной вене в печень. При распаде белков образуются ядовитые вещества, в том числе и аммиак, который в печени превращается в мочевины — менее токсичное вещество. Конечными продуктами расщепления белков пищи в клетках являются углекислый газ, вода, мочевина, мочевая кислота и некоторые другие вещества, которые выводятся из организма с мочой, потом и в составе выдыхаемого воздуха.

Обмен углеводов. В организм человека углеводы попадают в виде сложных полисахаридов — крахмала, гликогена, сахара и реже в виде моносахаридов — глюкозы, фруктозы. В пищеварительном тракте под воздействием ферментов слюны, поджелудочного и кишечного соков сложные углеводы расщепляются





до моносахаридов (важнейший из них — глюкоза). Они всасываются в кровеносные капилляры ворсинок тонкого кишечника и кровью разносятся к клеткам тканей и органов. В крови уровень содержания глюкозы поддерживается постоянным. Излишки глюкозы превращаются в печени и частично в мышцах в гликоген и откладываются про запас. При снижении концентрации глюкозы в крови гликоген расщепляется до глюкозы, которая поступает в кровь. При избытке потребления углеводов многие из них превращаются в жиры и откладываются в запас; при недостатке потребления они образуются в клетках организма из белков и жиров. Регуляция концентрации глюкозы в крови принадлежит гормонам поджелудочной железы и надпочечников.

Конечными продуктами распада углеводов в клетках являются вода и углекислый газ, которые выводятся через почки и легкие.

Обмен жиров. Жиры — самые энергоемкие органические вещества. Они поступают в организм в составе животной и растительной пищи, а также могут синтезироваться из углеводов и белков в самом организме. Жиры пищи расщепляются в желудочно-кишечном тракте на глицерин и жирные кислоты и всасываются в ворсинки тонкого кишечника. При попадании в эпителиальные клетки ворсинок из глицерина и жирных кислот синтезируются жиры, свойственные человеческому организму. В эмульгированном виде они поступают в лимфатические капилляры ворсинок, далее — в систему лимфатических сосудов и вливаются в грудной лимфатический проток и далее — в венозный кровоток.

Избыток жиров откладывается в подкожной жировой клетчатке (жировое депо).

Конечными продуктами расщепления жиров в клетках являются вода и углекислый газ, выводимые из организма с мочой, потом, в составе выдыхаемого воздуха.

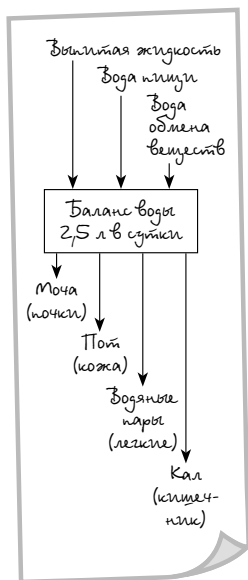
Водно-минеральный обмен. Вода — основное неорганическое вещество нашего тела — составляет около 65 % его массы. Она поступает в чистом виде при питье, в составе пищевых продуктов, часть воды образуется при обмене белков, жиров и углеводов (метаболическая вода). Вода является растворителем питательных веществ, принимает участие в реакциях гидролиза, служит основным компонентом плазмы крови, лимфы, тканевой жидкости, является транспортным средством, перенося растворы веществ по организму, входит в состав пищеварительных соков, участвует в регуляции температуры тела (испаряясь, охлаждает кожу). Для нормальной жизнедеятельности взрослого человека в сутки необходимо около 2—2,5 л воды. При интенсивном потоотделении и значительном увеличении расхода воды потребность в ней возрастает.

Из организма вода выводится с мочой, калом, в составе пота и выдыхаемого воздуха.

Минеральные соли присутствуют в организме человека в твердом состоянии в костной ткани либо в диссоциированном в виде катионов и анионов. Неорганические ионы Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} необходимы для нормальной работы нервной и мышечной систем. От обмена кальция и фосфора зависят рост и прочность костей. Кальций влияет также на свертываемость крови. Велика потребность организма и в других химических элементах, хотя и в небольших количествах. Так, железо входит в состав гемоглобина, фтор придает прочность зубной эмали, йод входит в состав гормонов щитовидной железы и др.

Регуляция обмена веществ. Высшим центром регуляции обмена веществ является гипоталамус. Его влияние на обмен веществ осуществляется через гипофиз.

Повышенная выработка передней долей гипофиза тиреотропного гормона приводит к увеличению синтеза щитовидной железой тироксина и трийодтиронина — регуляторов белкового обмена. На обмен белков прямое влияние



оказывает соматотропный гормон гипофиза. Регуляторная роль гипоталамуса в жировом обмене связана с деятельностью щитовидной и половых желез.

Углеводный обмен контролируется поджелудочной железой. Ее гормон инсулин способствует выводу углеводов из кровяного русла в клетки и в запас. Другие гормоны (адреналин, глюкагон) обеспечивают обратный процесс — расщепление гликогена до глюкозы и выход ее в кровь.

Нервное воздействие на углеводный обмен осуществляется гипоталамусом через вегетативную нервную систему. Ее симпатический отдел стимулирует деятельность мозгового слоя надпочечников, выделяющего адреналин.

Витамины. Кроме белков, жиров, углеводов, организм человека нуждается в небольших количествах **витаминов** — органических веществ, входящих в состав ферментов. Заслуга открытия витаминов принадлежит русскому ученому Н. И. Лунину (1880 г.). В эксперименте он установил, что мыши, пища которых состояла из очищенных белков, жиров и углеводов, отставали в росте, а некоторые из них — погибали. Вскармливание мышей цельными продуктами не приводило к пагубным результатам. Эти важные вещества, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма, спустя три десятилетия польский ученый К. Функ назвал *витаминами* (лат. *vita* — жизнь). Большинство витаминов не синтезируется в организме человека, они должны поступать с растительной или животной пищей либо синтезироваться микроорганизмами. При отсутствии или недостатке витаминов, а также их плохом усвоении нарушается обмен веществ и развивается *авитаминоз* или *гиповитаминоз*. В настоящее время известно около 80 витаминов. Их обозначают буквами латинского алфавита. Все витамины разделяют на две группы: растворимые в жирах и растворимые в воде.

Жирорастворимые витамины. Витамин А (ретинол) необходим для синтеза зрительного пигмента, для нормальных процессов роста и функционирования роговицы глаза и кожи. При гипо- и авитаминозе развивается заболевание «куриная слепота» (нарушение сумеречного зрения), отставание в росте у детей, сухость кожи и роговицы (может образоваться бельмо), снижается сопротивляемость заболеваниям. В организме человека витамин А синтезируется из природного оранжевого пигмента *каротина*, содержащегося в свежей моркови, томатах, перце, шпинате, салате, чернике и др.

Витамин D (кальциферол) необходим для усвоения клетками кальция, особенно костной ткани. При недостатке этого витамина у детей может развиваться тяжелое заболевание *рахит*, при котором происходит размягчение, а затем искривление костей, незаращение родничков, замедление роста зубов, деформация грудной клетки, резкое ослабление иммунитета. Богаты витамином D рыбий жир, желток куриного яйца. Витамин образуется в коже человека под действием ультрафиолетовых лучей, поэтому его называют «солнечным» витамином.

Водорастворимые витамины. Витамин С (аскорбиновая кислота) — наиболее известный витамин этой группы. Он необходим для синтеза белков соединительной ткани (коллагена), а также антител крови. При авитаминозе развивается *цинга*. Болезнь проявляется в кровоточивости десен, выпадении зубов, появлении кровоточащих язв на коже. Во время длительных морских экспедиций, зимовок в арктических льдах люди, лишённые свежих овощей и фруктов, заболевали цингой. Болезнь резко подавляет иммунитет человека. Велико содержание витамина С в свежих овощах и фруктах (красном перце, зеленом луке, картофеле, капусте, цитрусовых, плодах шиповника, клюкве и др.).

Витамин B₁ (тиамин) участвует в процессах тканевого дыхания, важен для нормальной работы нервной и мышечной систем. Авитаминоз приводит к возникновению болезни *бери-бери* («ножные оковы»), сопровождающейся нарушением проводимости по двигательным нервным волокнам, вызывающим

судороги, атрофию мышц и паралич конечностей. Витамин содержится в оболочках и зародышевой части зерновок риса, пшеницы, ржи, в семенах бобовых, дрожжах, орехах и др. Заболевание было широко распространено среди беднейшего населения Юго-Восточной Азии, пища которых состояла в основном из очищенного риса. Впоследствии из рисовых отрубей было выделено активное вещество (витамин B_1), которое полностью излечивало от бери-бери.

Витамин B_6 (пиридоксин) участвует в белковом и жировом обмене, способствует синтезу гемоглобина. Недостаток пиридоксина у человека приводит к снижению аппетита, появлению тошноты, воспалению кожи (дерматиту), а у детей вызывает судороги и кислородное голодание (анемию). Основным источником поступления витамина является его синтез бактериями кишечника человека.

Сохранение витаминов в пищевых продуктах зависит от условий и длительности их хранения, правильности кулинарной обработки. Быстрее других разрушаются витамины А (в процессе варки и сушки), С (при нагревании и контакте с кислородом воздуха и металлическими поверхностями) и группы В (при тепловой обработке пищи их количество в мясе снижается до 60 %, в растительной пище — до 20 %). Наилучшую сохранность витаминов обеспечивает квашение овощей и фруктов, замораживание и вакуумная сушка.

ВЫДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

В процессе жизнедеятельности некоторые конечные продукты обмена веществ являются токсичными для организма и нуждаются в выведении из него. Кроме того, в организм из внешней среды с загрязненными водой, воздухом, пищей попадают токсичные чужеродные вещества — многие лекарственные препараты, тяжелые металлы, никотин, алкоголь и др. Они также нуждаются в удалении из организма.

Выделительные процессы — процессы, обеспечивающие удаление из организма конечных продуктов обмена веществ и поступивших в организм чужеродных веществ и способствующие поддержанию постоянства внутренней среды организма и оптимальных условий для жизнедеятельности клеток. Органами, осуществляющими выделительные процессы, являются:

- *мочевыделительная система* — выводит из организма жидкие продукты обмена и чужеродные вещества;
- *потовые железы* — выводят воду и растворы минеральных солей;
- *легкие* — выделяют в атмосферу газообразные продукты обмена — углекислый газ и водяные пары, а также пары алкоголя при опьянении, пары эфира после наркоза и т. п.;
- *кишечник* — выводит из организма соли тяжелых металлов, продукты распада гемоглобина.

Основная роль в выделительных процессах принадлежит **мочевыделительной системе**, состоящей из почек, мочеточников, мочевого пузыря и мочеиспускательного канала.

Строение и функции почек (рис. 10.41). *Почки* — парный орган бобовидной формы с массой каждой около 150 г. Расположены в брюшной полости тела на уровне последнего грудного и двух передних поясничных позвонков. На верхнем полюсе почки расположен надпочечник — железа внутренней секреции. Наружная сторона почки выпуклая, внутренняя — вогнутая и имеет посредине глубокую впадину — *ворота* почки. Сюда входит почечная артерия, несущая *неочищенную кровь*, а из них выходят почечная

вена (выносит очищенную кровь) и мочеточник. По мочеточнику удаляемые вещества перемещаются в мочевой пузырь, в котором они накапливаются, а затем поступают в мочеиспускательный канал и удаляются из организма через мочевыделительное отверстие.

Каждая почка покрыта эластичной соединительнотканной оболочкой (капсулой). Под капсулой располагается снаружи *корковое вещество* и лежащее внутри — *мозговое вещество*. Мозговое вещество представлено 15—20 *почечными пирамидами*, вершины которых направлены внутрь почки. От вершины каждой из пирамид отходит мочевыводящий каналец, впадающий в небольшую полость внутри почки — *почечную лоханку*, в которой собирается моча и затем из нее поступает в мочеточник.

Нефрон — структурно-функциональная единица почки, которая осуществляет всю совокупность очищения крови и образования мочи (рис. 10.42). В каждой почке их содержится по 1 млн.

Нефрон представляет собой канал, образованный однослойным кубическим эпителием. На одном конце канал замкнут и расширен в виде чаши, а другой его конец открыт в почечную лоханку. Между стенками чашечки находится полость, которая переходит в полость *извитого канальца первого порядка*. Чашечки и извитые канальцы первого порядка расположены в корковом веществе почки. Извитой каналец первого порядка, достигнув границы с мозговым веществом почки, выпрямляется и глубоко проникает в мозговое вещество (нисходящее колено). Затем, повернувшись на 180°, он следует в обратном направлении (восходящее колено), образуя *петлю Генле*. Конец восходящего колена петли Генле, войдя в корковое вещество почки, изгибается, образуя *извитой каналец второго порядка*. Он впадает в *собирающую трубочку*, с которой соединены канальцы второго порядка нескольких десятков нефронов. Собирающая трубочка открывается в почечную лоханку.

Ток крови в почке. Почечная артерия, войдя в ворота почки, разветвляется на мелкие артериолы. К каждому нефрону подходит *принносящая артериола*, которая во впадине чашечки образует первичную сеть капилляров — *капиллярный клубочек*. Затем эти капилляры объединяются в *выносящую артериолу*, диаметр которой в 2,5 раза меньше, чем у приносящей артериолы. Выносящая артериола разветвляется, образуя *вторичную сеть капилляров*, оплетающих все виды канальцев, после чего они объединяются в мелкие вены, а они сливаются в почечную вену, впадающую в нижнюю полую вену.

Капиллярный клубочек вместе с капсулой нефрона образует *почечное тельце*.

Образование мочи идет в два этапа: на первом этапе из плазмы крови образуется *первичная моча*, на втором этапе — *вторичная (конечная)*.

Первый этап — клубочковая фильтрация. Из-за различия в диаметрах приносящей и выносящей артериол в капиллярном клубочке создается высокое давление крови (около 70—80 мм рт. ст.), под влиянием которого часть плазмы крови фильтруется через стенки капилляров и чашечки. Фильтруемая в полость чашечек плазма крови с растворенными в ней низкомолекулярными соединениями (глюкоза, аминокислоты, минеральные соли), но не содержащая белков, называется *первичной мочой*. За сутки ее образуется около 150—180 л. Это означает, что весь объем плазмы крови человека (примерно 3 л) фильтруется через почечные тельца 50—60 раз в сутки.

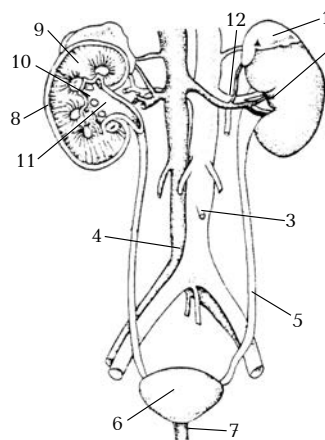


Рис. 10.41. Схема строения мочевыделительной системы: 1 — надпочечник; 2 — ворота почки; 3 — аорта; 4 — вена; 5 — мочеточник; 6 — мочевой пузырь; 7 — мочеиспускательный канал; 8 — кора почки; 9 — мозговое вещество; 10 — пирамидки; 11 — лоханка; 12 — почечные артерии и вены

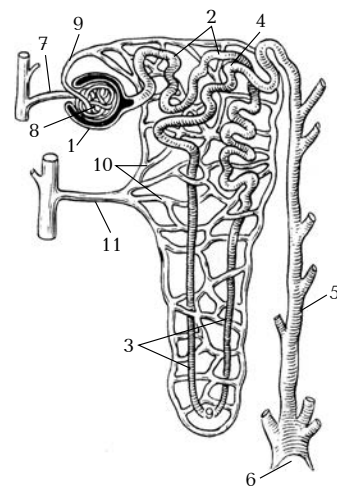
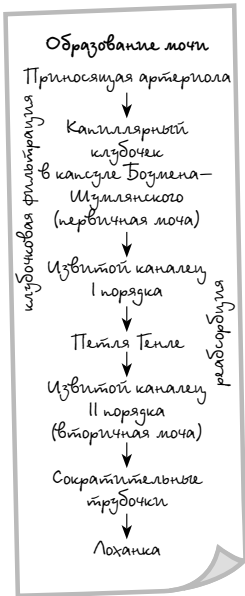


Рис. 10.42. Строение нефрона: 1 — чашечка (капсула); 2 — извитый каналец I порядка; 3 — петля Генле; 4 — извитый каналец II порядка; 5 — собирающая трубочка; 6 — лоханка; 7 — приносящая артериола; 8 — клубочек капилляров первой сети; 9 — выносящая артериола; 10 — капилляры второй сети; 11 — вена



Второй этап — канальцевая реабсорбция (обратное всасывание). В составе первичной мочи содержатся многие полезные для организма вещества: глюкоза, аминокислоты, минеральные соли, вода, поэтому во вторичной капиллярной сети, опутывающей все виды канальцев нефрона, происходит обратное (из канальцев в кровь капилляров) всасывание этих полезных организму веществ. Так, в канальцах образуется *вторичная*, или *конечная*, моча, насыщенная конечными продуктами обмена (мочевинной, мочевой кислотой и другими ненужными организму веществами). Ее суточный объем составляет около 1,5 л. По собирательной трубочке она оттекает в почечную лоханку, из нее по мочеточнику в мочевой пузырь, где накапливается, после чего по мочеиспускательному каналу удаляется из организма.

Регуляция работы почек. *Нервная регуляция* активности почек осуществляется импульсами симпатического отдела вегетативной нервной системы, приводящими к сужению просвета артериол. Если возбуждающие нервные импульсы поступают к *приносящим артериолам*, то давление крови в капиллярном клубочке уменьшается, и замедляется фильтрация плазмы, снижая мочеотделение. Если возбуждающие нервные импульсы поступают к *выносящим артериолам*, то эффект будет противоположным.

Гуморальная регуляция осуществляется действием нескольких гормонов. Так, *вазопрессин*, выделяемый задней долей гипофиза, и *адrenалин*, выделяемый мозговым веществом надпочечников, уменьшают мочеотделение: первый из них — усиливает реабсорбцию воды в канальцы нефронов, второй — сужает просвет приносящих артериол. Гормон щитовидной железы *тироксин* усиливает мочеотделение.

Центр мочеиспускания находится в крестцовых сегментах спинного мозга.

Взаимодействие нервно-рефлекторного и гуморального механизмов обеспечивает водно-минеральный гомеостаз организма человека.

Гигиена мочевыделительной системы. Прежде всего необходимо соблюдать правила личной гигиены, поддерживать чистоту в области мочевыделительного канала, не переохлаждать почки. Следует избегать купания в водоемах с сомнительным качеством воды, чтобы инфекция не попала в мочеиспускательный канал. При переохлаждении и попадании инфекции в почки может развиваться воспалительный процесс — *нефрит*. Заболевание связано с повышением проницаемости стенок капилляров почек, появлением в моче белка и форменных элементов. Повышается температура тела, возникает отечность тканей.

Самолечение с приемом неоправданно больших доз лекарственных препаратов приводит к нарушению работы почек.

Особенно вредно злоупотребление алкоголем, который оказывает сильное токсическое действие, поражая почки.

ПОКРОВНАЯ СИСТЕМА

Кожа является наружным покровом тела. Она выполняет множество разнообразных функций. Прочность и упругость кожи позволяет защищать ткани и органы от механических, химических, температурных воздействий, от проникновения микроорганизмов, избегать излишних потерь влаги. Кожа выполняет рецепторную функцию, воспринимая действие многих факторов внешней среды — прикосновение, тепло, холод, давление. Важна роль кожи в поддержании постоянной температуры тела. Через нее выводится до 90 % образовавшегося в организме тепла. Кожа защищает лежащие под ней органы от действия ультрафиолетовых лучей благодаря спо-

способности синтезировать пигмент меланин. Под действием ультрафиолетовых лучей в коже образуется витамин D. Кожа является органом адаптации к условиям внешней среды и закаливания организма.

Строение кожи. Площадь кожи — 1,5—1,6 м². Она состоит из трех слоев: тонкого наружного *эпидермиса*, хорошо развитого среднего — *дермы* (собственно кожи) и внутреннего — *подкожной жировой клетчатки* (рис. 10.43).

Эпидермис имеет толщину 0,07—2,5 мм. Он образован многослойным плоским ороговевающим эпителием. Клетки его внутреннего — *росткового* — слоя активно и постоянно делятся, вытесняются в наружный — *роговой* — слой, в котором клетки постепенно ороговевают, погибают и слущиваются с поверхности кожи в виде чешуек. Таким образом, кожа — постоянно обновляемый орган (роговой слой эпидермиса полностью обновляется за 7—10 сут). Ороговевший наружный слой защищает лежащие под ним ткани.

Клетки росткового слоя эпидермиса синтезируют темный пигмент *меланин*, который определяет цвет кожи и защищает организм от повреждающего действия ультрафиолетовых лучей. В этом же слое под действием ультрафиолетовой части солнечного спектра образуется витамин D.

Производными эпидермиса являются *ногти*, защищающие кончики пальцев, а также *кожные железы* и *волосы*.

Дерма образована волокнистой соединительной тканью, богатой эластическими и коллагеновыми волокнами, придающими коже прочность и упругость. Ее толщина 0,5—5 мм. В дерме находятся многочисленные кровеносные и лимфатические сосуды, потовые и сальные железы, волосяные луковицы, а также осязательные, холодовые, тепловые и болевые рецепторы и густая сеть окончаний чувствительных нервных волокон.

Потовые железы имеют вид свернутой в клубочек железистой трубочки с длинным выводным протоком, открывающимся на поверхности кожи. Особенно многочисленны потовые железы на лице, ладонях, стопах ног, в подмышечных впадинах. *Пот* — водянистая жидкость, солоноватая на вкус. В составе пота из организма выводятся конечные продукты белкового обмена: мочевины, мочевая кислота, аммиак, некоторые аминокислоты, а также минеральные соли, среди которых преобладает хлорид натрия. За сутки в условиях относительного покоя и умеренной температуры взрослый человек выделяет около 0,5 л пота, а при напряженной физической работе, сопряженной с высокой температурой окружающей среды, — 3 л и более. Выделение пота и его испарение способствует охлаждению тела.

Сальные железы имеют вид разветвленных пузырьков, стенки которых образованы железистым эпителием, вырабатывающим кожное сало. Протоки сальных желез открываются, как правило, в волосяные сумки, смазывая салом растущий волос и поверхность кожи, смягчая ее и предохраняя от высыхания и смачивания водой.

Волос состоит из *стержня*, находящегося над поверхностью кожи, и *корня*, скрытого в ее толще. Корень расположен внутри узкой длинной *волосяной сумки*. Нижняя часть корня расширена и образует *волосяную луковицу*, оплетенную кровеносными капиллярами и нервными волокнами. В полость волосяной сумки выделяется кожный жир, смазывающий растущие волосы и придающий им эластичность и блеск. К волосяной сумке прикрепляются пучки гладких мышц, сокращения которых обуславливают появление «гусиной кожи» и приподнимает волос. Волос растет из волосяной сумки со скоростью около 15 см в год.

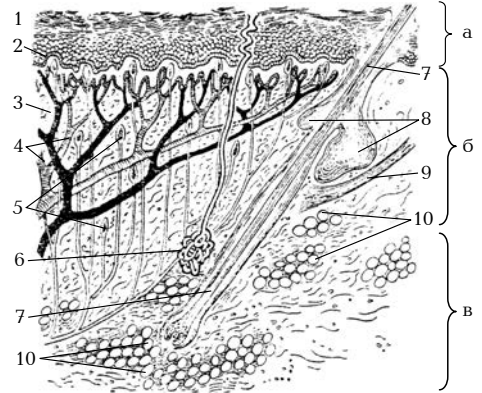


Рис. 10.43. Схема строения кожи (а — эпидермис; б — собственно кожа; в — подкожная клетчатка): 1 — роговой слой эпидермиса; 2 — нижний слой клеток эпидермиса; 3 — вены; 4 — артерии; 5 — чувствительные нервные окончания; 6 — потовая железа; 7 — волос; 8 — сальная железа; 9 — гладкая мышца, поднимающая волос; 10 — скопления жировых клеток

Подкожная жировая клетчатка — самый глубокий слой кожи, образованный рыхлой соединительной тканью, между волокнами которой расположены клетки, содержащие запасы жиров (жировые клетки). Толщина этого слоя зависит от образа жизни человека, особенностей его питания и обмена веществ.

Подкожная жировая клетчатка выполняет функцию депо питательных веществ, смягчает механические воздействия на тело, защищает организм от переохлаждения, сохраняя в нем тепло.

Роль кожи в поддержании температурного гомеостаза. Кожа — важный орган в поддержании постоянства температуры, что необходимо для нормальной жизнедеятельности организма человека. Постоянство температуры тела достигается регулированием процессов образования и отдачи тепла — *терморегуляцией*.

Образование тепла в организме происходит за счет химических процессов, протекающих в клетках печени, почек, сердца. Особенно много тепла вырабатывается скелетными мышцами при интенсивной физической работе. В сохранении образовавшегося в организме тепла участвуют кровеносные сосуды кожи. Если погода прохладная, то они сокращаются, крови к коже поступает меньше и тепло сохраняется в организме.

Отдача тепла состоит в рассеивании его избытка в окружающую среду. В процессах теплоотдачи роль кожи наибольшая — 90 % от образующегося тепла в организме. Это обеспечивается расширением кровеносных сосудов кожи, приносящих теплую кровь к поверхности, где она охлаждается, испарением образующегося пота, уносящего много тепла.

Все перечисленные выше процессы регуляции температуры имеют рефлекторную основу. Главный *центр терморегуляции* расположен в гипоталамусе промежуточного мозга. К нему по чувствительным нервным волокнам от терморецепторов кожи поступают нервные импульсы. В центре терморегуляции происходит их анализ и возникает ответная реакция на раздражение. По двигательным нервным волокнам нервные импульсы поступают эффекторным органам, например потовым железам, скелетным мышцам, кровеносным сосудам, диафрагме, и у них возникает соответствующая ответная реакция.

Гигиена кожи. Являясь наружным покровом тела, контактирующим с внешней средой, кожа для выполнения своих функций прежде всего нуждается в чистоте. Случивающиеся клетки эпидермиса на грязной коже склеиваются кожным салом и закупоривают протоки сальных и потовых желез. На грязной коже поселяются микроорганизмы (до 30—50 тыс. на 1 см²), среди которых есть и возбудители различных заболеваний. Яйца гельминтов с кожи рук и из-под ногтей могут быть занесены в рот и вызвать заболевания.

Одеваться следует по погоде, обеспечив к коже свободный доступ воздуха.

Первая помощь при повреждениях кожи. При ожогах I степени пораженный участок кожи краснеет и припухает. Рекомендуются промыть его раствором питьевой соды и приложить содовую примочку. При наличии на коже пузырей, наполненных жидкостью (ожог II степени), следует охладить обожженный участок кожи, наложить стерильную повязку, принять обезболивающее средство. При ожоге III степени обожженные участки кожи мертвеют, обугливаются. Следует наложить на пораженную поверхность сухую стерильную повязку и срочно доставить пострадавшего в больницу.

Если ожог вызван щелочью, пораженный участок промывают в течение нескольких минут под струей проточной воды, затем обильно орошают 1—2%-ным раствором борной или уксусной кислоты. При ожогах кислотами после промывания водой пораженные места орошают 2%-ным раствором питьевой соды, а затем на пораженное место накладывают влажную повязку с тем же раствором. Нельзя наносить на поврежденные места прижигающие вещества (йод, спирт), так как они усиливают ожог и замедляют заживление ран.

Функции кожи:

- защитная;
- орган чувств;
- терморегуляция;
- выделительная;
- синтез витамина D

Первым признаком *обморожения* является ощущение покалывания, а затем потеря чувствительности пострадавших участков. Чаще всего обмораживаются пальцы ног, рук, кончики ушей и носа, щеки. При первых признаках обморожения нужно отвести пострадавшего в теплое помещение. Затем чистыми руками или платком растереть поврежденное место до покраснения кожи и появления ощущения тепла. Снегом растирать кожу нельзя из-за еще большего охлаждения и повреждения кожи льдинками. После растирания на обмороженные участки тела накладывают ватно-марлевые или шерстяные повязки. Пострадавшему дают горячее питье.

При сильном обморожении II степени на коже образуются пузыри, наполненные мутной, кровянистой жидкостью. Ни растирать, ни вскрывать пузыри нельзя. Следует наложить на них повязку с дезинфицирующей мазью и быстро доставить пострадавшего в лечебное учреждение. При обморожении III степени происходит омертвление кожи. Пострадавшего следует срочно доставить в больницу.

При *тепловом ударе*, вызванном перегревом поверхностных тканей и внутренних органов, нарушается координация движений, появляется головная боль, могут возникнуть тошнота и рвота, учащается пульс и дыхание, расширяются зрачки, усиливается потоотделение, возможны обмороки.

Солнечный удар может произойти при перегреве головного мозга инфракрасными лучами солнечного света. Его симптомы: головная боль, резкое покраснение кожи, головокружение, в тяжелых случаях — потеря сознания и даже смерть.

При тепловом и солнечном ударах пострадавшего следует быстро вывести в прохладное, хорошо вентилируемое место и приложить к лицу, голове, шее холодный компресс, пузырь со льдом. Хорошо и быстро охлаждает обертывание тела холодным влажным полотенцем. Дать попить пострадавшему холодной воды, после чего обязательно вызвать врача или доставить в больницу.

Для предупреждения теплового и солнечного ударов следует ограничить время пребывания на ярком солнце, покрыть голову светлым головным убором или защитить зонтиком.

Роль закаливания в сохранении здоровья человека. *Закаливание* — целенаправленное использование климатических факторов в целях повышения сопротивляемости организма к неблагоприятным воздействиям внешней среды. В результате закаливания приспособительные реакции организма постепенно становятся более быстрыми и точными. У закаленного человека кровеносные сосуды кожи расширяются и сужаются значительно быстрее, чем у незакаленных людей. Этим достигается большая устойчивость организма к колебаниям температуры окружающей среды. У закаленного человека активизируются обменные процессы, улучшается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, повышается иммунитет, снижается чувствительность к холоду.

Важнейшим требованием к закаливанию является *постепенность*. Постепенно следует снижать температуру воды или воздуха и увеличивать продолжительность закаливающих процедур. Не менее важна *систематичность* закаливания. Даже непродолжительный перерыв в закаливании ведет к угасанию выработанных реакций, поэтому закаливать организм нужно с раннего возраста до глубокой старости.

Основными факторами закаливания являются пребывание на свежем воздухе, солнечные ванны, водные процедуры.

Свежий воздух содержит больше кислорода, в нем меньше болезнетворных бактерий. Воздушные ванны следует принимать в обнаженном или полуобнаженном виде, начиная с 20 мин при температуре 15—20 °С, и с учетом индивидуальных особенностей доводить их до 1,5 ч при температуре 10—15 °С.

Водные процедуры повышают способность сосудов быстро сужаться и расширяться (гимнастика сосудов) в зависимости от температуры воды. Наиболее доступны ножные ванны, обтирания до пояса, обливание, контрастный душ, купание в открытом водоеме. Важно не допускать переохлаждения организма.

Солнечные ванны активируют кровообращение, образование пигментов кожи. Наилучшее время приема солнечных ванн с 9 до 11 и с 17 до 19 ч, начиная с 5—10 мин и увеличивая ежедневно на 3—5 мин, доводя до 40—60 мин непрерывного пребывания на солнце.

РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЧЕЛОВЕКА

Репродукция (лат. *re* — приставка, указывающая на повторное, возобновляемое действие, *productio* — производство, произведение) — воспроизведение себе подобных — важнейшее свойство всех живых организмов. Всем животным, в том числе и человеку, свойственно *половое размножение*, в котором участвуют мужские и женские половые клетки. *Половые клетки* вырабатываются в *половых железах репродуктивных органов*. Кроме них, в этих железах образуются *половые гормоны*, контролирующие развитие *вторичных половых признаков* (размеры и пропорции тела, волосистой покров, тембр голоса), сексуальное поведение человека. Половые гормоны обеспечивают также нормальное протекание беременности и родов.

Оплодотворение у человека внутреннее, происходит в половых путях женщины. В момент оплодотворения мужская половая клетка — *сперматозоид* — проникает в женскую *яйцеклетку* и сливается с ней. В образовавшейся одноклеточной *зиготе* (гр. *zygotos* — соединенный вместе) объединяется наследственная информация обоих родителей. Деление зиготы и дифференциация ее клеток, образование тканей и органов нового организма происходит в матке в течение 280 сут и заканчиваются его рождением.

Репродуктивные органы. *Мужская половая система* представлена внутренними половыми органами (яичками и их придатками, семявыносящими каналами, семенными пузырьками, предстательной железой и семявыбрасывающим (мочевым) каналом) и наружными (половым членом и мошонкой) (рис. 10.44).

Мужские половые клетки — *сперматозоиды* — образуются в парных половых железах — *яичках (семенниках)*. Яички расположены в кожно-мышечном мешочке — *мошонке*. Их расположение вне полости тела обеспечивает оптимальную температуру для созревания сперматозоидов (около 35 °С). В яичке имеются конусовидные дольки, разделенные тонкими перегородками. В каждой дольке имеются извитые канальцы, в стенках которых образуются и созревают (примерно за 65—70 сут) сперматозоиды. После этого они поступают из долек яичка по выносящим канальцам в *придаток семенника*, где накапливаются и продолжают созревать. Затем сперматозоиды поступают в трубчатый канал — *семявыносящий проток*, отходящий от каждого придатка яичка. Концевая часть каждого семявыносящего протока проходит через *семенные пузырьки*, вырабатывающие жидкий секрет, питающий и активизирующий сперматозоиды. Затем семявыносящие протоки сливаются в *семявыбрасывающий проток*, который проходит через *предстательную железу*. Выделяемый ею секрет входит в состав семенной жидкости, в которой сперматозоиды приобретают подвижность. В 1 мл семенной жидкости содержится около 30 млн сперматозоидов. Под давлением она выбрасывается наружу по мочеиспускательному каналу, проходящему внутри полового члена.

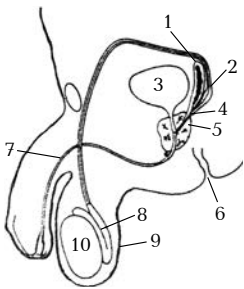


Рис. 10.44. Строение мужской половой системы: 1 — семенной пузырьки; 2 — семявыносящий проток; 3 — мочевой пузырь; 4 — семявыбрасывающий проток; 5 — предстательная железа; 6 — прямая кишка; 7 — уретра; 8 — придаток яичка; 9 — мошонка; 10 — яичко

Женская половая система представлена яичниками, маточными трубами (яйцеводами), маткой и влагалищем (рис. 10.45).

Яичники — парные половые железы, расположенные в полости таза. При рождении девочки в ее яичниках имеется около 30—40 тыс. незрелых предшественников яйцеклеток — первичных фолликулов. К моменту половой зрелости в яичнике девушки остается только 400—500 фолликулов, которые созревают до яйцеклеток. Созревший фолликул выпячивается с поверхностного слоя яичника, его наружная стенка истончается, и пузырек лопается. Из него выходит **яйцеклетка**. Этот процесс называется **овуляцией**. Лопнувший **фолликул** превращается в **желтое тело** — временную эндокринную железу. Она вырабатывает гормон **прогестерон**, который подготавливает слизистую оболочку матки к внедрению в нее зародыша, а также приостанавливает созревание в яичнике других яйцеклеток. Если оплодотворения не произошло, то желтое тело на 13—14-е сут рассасывается.

Маточные трубы (яйцеводы) — парные трубки, стенки которых состоят из слоя гладкой мускулатуры, а внутреннего поверхность выстлана мерцательным эпителием. Начало маточной трубы находится вблизи яичника и открыто в брюшную полость ее расширением — **воронкой**, окаймленной бахромой, и покрыто изнутри ресничным эпителием. Другой конец маточной трубы открывается в **матку** — полый треугольный мышечный орган, изнутри выстланный слизистой оболочкой, богатой кровеносными сосудами. Матка служит для закрепления, развития и вынашивания плода, а также его вытеснения из организма матери во время родов. Внизу матка сужается, образуя **шейку матки**, открывающуюся во **влагалище**.

Оплодотворение. После овуляции яйцеклетка благодаря биению ресничек бахромки маточной трубы направляется в полость ее канала. Сперматозоиды, пройдя через влагалище, шейку матки, полость матки, также проникают в начальный отдел маточной трубы. Продолжительность жизни сперматозоида составляет около 3 сут; яйцеклетка сохраняет способность к оплодотворению всего 24 ч.

В маточной трубе один из многочисленных сперматозоидов проникает в цитоплазму яйцеклетки. Его ядро сливается с ядром яйцеклетки — происходит **оплодотворение**. Оплодотворенная яйцеклетка — **зигота** — медленно движется по маточной трубе благодаря сокращению гладких мышц и мерцательного эпителия ее стенок. Зигота делится, образуется многоклеточный **зародыш**, который спускается в матку и закрепляется в ее разрыхленной слизистой оболочке.

Если оплодотворения не произошло, то слизистая оболочка матки отторгается и удаляется наружу — наступает **менструация** (лат. *mens* — месяц). Она повторяется у девушек и женщин в среднем через 28 дней.

Беременность. Роды. **Беременность** — состояние женщины, в матке которой развивается плод — будущий ребенок. Нормальная беременность продолжается около 9 месяцев. За это время из микроскопической зиготы развивается ребенок массой около 3 кг и длиной 48—52 см. В процессе беременности в организме женщины происходят сложные изменения. Прекращаются менструации, набухают молочные железы. У некоторых женщин на коже появляются пигментные пятна, отмечается слабость, сонливость, тошнота, иногда рвота, изменение вкуса. Эти симптомы характерны для начального периода беременности, в дальнейшем они исчезают.

Развитие зародыша начинается сразу же после оплодотворения. Зигота начинает делиться, и на 3—4-е сут в маточной трубе зародыш имеет вид полового однослойного пузырька, заполненного жидкостью, — **бластулы**. На 5-е сут бластула попадает в матку, а на 7-е погружается в ее слизистую оболочку.

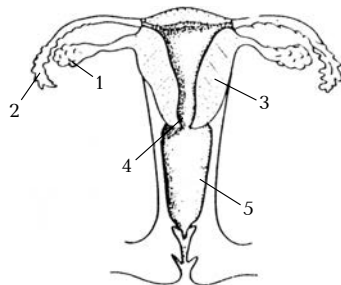


Рис. 10.45. Строение женской половой системы: 1 — яичник; 2 — воронка маточной трубы; 3 — матка; 4 — шейка матки; 5 — влагалище

С этого момента развивающийся зародыш начинает получать кислород и питание из матки при помощи врастающих в нее ворсинок. В месте контакта зародыша и материнского организма начинает формироваться *плацента (детское место)*, через которую зародыш будет получать от материнского организма питание и кислород, а выделять в организм матери конечные продукты обмена веществ.

У развивающегося зародыша начинают дифференцироваться клетки, образуя ткани и органы. Из части клеток зародыша формируются оболочки:

а) *наружная* — имеет ворсинки с капиллярами, через которые происходит питание и дыхание зародыша;

б) *внутренняя* — тонкая и прозрачная, образующая пузырь (*амнион*), заполненный внутри жидкостью, в которой плавает зародыш. Внутренняя оболочка предохраняет зародыш от ударов и шумов и дает ему возможность правильно формироваться.

В ходе внутриутробного развития ворсинки наружной оболочки сохраняются только на той стороне зародышевой оболочки, которая обращена к матке. Эти ворсинки разрастаются и разветвляются, погружаясь в слизистую оболочку матки, обильно снабженную кровеносными сосудами, — развивается *плацента*. Она имеет вид диска, прочно укрепленного в слизистой оболочке.

Через стенки кровеносных капилляров и ворсинок плаценты идет обмен газами и питательными веществами между организмами матери и ребенка. Кровь матери и ребенка никогда не смешивается.

К 8-й неделе беременности появляются зачатков всех систем органов заканчивается *эмбриональный период развития*. С 9-й недели начинается *плодный период*, характеризующийся ростом плода и окончательным формированием его органов и систем органов.

Связь зародыша с плацентой осуществляется через *пуповину* — соединительнотканый упругий шнур, содержащий пупочные вену и две артерии. В ходе беременности кровь матери не смешивается с кровью плода благодаря наличию плацентарного барьера. Через плаценту проходят кровеносные сосуды, входящие в состав кровеносной системы зародыша и несущие кровь в обоих направлениях: от плода к матери и от матери к плоду. Сосуды пуповины отделены от капилляров матки тонкой перепонкой, через которую проникают продукты обмена веществ, питательные вещества и т. д.

От матери в развивающийся организм поступают глюкоза, вода, аминокислоты, некоторые белки, жиры, неорганические соли, витамины, антитела, кислород. Из плода в организм матери выводятся продукты распада белков, гормоны, углекислый газ, избыток воды.

С 13-й недели беременности плацента начинает играть роль железы внутренней секреции, т. е. выделяет гормоны. Благодаря им в период беременности слизистая матки не отслаивается, менструальные циклы не возникают, идет подготовка молочных желез к лактации (выработке молока).

К концу первого месяца внутриутробного развития голова зародыша составляет около 1/3 длины тела, появляются контуры глаз, на седьмой неделе беременности можно различить пальцы. Через два месяца зародыш уже похож на человека, хотя длина его всего 3 см.

К трем месяцам внутриутробного развития формируются почти все органы. К этому времени можно определить пол будущего ребенка. Интересно, что эмбрионы вплоть до шестой недели развития являются потенциально обоеполыми, и только затем активизируются гены, расположенные в половых хромосомах, отвечающие за определение пола.

К 4—5 месяцам прослушиваются сокращения сердца плода, частота которых в 2 раза больше, чем у матери. В этот период плод быстро растет и к 5 месяцам весит около 0,5 кг, а к моменту рождения — 3—3,5 кг.

Общая продолжительность беременности 270—280 дней (10 лунных месяцев).

Если оплодотворяются две или более яйцеклетки, то образуются два или более плода — разнояйцовые близнецы. Иногда два или более плода развиваются из одной яйцеклетки — однояйцевые близнецы, часто они имеют одну плаценту.

Роды — сложный физиологический процесс изгнания плода, оболочек, плаценты и околоплодных вод из полости матки матери по истечении срока беременности. За 2—3 недели до родов у беременной опускается живот, ей становится легче дышать. Предвестником наступления родов являются *родовые схватки* — регулярные сокращения матки. Позже к схваткам присоединяются *потуги* — сокращения мышц брюшного пресса и диафрагмы. В результате родовой деятельности ребенок выталкивается наружу. Продолжительность родов составляет примерно сутки.

У новорожденного перевязывают пуповину, а затем перерезают ее. При первом вдохе расправляются легкие, и он начинает дышать самостоятельно.

После рождения ребенка в молочных железах матери в течение 2—3 сут вырабатывается *молозиво*, а затем образуется настоящее, зрелое *молоко*. В нем есть все необходимые вещества для роста и развития ребенка.

Через несколько недель (иногда месяцев) после родов созревание яйцеклеток в яичниках возобновляется, и женщина вновь становится способной к зачатию ребенка.

Влияние условий окружающей среды на внутриутробное развитие ребенка. Развитие организма представляет собой сложное сочетание таких процессов, как деление клеток, их перемещение и взаимодействие, образование тканей и органов. Любое нарушение этих процессов может вызвать пороки развития зародыша. Такие нарушения могут возникать под воздействием различных повреждающих факторов. К ним относятся ионизирующая радиация, вызывающая изменения в наследственном аппарате клеток; вирусы (например, у женщин, перенесших коревую краснуху в первой трети беременности, часто рождаются дети с болезнями сердца, глухотой, катарактой — помутнением хрусталика глаза); различные микроорганизмы (например, возбудитель сифилиса способен вызвать врожденную глухоту); некоторые лекарственные препараты. У родителей, злоупотребляющих алкоголем, дети рождаются со специфическим комплексом уродств и пороков: задержкой в физическом и умственном развитии, различными черепно-мозговыми уродствами, пороками сердца, половых органов и других систем. На детородные функции человека влияет курение и злоупотребление наркотиками: у курящих женщин на треть увеличивается риск бесплодия, а у мужчин курение вызывает значительное снижение половой потенции. Однако главный вред табачный дым наносит зародышу: большинство детей, рожденных курильщиками, появляются на свет с различными нарушениями — масса их меньше, они отстают в психическом развитии.

Нарушения в развитии особенно часто вызывают те факторы, которые действуют в течение определенных критических периодов.

Под *критическими периодами* понимают такой период в развитии плода, когда он оказывается максимально чувствительным к определенным воздействиям. Как правило, критические периоды приурочены к тем этапам развития организма, когда происходят процессы активного преобразования, формирования основных органов и систем. В этом отношении критические периоды внутриутробного развития являются самой уязвимой порой в жизни человека, поскольку в это время происходит формирование «каркаса» и стержневых структур будущего организма. У каждого органа — свой критический период, хотя интервал между 15-ми и 60-ми сутками беременности

оказывается критическим для многих органов. Сердце формируется между 3-й и 4-й неделями, тогда как наружные половые органы наиболее чувствительны к воздействиям между 8-й и 9-й неделями. Мозг и скелет, начиная с 3-й недели после зачатия и на протяжении всего срока беременности, постоянно чувствительны к вредным влияниям.

Половое созревание. Переходный период начинается с 9—11 лет и характеризуется глубокой перестройкой работы всех систем организма, связанной с повышенным образованием гормонов и сопутствующим этому процессу половым созреванием. Под влиянием гормонов гипофиза усиливается рост тела в длину, начинают развиваться вторичные половые признаки, активизируется деятельность щитовидной железы, надпочечников и половых желез. Возникает интерес к представителям противоположного пола, влюбленность.

Резкое усиление деятельности желез внутренней секреции влияет и на состояние нервной системы. Меняются психика и поведение подростков, их эмоции становятся весьма подвижными, изменчивыми, противоречивыми. Повышенная чувствительность нередко сочетается с черствостью, застенчивостью — с нарочитой развязностью, часто проявляется нетерпимость к родительской опеке. В этот период наблюдается снижение работоспособности, раздражительность, плаксивость.

У девочек половое созревание начинается с 8—9 лет. Жировая ткань начинает развиваться в молочных железах, на бедрах, ягодицах, отчего формы тела округляются. В 13—15 лет наблюдается быстрый рост тела в длину, увеличиваются размеры костей таза, появляются волосы на лобке и в подмышечных впадинах. Увеличивается в размерах матка, в яичниках созревают фолликулы, начинается менструация. В 16—17 лет в основном заканчивается формирование скелета по женскому типу. К 19—20 годам наступает анатомическая и физиологическая зрелость организма, готовность к детородной функции.

У мальчиков половое созревание начинается на два года позже, чем у девочек. К этому времени усиливается рост полового члена и яичек. К 12—13 годам меняется форма гортани и ломается голос. В 13—14 лет по мужскому типу формируется скелет, интенсивно растут кости плечевого пояса, замедляется рост костей таза (полное окостенение скелета заканчивается к 24 годам). В 15—16-летнем возрасте появляются волосы на лице, в подмышечных впадинах и на лобке. Увеличивается выработка яичками сперматозоидов, происходят непроизвольные ночные извержения семени (*поллюции*).

Планирование семьи. После окончания школы, получения образования и освоения профессии наступает период создания своей собственной семьи — вступление в брак. Наиболее благоприятный возраст для беременности и первых родов в браке — 19—22 года. Более ранняя беременность (13—16 лет) является большой нагрузкой на неокрепший и еще полностью не сформировавшийся организм.

В цивилизованном обществе с учетом финансовых возможностей молодых людей, устройства быта и других факторов рождение детей *планируют*. Для того чтобы рождение ребенка было не случайным, а желаемым, существуют разнообразные методы предохранения от беременности — *контрацепции*.

Высокую эффективность имеет *химический* метод — применение противозачаточных таблеток, содержащих в своем составе в небольших количествах синтетические половые гормоны, задерживающие созревание яйцеклетки. К химическим контрацептивам также относятся вводимые во влагалище перед половым актом пасты и таблетки, создающие среду, губительно действующую на сперматозоиды.

При *механической* контрацепции женщины используют колпачки, мужчины — презервативы. Эти средства препятствуют контакту сперматозоидов с яйцеклеткой. Разновидностью механической контрацепции является вве-

дение внутриматочной спирали, не препятствующей оплодотворению, но не позволяющей зародышу укрепиться в слизистой оболочке матки.

При выборе того или иного вида контрацепции необходимо посоветоваться с врачом-гинекологом и учитывать индивидуальные особенности организма.

Заболевания, передающиеся половым путем. Беспорядочные половые отношения опасны занесением инфекции. Выявлено много заболеваний, передающихся половым путем. Заразиться может человек любого возраста: врожденного или приобретенного иммунитета к этим заболеваниям не существует.

Трихомоноз — одно из самых распространенных заболеваний, передающихся половым путем. Возбудитель заболевания — одноклеточный жгутиковый протист *трихомонада* вызывает воспаление слизистой оболочки половых органов, приводящее к снижению активности сперматозоидов и, как следствие, к бесплодию.

Сифилис — заболевание, передающееся как половым путем, так и через предметы личной гигиены и домашнего обихода. Возбудитель сифилиса — бактерия *бледная трепонема*, внешне напоминающая беловато-прозрачную змейку. Попадая на слизистую оболочку половых органов, она быстро размножается с образованием округлой язвы на месте первоначального внедрения бактерии, увеличиваются близлежащие к ней лимфоузлы. Безболезненность этого периода развития (*первичный сифилис*) не настораживает человека, он продолжает инфицировать своих половых партнеров. Однако болезнь развивается, трепонема, размножаясь, инфицирует весь организм. Появляется сыпь на коже и слизистых оболочках, слабость, боль в мышцах, суставах и костях (*вторичный сифилис*). Наконец, в отдельных очагах сильного поражения трепонемой наблюдается сильный отек, затем омертвление и распад тканей. Поражаться может любой участок тела. Поражение нервных клеток и сосудов головного мозга ведет к нарушению речи, потере памяти и способности к письму, чтению, вплоть до полного слабоумия. Лечение сифилиса длительное — до 5—6 лет.

Гонорея — одно из самых распространенных заболеваний половых органов. Возбудитель гонореи — бактерия *гонококк*. Размножаясь в половых органах, вызывает воспаление слизистой оболочки, сопровождающееся отеком и обильным выделением гноя. Гонорея может привести к бесплодию.

Синдром приобретенного иммунодефицита (СПИД) вызывается *вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ)*, поражающим его иммунную систему. Впервые официально зарегистрирован в США в 1981 г. Быстро распространяется практически во всех странах мира. Передается от больного человека половым путем, через плаценту от матери к плоду, а также при переливании крови, использовании инфицированных медицинских инструментов и др. Вирус избирательно поражает только те разновидности лимфоцитов, на мембране которых есть особый прикрепительный рецептор. Проникнув в клетку, он встраивается в ее генетический аппарат, долгое время (годы) не проявляя своего действия. Затем активизируется, приводя к гибели клетки иммунной системы человека и делая его беззащитным перед любой инфекцией. Медицина пока не располагает средствами лечения СПИДа.

Вредные привычки как факторы, нарушающие индивидуальное развитие человека. Употребление спиртных напитков и курение грозит преждевременным старением, у женщин — осложнениями беременности. Особенно опасны курение и прием алкоголя для женщины в первые два месяца беременности, когда происходит эмбриональная закладка систем органов и велика вероятность рождения неполноценного ребенка. Согласно данным международной статистики, смертность новорожденных у курящих женщин на 40 % выше, чем у некурящих.

СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Для восприятия внешнего мира, который полон разнообразных событий, заполнен звуками, запахами, прикосновениями разного рода, и ориентации в нем организм животных и человека снабжен **сенсорными системами**, или **анализаторами**.

Все сенсорные системы независимо от их специализации построены по единому типу и состоят из трех отделов: периферического, проводникового и центрального.

Периферический отдел анализатора представлен *рецепторами*. Их функцией является восприятие конкретного раздражителя (механического, светового, химического) и перевод (кодирование) его действия в нервный импульс. Выделяют следующие виды рецепторов: фоторецепторы (зрения), механорецепторы (осязания, слуха), хеморецепторы (вкуса, обоняния), терморецепторы (холода, тепла) и болевые рецепторы. Рецепторы могут быть как наружными (например, осязательные рецепторы кожи), так и внутренними (например, хеморецепторы стенок крупных артерий). С рецепторами связаны вспомогательные структуры, которые видоизменяют действие раздражителя (усиливают, ослабляют). Так, например, дополнительными структурами периферического отдела зрительного анализатора являются: хрусталик, радужная оболочка, зрачок, стекловидное тело. Совокупности рецепторов и дополнительных структур образуют *органы чувств*.

Проводниковый отдел анализатора представлен совокупностью чувствительных нервных волокон, образующих нерв (зрительный, слуховой, обонятельный и др.). Его функцией является проведение нервных импульсов от рецептора в ЦНС.

Центральный отдел анализатора расположен в коре больших полушарий мозга. В них находятся высшие сенсорные центры — зоны, обеспечивающие анализ поступающей информации в виде нервных импульсов и их преобразование в соответствующее ощущение — зрительное, слуховое, вкусовое и др.

Так, например, периферический отдел слуховой сенсорной системы (анализатора) представлен наружным, средним и внутренним ухом (улиткой), проводниковый — слуховым нервом, а центральный — слуховой зоной височной доли коры больших полушарий мозга.

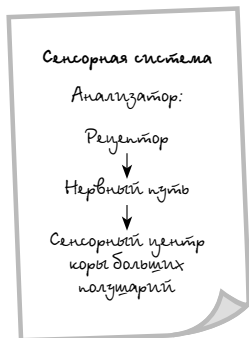
Обязательным условием нормального функционирования анализатора является целостность всех его отделов.

Общая характеристика органов чувств. *Зрение* — видимое восприятие формы, размера, цвета, яркости предметов окружающей среды.

В состав зрительного анализатора входят фоторецепторы органа зрения, зрительный нерв и зрительная зона коры затылочных долей больших полушарий мозга.

Слух — вид чувствительности, воспринимающий частоту и силу звуковых колебаний. Слуховой анализатор состоит из рецепторов внутреннего уха, слухового нерва и слуховой зоны в височной доле коры больших полушарий мозга.

Равновесие — вид чувствительности, воспринимающий положение тела в пространстве, изменение скорости и направления движения. Орган равновесия — вестибулярный аппарат — расположен во внутреннем ухе и представлен тремя полукружными каналами и двумя мешочками (овальным и круглым) в преддверии улитки, в котором имеются волосковые клетки (рецепторы). Вестибулярный анализатор состоит из механорецепторов органа равновесия, вестибулярного нерва и вестибулярной зоны в височной области коры и в постцентральной извилине.



Осязание — это восприятие формы, величины, плотности, температуры различных предметов. В коже находятся *тактильные рецепторы*, воспринимающие прикосновение и давление и формирующие чувство осязания, с помощью которого определяют форму, величину и консистенцию предметов. *Температурные рецепторы* воспринимают тепловые и холодовые воздействия. *Болевые рецепторы* возбуждаются силой внешних воздействий, приводящей к болевым ощущениям. У людей, лишенных слуха и зрения, осязание обострено и является основным источником информации о внешнем мире. Нервные импульсы от рецепторов кожи передаются в центральный отдел осязательного анализатора, расположенного в задней части центральной извилины теменной доли коры больших полушарий.

Обоняние — это восприятие запахов различных веществ. Обонятельные рецепторы находятся в слизистой верхнего носового хода. Нервные импульсы от этих рецепторов по обонятельным нервам поступают в обонятельную зону височной доли коры, в которой возникает ощущение запаха.

Вкус — это восприятие вкусовых свойств веществ, поступающих в ротовую полость. Рецепторы вкуса расположены в слизистой оболочке языка и ротовой полости. От рецепторных клеток нервные импульсы поступают в обонятельный центр височной доли коры головного мозга, где и формируются вкусовые ощущения.

Строение и функции органа зрения. Органом зрения является глаз (глазное яблоко) (рис. 10.46). Он имеет шаровидную форму и лежит в углублении лицевой части черепа — глазнице. Его движение осуществляется сокращениями мышечных пучков, отходящих от задней поверхности глаза к стенке глазницы. Глаз сзади и сбоку защищен костными стенками глазницы, а спереди — веками и ресницами.

Стенка глаза состоит из трех оболочек: наружной — фиброзной, средней — сосудистой и внутренней — сетчатой.

Наружная оболочка (фиброзная) образована плотной соединительной тканью. Спереди она переходит в прозрачную выпукло-вогнутую линзу — *роговицу*, остальная часть фиброзной оболочки — *склера* — непрозрачная и имеет белый или слегка голубоватый цвет.

Средняя оболочка (сосудистая) состоит из ресничного тела, радужки и собственно сосудистой оболочки. Последняя содержит многочисленные кровеносные сосуды, питающие глаз. Передняя часть сосудистой оболочки — *радужка* — имеет форму пигментированного диска с отверстием в центре — *зрачком*. В зависимости от количества содержащегося пигмента цвет радужки бывает от голубого до карего или почти черного. Диаметр зрачка может изменяться от 2 до 8 мм благодаря сокращениям радиальных (расширяют зрачок) и кольцевых (сужают зрачок) мышц радужки, регулируя таким образом величину светового потока на сетчатку глаза. Сосудистая оболочка отделена от внутренней слоем клеток с черным пигментом, хорошо просматриваемым через зрачок.

Внутренняя оболочка (сетчатая, сетчатка) содержит светочувствительные клетки — фоторецепторы, названные из-за их формы *колбочками* и *палочками*. От них отходят нервные волокна, объединяющиеся вместе и образующие зрительный нерв. В сетчатке насчитывается около 125 млн палочек и 7—8 млн колбочек. Колбочки воспринимают очертания, детали объектов и их цвет, палочки обеспечивают черно-белое сумеречное зрение и обладают высокой чувствительностью к свету. Наибольшее количество колбочек сосредоточено в центральной части сетчатки — *желтом пятне* — месте наилучшего видения. Палочки в основном расположены на периферии

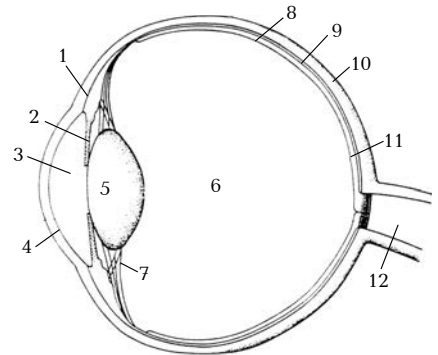


Рис. 10.46. Строение глаза: 1 — ресничная мышца; 2 — радужка; 3 — водянистая влага; 4 — роговица; 5 — хрусталик; 6 — стекловидное тело; 7 — циннова связка; 8 — сетчатка; 9 — сосудистая оболочка; 10 — склера; 11 — желтое пятно; 12 — зрительный нерв

Глазное яблоко:

- наружная (фиброзная) оболочка – склера;
- роговица (передняя часть склеры);
- передняя камера;
- сосудистая оболочка (радужка – передняя часть сосудистой оболочки);
- зрачок – отверстие в центре радужки;
- задняя камера;
- хрусталик – позади зрачка;
- стекловидное тело;
- сетчатка с колбочками и палочками;
- желтое пятно;
- слепое пятно (участок сетчатки на входе зрительного нерва)

Аккомодация – способность глаза четко видеть предметы, находящиеся на разном расстоянии

сетчатки. Место выхода из сетчатки зрительного нерва называется *слепым пятном*, так как там нет фоторецепторов. Оно лежит сбоку от желтого пятна.

Оптическая система глаза представлена выпукло-вогнутой прозрачной роговицей и двояковыпуклым эластичным хрусталиком, расположенным позади зрачка. Хрусталик имеет диаметр около 10 мм. Он упругими связками соединен с ресничной мышцей. Сокращения ресничных мышц приводят к уменьшению кривизны поверхности хрусталика. Благодаря этому осуществляется фокусировка изображения наблюдаемых объектов точно на поверхности сетчатки. Пространства между роговицей и радужкой (передняя камера), радужкой и хрусталиком (задняя камера) заполнены прозрачной жидкостью — *водянистой влагой*. Полость глазного яблока позади хрусталика заполнена прозрачной желеобразной массой — *стекловидным телом*. Жидкости камер и стекловидное тело участвуют в поддержании внутриглазного давления и формы глаза, а также питают роговицу и хрусталик, не содержащие кровеносных сосудов.

Механизм видения. Световые лучи от рассматриваемых объектов проходят через роговицу, зрачок, фокусируются хрусталиком и попадают на светочувствительные клетки сетчатки. Содержащиеся пигменты в палочках *родопсин*, в колбочках — *йодопсин* расщепляются под действием падающих на них световых лучей на белок опсин и одну из форм витамина А. Это приводит к возбуждению фоторецепторов и генерации в них нервных импульсов, передаваемых волокнам зрительного нерва, а по ним — в зрительные зоны затылочных долей коры обоих полушарий головного мозга. Человек видит объекты в уменьшенном и перевернутом виде. Видение двумя глазами (бинокулярное) дает возможность воспринимать объемное изображение объекта и определять расстояние до него.

Цветовое зрение осуществляется благодаря наличию в сетчатке колбочек трех типов, воспринимающих красный, синий и зеленый зоны солнечного спектра, т. е. излучения с определенной длиной световой волны. Остальные цвета являются комбинациями трех основных цветов. Колбочки менее чувствительны к свету, чем палочки, поэтому в сумерках зрение обеспечивается только палочками, из-за чего человек не различает цвета.

Аккомодация. Световые лучи на пути к фоторецепторам сетчатки проходят через две основные преломляющие среды глаза: роговицу и хрусталик. Чтобы объект был ясно виден, отраженные от всей его поверхности лучи должны попасть на сетчатку, т. е. должны быть сфокусированы. Это осуществляется за счет изменения кривизны поверхности хрусталика. При рассматривании близко расположенных предметов ресничные мышцы расслабляются и хрусталик становится более выпуклым, что увеличивает его преломляющую силу. Если взгляд устремлен вдаль, хрусталик уплощается за счет сокращения ресничной мышцы и его преломляющая сила уменьшается.

С возрастом происходит уплотнение хрусталика и он становится менее эластичным. В результате его преломляющая сила уменьшается, фокусное расстояние увеличивается. Отраженные от предмета лучи пересекаются за сетчаткой, делая изображение предметов расплывчатым. Чтобы хорошо видеть близко расположенные предметы, нужно использовать очки с собирательными двояковыпуклыми линзами, искусственно увеличивающими преломляющую силу оптической системы глаза. Описанные изменения характеризуются как *старческая дальнозоркость* (рис. 10.47, а).

Более часто встречающимся недостатком зрения является *близорукость*, при которой отраженные лучи от далеко расположенных объектов пересекаются перед сетчаткой, не доходя до нее. Это вызывается либо наличием длинной оси глаза (*врожденная близорукость*), либо излишней кривизной хрусталика (*приобретенная близорукость*). При близорукости человек

хорошо видит близко расположенные предметы, а дальние — расплывчато. Близорукость корректируют с помощью очков с рассеивающими двояковогнутыми линзами (рис. 10.47, б).

Гигиена зрения. Первая помощь при повреждении глаз. Зрение обеспечивает человеку до 90 % информации о внешнем мире. Для его сохранения следует соблюдать гигиенические правила: защищать глаза от попадания пыли, яркого освещения; не читать в транспорте, что приводит к ослаблению эластичности хрусталика и ресничной мышцы; при чтении и письме умеренный свет должен падать слева для правой и справа — для левой; давать 10-минутный отдых глазам через каждые 30—40 мин занятий, связанных с чтением, письмом или работой на компьютере; при просмотре телепередач находиться от экрана на расстоянии 2,5—3 м, длительность просмотра телепередач для учащихся не должна превышать 40 мин; регулярно несколько раз в день тренировать глазные мышцы, попеременно смотреть то вдаль, то на близко расположенный предмет.

При попадании соринки в глаз следует оттянуть веко и чистой влажной ваткой удалить ее. При ушибе нужно приложить к глазу смоченную в прохладной кипяченой воде салфетку или чистый носовой платок. При ранении глаза необходимо только наложить стерильную повязку и доставить пострадавшего в больницу. Попадшую в глаз щелочь (кислоту, ядовитые вещества) необходимо обильно (в течение 10—15 мин) промыть проточной водой и обратиться к врачу.

Строение и функции органа слуха. Слуховое восприятие для человека важно для общения, передачи и усвоения знаний о внешнем мире. Со слухом связано обучение речи. Ребенок, потерявший слух в раннем детстве, утрачивает и речь, хотя речевой аппарат у него не нарушен.

Периферическая часть слуховой сенсорной системы представлена наружным, средним и внутренним ухом (рис. 10.48).

Наружное ухо состоит из *ушной раковины*, образованной хрящом и покрытой кожей, и *наружного слухового прохода* — костно-хрящевое канала длиной до 3 см, выстланного многослойным плоским эпителием. Серные железы (видоизмененные потовые железы) канала вырабатывают ушную серу — вязкое вещество с бактерицидными свойствами. Внутренний конец слухового прохода заканчивается барабанной перепонкой — тонкой (0,1 мм) эластичной мембраной, отделяющей наружное ухо от среднего. Она имеет форму конуса, вершина которого направлена в полость среднего уха. Функцией наружного уха является улавливание звуковых колебаний и передача по слуховому каналу на барабанную перепонку, которая преобразует их в механические колебания и передает в среднее ухо.

Среднее ухо представлено *барабанной полостью* (объем 1 см³), тремя *слуховыми косточками* и *слуховой трубой*, открывающейся в полость носоглотки. Слуховые косточки — *молоточек*, *наковальня* и *стремечко* — соединены друг с другом суставами в цепочку. Молоточек приращен к вершине барабанной перепонки, а стремечко — к перепонке овального окна. Таким образом, колебания барабанной перепонки передаются через среднее ухо на овальное окно по цепи из молоточка, наковальни и стремечка. Из-за разницы в площади барабанной перепонки (0,55 см²)

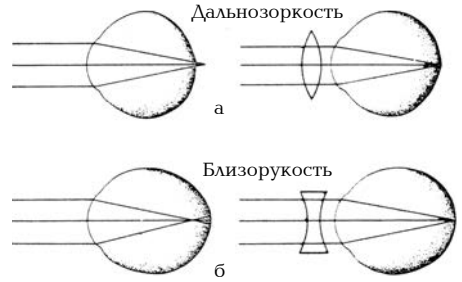


Рис. 10.47. Аномалии рефракции: а — при дальнозоркости (гиперметропии) глаз укорочен и изображение располагается за сетчаткой; для коррекции этого дефекта перед глазом помещается двояковыпуклая линза; б — при близорукости (миопии) глаз чрезмерно удлинен и изображение располагается перед сетчаткой; для коррекции этого дефекта перед глазом помещается двояковогнутая линза

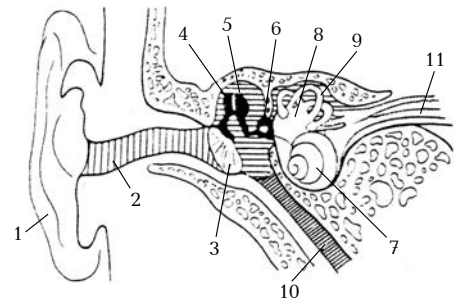


Рис. 10.48. Строение органа слуха и равновесия: 1 — ушная раковина; 2 — наружный слуховой проход; 3 — барабанная перепонка; 4 — молоточек; 5 — наковальня; 6 — стремечко; 7 — улитка; 8 — отолитовый аппарат (орган равновесия); 9 — полукружные каналы (вестибулярный аппарат); 10 — внутренняя слуховая труба; 11 — слуховой нерв

и овального окна ($0,032 \text{ см}^2$) сила звуковых колебаний, передаваемых по цепи косточек, возрастает в 30 раз.

Слуховая труба служит для выравнивания давления в барабанной полости и носоглотке (во время глотания или зевания), что позволяет создавать наилучшие условия для колебаний барабанной перепонки и, следовательно, для наилучшего восприятия звуков, а также для выравнивания давления по обе стороны барабанной перепонки.

Овальное и круглое окна представляют собой отверстия в стенке барабанной полости, натянутые эластичными мембранами и расположенные на границе полостей среднего и внутреннего уха.

Таким образом, среднее ухо выполняет функцию проведения и усиления звуковых колебаний, полученных от барабанной перепонки, жидкостям внутреннего уха.

Внутреннее ухо представляет собой звуковоспринимающую часть слуховой сенсорной системы, находящуюся в височной кости. Она состоит из полостей и каналов, образованных *костным* и находящимся в нем *перепончатым лабиринтами*. Пространство внутри лабиринтов заполнено жидкостью. В костном лабиринте различают три части: *улитку* (расположена спереди), *преддверие* (в центре) и три *полукружных канала*. К органу слуха относится только улитка, а преддверие и полукружные каналы — к *вестибулярному аппарату*.

Улиткой орган слуха назван из-за конической и скрученной в 2,5 оборота формы, напоминающей раковину моллюска. Внутри улитки расположены три параллельных, свернутых вместе канала: *верхняя* (вестибулярная), *средняя* и *нижняя* (барабанная) лестницы. Средняя лестница отделена от верхней тонкой вестибулярной мембраной, а от нижней — основной мембраной. Полости каналов заполнены двумя видами жидкости: в верхней и нижней лестницах содержится *перилимфа*, в средней — *эндолимфа*. В начальных участках верхней лестницы расположено овальное окно, нижней лестницы — круглое окно.

На основной мембране улитки в четыре ряда расположены более 20 тыс. волосковых чувствительных клеток, омываемых эндолимфой средней лестницы. Над волосками нависает лоскут основной мембраны — покровная мембрана. К каждой волосковой клетке подходит отросток нейрона, аксоны которых объединяются в слуховой нерв. Совокупность волосковых клеток, основной и покровной мембран, а также отростков слухового нерва образует *кортиева орган*.

Механизм звуковосприятия. Звуковые волны представляют собой чередования участков сжатия и разрежения молекул воздуха. Эти волны распространяются от источника звука подобно ряби на поверхности воды, концентрируются ушной раковиной и направляются по наружному слуховому проходу на барабанную перепонку, заставляя ее колебаться. От барабанной перепонки механические колебания передаются по цепочке слуховых косточек в последовательности от молоточка, наковальни до стремечка, сраченного с мембраной овального окна. Колебания мембраны последней передаются в виде волн давления перилимфе верхней лестницы, затем перилимфе нижней лестницы и мембране круглого окна. Если мембрана овального окна выгибается в полость верхнего канала улитки, то мембрана круглого окна выгибается в противоположную сторону, т. е. в барабанную полость среднего уха. Поскольку жидкость несжимаема, то без наличия круглого окна, натянутого мембраной, передача звуковых волн от мембраны овального окна была бы невозможной.

Колебания перилимфы передаются эндолимфе. В результате распространения звуковых волн в определенных участках происходят колебания основной мембраны улитки, вызывая смещение покровной мембраны, которая, касаясь волосков чувствительных клеток, изгибает их. Это приводит к возбуждению

волосковых клеток данного участка основной мембраны, генерации в них нервных импульсов и передаче их волокнам нейронов слухового нерва.

Основная мембрана, имеющая разную ширину, действует как анализатор частоты звуковых колебаний. Участок основной мембраны, расположенный вблизи от овального окна, более узкий и туго натянутый. Волосковые клетки этого участка специализируются на восприятии высоких звуковых тонов. Чем дальше от овального окна, тем шире становится основная мембрана, тем более низкочастотные колебания воспринимают ее волосковые клетки. Таким образом, от высоты звука зависит, какой участок основной мембраны будет отвечать на этот звук колебаниями наибольшей амплитуды.

Слуховые зоны в височных долях коры больших полушарий отвечают за перевод поступающих от кортиева органа нервных импульсов в сложные звуковые ощущения. Здесь происходит их распознавание, соотносятся их частота и сила, смысл услышанного.

Для высших животных и человека свойствен *бинауральный слух*, т. е. улавливание звука двумя ушами. Звуковые колебания, идущие сбоку, доходят до одного уха чуть раньше, чем до другого. Благодаря этому время поступления нервных импульсов в центральный отдел слухового анализатора от правого и левого уха будет различаться. Это дает возможность с высокой точностью определить местоположение источника звука.

Ухо человека воспринимает звуковые колебания в диапазоне 20—20 000 Гц. С возрастом верхний предел звуковосприятия снижается до 15 000 Гц. У многих позвоночных верхняя граница слуха выше, чем у человека. Так, у собак она доходит до 38 000 Гц, у кошек — до 70 000 Гц, а у летучих мышей — до 100 000 Гц и выше.

Гигиена слуха. Для сохранения слуха необходимо поддерживать чистоту в наружном слуховом проходе, в котором могут скапливаться грязь и ушная сера. Не следует извлекать серную пробку острыми предметами, которыми можно повредить целостность барабанной перепонки. В сырую, холодную и ветреную погоду следует беречь уши от переохлаждения. При инфекционных заболеваниях носоглотки болезнетворные бактерии могут через слуховую трубу вместе со слюной попасть в барабанную полость среднего уха и вызвать воспаление ее слизистой оболочки — отит.

Шум, громкие резкие звуки, длительное пользование наушниками плееров могут привести к снижению остроты слуха.

ПОВЕДЕНИЕ И ПСИХИКА

У человека как биологического существа постоянно возникают потребности в пище, воде, тепле и др., которые он стремится удовлетворить. Кроме того, являясь социальным существом, он занимает определенное положение в социуме, выполняет ряд общественных функций, согласовывает свои действия с действиями других людей, намечает планы и обсуждает пути их реализации. Сочетание биологических потребностей с социальными функциями делает поведение человека сложным и целенаправленным.

Возникновение любой потребности связано с появлением в центральной нервной системе устойчивого очага возбуждения. В случае подавления этим очагом активности других нервных центров он становится господствующим — *доминантным*. Возникшая устойчивая потребность вызывает действие, направленное на ее удовлетворение, — *мотивацию*. При наличии доминанты поведение человека становится активным, поисковым, творческим. Удовлетворение потребности называется *подкреплением*. Примером

подкрепления в жаркую солнечную погоду будет уход человека в затененное место, прием пищи при возникновении чувства голода.

Поведение — это совокупность целенаправленных действий, определяемых биологическими потребностями и социальными мотивами. Различают наследственные и приобретенные формы поведения, в основе которых лежат рефлекторные реакции.

Значение коры больших полушарий. *Высшая нервная деятельность* — это деятельность коры больших полушарий головного мозга и ближайших к ней подкорковых образований, обеспечивает наиболее совершенное приспособление (поведение) высокоорганизованных животных и человека к окружающей среде. В работе русского физиолога И. М. Сеченова «Рефлексы головного мозга» (1863) впервые была высказана мысль о связи сознания и мышления человека с рефлекторной деятельностью головного мозга. Эта идея была экспериментально подтверждена и развита работами академика И. П. Павлова, который по праву является создателем учения о высшей нервной деятельности. Ее основой являются условные рефлексы.

Все рефлекторные реакции организма на действие различных раздражителей И. П. Павлов подразделил на две группы — безусловные и условные.

Безусловные рефлексы — это врожденные рефлексы, передаваемые по наследству от родителей. Они являются видовыми, относительно постоянными и осуществляются низшими отделами ЦНС — центрами спинного мозга, ствола и подкорковыми ядрами головного мозга. Безусловные рефлексы (например, сосательный, глотательный, зрачковый рефлексы, кашель, чихание и др.) сохраняются у животных, лишенных больших полушарий. Они образуются в ответ на действие определенных раздражителей. Так, рефлекс слюноотделения возникает при раздражении пищей вкусовых сосочков языка. Возникшее в рецепторе вкуса возбуждение в виде нервного импульса проводится по волокнам чувствительного нерва в продолговатый мозг, где находится центр слюноотделения. От него по волокнам двигательного нейрона нервный импульс поступает слюнным железам, вызывая слюноотделение. На основе безусловных рефлексов осуществляется регуляция и согласованная деятельность разных органов и их систем, поддерживается само существование организма.

В изменчивых условиях окружающей среды сохранение жизнедеятельности организма и приспособительное поведение осуществляется благодаря образованию *условных рефлексов* с обязательным участием коры больших полушарий головного мозга. Они не являются врожденными, а образуются в течение всей жизни на базе безусловных рефлексов под действием определенных факторов внешней среды. Условные рефлексы строго индивидуальны, т. е. у одних особей вида тот или иной рефлекс может присутствовать, у других — отсутствовать.

Условия образования условных рефлексов. Условные рефлексы образуются в результате сочетания безусловного рефлекса с действием любого условного раздражителя. Для этого необходимо соблюдение двух условий: 1) действие условного раздражителя должно несколько предшествовать действию безусловного раздражителя (для образования у собаки условного слюноотделительного рефлекса на звуковой сигнал нужно, чтобы звонок начал звонить за 5—30 с до подачи корма и некоторое время сопровождал процесс еды); 2) условный раздражитель должен неоднократно подкрепляться действием безусловного раздражителя. Так, после нескольких сочетаний звонка с приемом пищи у собаки будет наблюдаться слюноотделение при одном только звуке звонка без пищевого подкрепления.

Механизм образования условного рефлекса состоит в установлении временной связи (замыкании) между двумя очагами возбуждения в коре больших полушарий головного мозга (рис. 10.49). Для рассмотренного примера

такими очагами являются центры слюноотделения и слуха. Дуга условного рефлекса в отличие от таковой безусловного значительно усложнена и включает рецепторы, воспринимающие действие условного раздражителя, чувствительный нерв, проводящий возбуждение в головной мозг, участок коры, связанный с центром безусловного рефлекса, двигательный нерв и рабочий орган — слюнные железы.

Биологическое значение условных рефлексов в жизни человека и животных огромно, так как они обеспечивают их приспособительное поведение — позволяют точно ориентироваться в пространстве и времени, находить пищу (по виду, запаху), избегать опасности, устранять вредные для организма воздействия. С возрастом число условных рефлексов возрастает, приобретает опыт поведения, благодаря которому взрослый организм оказывается лучше приспособленным к окружающей среде, чем детский. Выработка условных рефлексов лежит в основе дрессировки животных, когда тот или иной условный рефлекс образуется в результате сочетания с безусловным (дачка лакомства и др.).

Торможение условных рефлексов. При изменении условий существования организм образует новые условные рефлексы, а выработанные ранее ослабевают или вовсе исчезают благодаря процессу торможения. И. П. Павлов выявил два вида торможения условных рефлексов — внешнее и внутреннее.

Внешнее торможение происходит в случае образования в коре больших полушарий мозга нового очага возбуждения под действием более сильного раздражителя, не связанного с данным условным рефлексом. Например, болевые ощущения приводят к торможению пищевого рефлекса, или выработанный у животных условный пищевой рефлекс на свет не проявляется при внезапном действии звукового сигнала. Чем сильнее посторонний раздражитель, тем больше его ослабляющее действие на выработанный условный рефлекс.

Внутреннее торможение условного рефлекса развивается постепенно в случае многократного неподкрепления условного раздражителя безусловным. Благодаря внутреннему торможению в ЦНС происходит угасание биологически нецелесообразных для организма реакций, утративших свое значение в измененных условиях среды. Например, при пересыхании водоема, из которого животные пили воду, условный раздражитель — вид ручья — не будет подкрепляться безусловным (питье воды), условный рефлекс начнет угасать и животные перестанут ходить на водопой. Они найдут новый источник воды, и возникнет новый условный рефлекс взамен утраченного. Образование новых условных рефлексов и исчезновение старых позволяет организму менять свое поведение, всякий раз приспособляясь к особенностям среды обитания. Внутреннее торможение дает организму возможность сводить к минимуму биологически нецелесообразные, лишние реакции в ответ на различные раздражители, переставшие подкрепляться безусловными рефлексами.

Наиболее сложные формы приспособительного поведения свойственны человеку. Как и у животных, они связаны с образованием условных рефлексов и их торможением. Однако у человека деятельность коры больших полушарий обладает наиболее развитой способностью к анализу и синтезу сигналов, поступающих из окружающей и внутренней среды организма. Аналитическая деятельность коры заключается в тонком различении (дифференцировке) по характеру и интенсивности дей-

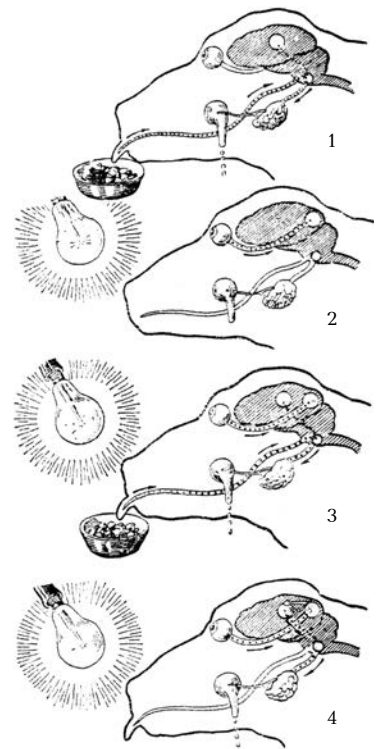


Рис. 10.49. Схема образования условного рефлекса: 1 — безусловный слюноотделительный рефлекс; 2 — действие безразличного светового раздражителя и возникновение очага возбуждения в зрительной области коры (ориентировочная реакция не показана); 3 — подкрепление безразличного раздражителя безусловным (в коре одновременно два очага возбуждения); 4 — образование условного рефлекса

твия множества раздражений, действующих на организм и доходящих в форме нервных импульсов до мозговой коры. За счет внутреннего торможения в коре осуществляется дифференцировка раздражителей по степени их биологической значимости. Синтетическая деятельность коры проявляется в связывании, объединении возбуждений, возникающих в разных зонах коры, что формирует сложные формы поведения человека.

Первая и вторая сигнальные системы. *Сигнальной системой* называют совокупность процессов в нервной системе, которые осуществляют восприятие, анализ информации и ответную реакцию организма. Академик И. П. Павлов разработал учение о первой и второй сигнальных системах.

Первой сигнальной системой он назвал деятельность коры больших полушарий мозга, которая связана с восприятием через рецепторы непосредственных раздражителей (сигналов) внешней среды, например световых, тепловых, болевых, вкусовых и т. п. Она является основой для выработки условных рефлексов, свойственных как животным, так и человеку.

В отличие от животных, человеку как социальному существу свойственна еще и **вторая сигнальная система**, связанная с функцией речи, со словом, слышимым или видимым (письменная речь). Слово, по И. П. Павлову, является сигналом для работы первой сигнальной системы («сигнал сигналов»). Например, действия человека (его поведение) будут одинаковыми как при произнесении слова «пожар!», так и при действительно наблюдаемом (зрительное раздражение) им пожаре. Образование условного рефлекса на основе речи является качественной особенностью высшей нервной деятельности человека.

Вторая сигнальная система сформировалась у человека вследствие общественного образа жизни и коллективного труда и выступала средством общения. Слово, речь, письмо являются не только слуховым и зрительным раздражителями, они несут также определенную информацию о предмете или явлении, т. е. определенную смысловую нагрузку. В процессе обучения речи у человека возникают временные связи между нейронами коры, воспринимающими сигналы от разных предметов, явлений, событий, и центрами, воспринимающими словесное обозначение этих предметов, явлений, событий, их смысловое значение. Вот почему у человека условно образованный рефлекс на какой-либо раздражитель легко воспринимается без подкрепления, если этот раздражитель выразить словесно. Например, на словосочетание «утюг горячий» человек отдернет руку и не коснется его. У собаки тоже можно выработать условный рефлекс на слово, но оно будет восприниматься ею как определенное звуко сочетание без понимания смысла. Так, дрессированная собака, становящаяся на задние лапы при слове «служи», никак не будет реагировать на одинаковый по смыслу приказ «стать вертикально».

Развитие у человека речи повысило его способность использовать опыт предыдущих поколений. В результате сформировалась свойственная только человеку форма отражения действительности, называемая *сознанием*. Человек с помощью слов, математических символов, образов художественных произведений может передавать другим людям, в том числе и другим поколениям, знания об окружающем мире. Благодаря слову (словесной сигнализации) у человека появилась возможность отвлеченно и обобщенно воспринимать явления, находящие свое выражение в понятиях, суждениях, умозаключениях. Например, слово «деревья» обобщает многочисленные породы деревьев и отвлекает от конкретных признаков дерева каждой породы.

Способность к обобщению и отвлечению служит основой *мышления* человека, являясь результатом функции всей коры мозга и особенностью ее лобных долей. Благодаря отвлеченному логическому мышлению человек познает окружающий мир и его законы. Способность к мышлению используется человеком в его практической деятельности, когда он ставит опреде-

ленные цели, намечает пути реализации и достигает их. В ходе исторического развития человечества благодаря мышлению накоплены огромные знания о внешнем мире и о самом человеке.

Таким образом, благодаря первой сигнальной системе достигается конкретное чувственное восприятие окружающего мира и познается состояние самого организма. С развитием у человека второй сигнальной системы достигается чрезвычайной сложности абстрактная *аналитическая* и *синтетическая деятельность коры головного мозга*, проявляющаяся в способности делать широкие обобщения, создавать понятия, открывать действующие в природе законы. Благодаря этому поведение человека состоит из *целенаправленных действий*. Две сигнальные системы тесно взаимодействуют между собой, так как вторая сигнальная система возникла на базе первой и функционирует в связи с ней. У человека вторая сигнальная система преобладает над первой вследствие общественного образа жизни и развития мышления.

Сон и его значение. Сон — особое состояние высшей нервной деятельности, проявляющееся в выключении сознания, угнетении двигательной активности, снижении обменных процессов и всех видов чувствительности организма. Продолжительность сна у взрослых людей составляет в среднем 7—8 ч, у новорожденных — 21 ч. Сон — одна из фаз суточного биоритма и важнейшая биологическая потребность организма животного и человека. Его рассматривают как охранительное торможение, которое охватывает кору больших полушарий и позволяет нервным центрам восстановить свою работоспособность. И действительно, каждый человек после сна чувствует, что у него улучшилось самочувствие, восстановилась работоспособность, повысилось внимание.

Однако сон — это сложный физиологический процесс, а не простой покой. Регистрация электрических потенциалов мозга — электроэнцефалограмма (ЭЭГ) — позволила выявить две фазы сна: *медленный* и *быстрый* сон, каждый из которых характеризуется разной частотой и амплитудой колебаний электрической активности мозга (рис. 10.50). Фазы сна циклично сменяют друг друга. Один цикл длится примерно 1,5 ч, когда медленный сон на непродолжительное время (около 20 мин) сменяется быстрым сном. За ночь у взрослого человека цикл повторяется 4—6 раз. Продолжительность фаз медленного сна составляет примерно 80 % всего сна. Именно во время медленного сна замедляются и значительно снижаются обменные процессы. Быстрый сон, как правило, сопровождается повышением уровня обменных процессов, быстрыми движениями глаз, сновидениями. Стадия медленного сна свойственна только человеку. Ученые связывают это с безопасностью ночлега человека, т. е. отсутствием опасности нападения.

Сознание и наркотические средства. Сон — пример естественно измененного сознания, временно отключающего нас от физической деятельности и социальной среды. Изменение сознания можно вызвать и приемом наркотических средств. Одни из нас принимают их, чтобы устранить боль, бессонницу или взбодриться в ответственные моменты жизни, другие — просто для того, чтобы почувствовать себя «иным», искусственно обрести состояние внутреннего благополучия, которое помогает преодолеть трудности жизни, а часто и избежать их. Табак, алкоголь — это самые распространенные психотропные средства, потребляемые в нашем обществе. Однако используются (хотя и нелегально) также марихуана, гашиш, амфетамины, кокаин, героин и др.

Физиологическая основа действия наркотиков. О каком бы наркотическом средстве ни шла речь, все они воздействуют на головной мозг, ускоряя передачу сенсорных сигналов

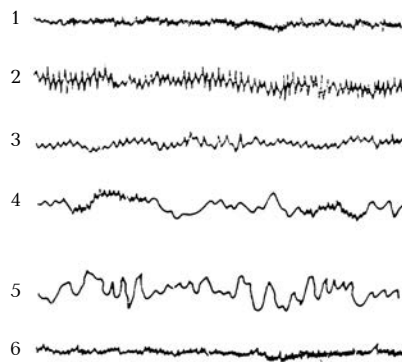


Рис. 10.50. ЭЭГ, характерные для различных фаз цикла сон — бодрствование: 1 — активное состояние; 2 — покой; 3 — дремотное состояние; 4 — легкий сон; 5 — глубокий сон; 6 — быстрый сон

либо блокируя или видоизменяя их. Ученые выяснили, что эти эффекты обусловлены их влиянием на нейромедиаторы — вещества, ответственные за передачу нервных импульсов в синапсах от одного нейрона к другому. Некоторые психотропные вещества фактически способны заменить эти нейромедиаторы, вызывая более значительные или просто качественно иные эффекты. Другие из них блокируют выделение медиаторов, а третьи, наоборот, ускоряют или настолько изменяют передачу сигналов, что мозг вскоре утрачивает способность их анализировать.

Так, например, к *возбуждающим наркотическим средствам* относится никотин, помогающий преодолеть стресс. Через некоторое время после курения происходит увеличение поступления адреналина, что приводит к активизации мозга. Однако это действие длится лишь несколько десятков минут, после чего курильщику хочется снова закурить, чтобы снова активизировать свой организм. Развивается стойкая зависимость от никотина, преодолеть которую достаточно сложно.

Сходным, но более сильным, чем никотин, возбуждающим наркотическим средством являются амфетамины и кокаин. При их употреблении у человека вначале создается ощущение физического благополучия, чувства избытка сил, уверенности в себе. Возникает непреодолимое желание говорить, творить. Однако эти состояния быстро сменяются чувством беспокойства, возникают бредовые идеи, сопровождаемые иногда галлюцинациями. В качестве примера воздействия амфетамина в одном из специальных изданий приводится описание действий одного шофера, который без остановки гнал свой грузовик в течение 48 ч, «поддерживаемый» избытком употребленного наркотика. Когда же он был найден на обочине дороги среди обломков своей машины, то рассказал, что поручил управление машиной сменщику, существовавшему лишь в его галлюцинирующем мозгу, а сам лег отдыхать.

Нейродепрессанты оказывают действие, противоположное возбуждающим средствам. Они угнетают деятельность дыхательного центра продолговатого мозга и уменьшают поступление в мозг кислорода. Последствиями такого воздействия на мозг являются плохая координация движений, сбивчивая речь, нечеткость мышления, а также снижение внимания и сонливость. В эту группу входит и алкоголь. После первоначального бодрящего действия от приема алкоголя человек чувствует себя освобожденным от внутренних оков, ведет себя шумно, возбужденно, наступает резкое снижение активности его организма. Нейродепрессорное действие проявляется в манере человека говорить («заплетается» язык), потере контроля за поведением, расстройстве походки. Умение логически мыслить и принимать верные решения уменьшаются до такой степени, что человек не способен оценить состояние, в котором находится. В состоянии алкогольного опьянения он садится в машину, уверенный в том, что справится с управлением. Десятки тысяч людей, гибнущих ежегодно по вине пьяных водителей, оказываются жертвами этой ошибочной самооценки.

Употребление наркотических веществ приводит к развитию привыкания: организм становится все более устойчивым к их воздействиям. Для достижения желаемого эффекта необходимо применять все большие дозы. Развивается болезненное пристрастие, состояние «закабаленности» от наркотиков.

Наркотики представляют реальную опасность как для отдельного человека, так и для общества. При воздействии повышенных доз наркотика (а их требует зависимый организм) мозг теряет контроль над своей деятельностью. Тогда приходится иметь дело с последствиями их применения — расстроенным сознанием, функционирование которого все больше зависит от наркотика. Слишком большую цену платит человек за ощущение минутного «искусственного рая», эффекта свободы, раскованности, эйфории. Человеческий мозг сам имеет достаточно возможностей, чтобы управлять информацией, исходящей как из его внутреннего мира, так и из окружающей действительности.

ГЛАВА 11

Наследственность и изменчивость организмов

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ, УСТАНОВЛЕННЫЕ Г. МЕНДЕЛЕМ

Наследственность — это свойство живых организмов сохранять и передавать в ряду поколений характерные для вида особенности строения, функционирования и развития. Благодаря этому каждый вид организмов сохраняет на протяжении длительного времени свойственные только ему черты.

Процесс передачи наследственной информации одного организма другому в ходе размножения называется *наследованием*. В основе наследования лежит способность ДНК хромосом к репликации. Во время клеточного деления дочерние хромосомы равновероятно распределяются между дочерними клетками. В хромосомах локализованы гены (участки молекул ДНК), кодирующие все белки организма; белки, в свою очередь, определяют развитие признаков. Совокупность наследственных задатков (генов) организма называется *генотипом*, а совокупность всех признаков и свойств организма — *фенотипом*.

Изменчивость — способность организмов в процессе жизнедеятельности приобретать новые и утрачивать старые признаки. Благодаря изменчивости особи в пределах вида различаются между собой.

Наследственность и изменчивость изучает *генетика*. Основным методом исследований в генетике является *гибридологический* — система скрещиваний (гибридизация) организмов, отличающихся друг от друга по одной, нескольким или многим парам альтернативных (противоположных) признаков, с последующим анализом потомства. Кроме того, используются *цитогенетический* (изучение морфологии хромосом), *биохимический* (исследование нуклеиновых кислот, белков и других веществ в клетках организмов), *онтогенетический* (изучение проявления действия генов в онтогенезе, т. е. в процессе индивидуального развития организма) и другие методы. В генетике широко применяются также статистические методы анализа.

История изучения наследственности. Люди с древнейших времен знали, что живые организмы передают свои свойства и признаки потомкам. Из желудя всегда вырастает дуб, а из семян сосны — новые сосны. У кошки рождаются только котят, а у собаки — только щенки. Из яиц курицы

вылупливаются цыплята, а из яиц утки — утята. То есть комплекс признаков, отличающих дуб от сосны, кошек от собак, кур от уток, передается по наследству от родителей к их детям. И про людей тоже было известно — дети более или менее похожи на своих родителей и внешностью, и характером. Значит, эти признаки тоже наследуются. Правда, бывает так, что дети имеют мало сходства с родителями, но зато похожи на бабушку или дедушку. Объяснить эти факты длительное время было невозможно — ничего не было известно о существовании клеток, их делении, хромосомах, о процессах оплодотворения и т. д. Тем не менее попытки объяснить явления наследственности предпринимались давно.

Еще в середине XVII в. немецкий ученый и врач Р. Камерариус заложил основы гибридизации у растений. Он обнаружил, что растения имеют мужские и женские органы полового размножения, и предположил, что для образования плодов необходимо опыление.

В XVIII в. немецкий ученый, член Российской академии наук Й. Кельрейтер осуществил первые опыты по искусственной гибридизации у растений и доказал, что в формировании признаков у потомков принимают участие оба растения-родителя. В опытах с гвоздикой, дурманом и табаком Й. Кельрейтер установил, что после переноса пыльцы с одного растения на пестик другого образуются семена, из которых вырастают растения-потомки, часто имеющие признаки, промежуточные между признаками родителей. Он также обнаружил, что результат не зависит от того, с какого растения берется пыльца, т. е. доказал, что в передаче признаков участвуют оба родителя. Растения, образующиеся от скрещивания родителей разных сортов, называются *гибридами*.

В конце XVIII в. английский растениевод Т. Найт, скрещивая различные сорта гороха, обнаружил, что у гибридов первого поколения проявляются признаки одного родителя. В последующих поколениях он находил растения, у которых проявлялись признаки обоих исходных родителей, в том числе и скрытые у гибридов первого поколения.

Дальнейшее развитие метода скрещиваний связано с французской школой селекционеров О. Сажрэ и Ш. Ноденом. Излюбленными объектами их исследований были представители семейства тыквенных — овощные культуры, вегетационный цикл которых составляет несколько месяцев. При скрещивании растений разных сортов тыквы, различающихся по отдельным признакам, таким как окраска мякоти плодов (желтая и белая) и семян (желтые и белые), О. Сажрэ (1830) обнаружил, что у гибридов первого поколения проявляются признаки только одного из родителей (плоды были с желтой мякотью, белыми семенами), а во втором поколении происходит выщепление других признаков (белая мякоть, желтые семена). Таким образом, впервые в истории гибридизации Сажрэ стал изучать отдельные признаки растений, используемых в скрещивании. Он дал перечень этих признаков, расположив их в альтернативные пары. Объясняя полученные результаты, Сажрэ приходит к выводу о том, что наследственные признаки не смешиваются, не пропадают, а целиком переходят к потомству. Таким образом он первым дал правильное представление об устойчивых элементарных единичных признаках.

Впоследствии признаки, которые проявляются у гибридов, были названы доминантными, а не проявляющиеся — рецессивными.

Появление среди гибридов второго поколения растений с признаками, которые были у родителей исходных сортов и не проявлялись у гибридов первого поколения, назвали *расщеплением*.

Спустя более 20 лет в опытах, относящихся к 1854 г., Ш. Ноден впервые применил методы количественного анализа для изучения перекомбинации

наследственных задатков при скрещиваниях. Однако одновременное изучение большого количества признаков привело его к путанице в объяснении результатов, и он отказался от своей попытки объяснить те процессы, которые происходят при гибридизации.

Таким образом, к середине XIX в. ученые и практики во многих странах пытались понять, как наследуются признаки у организмов. При скрещивании как растений, так и животных они обнаружили такие особенности наследования, как доминирование, единообразие гибридов первого поколения, расщепление и перекомбинирование наследственных задатков при гибридизации. Однако выявить закономерности этих явлений и объяснить их не удалось, так как одновременно изучалось наследование нескольких признаков и не допускалась возможность их независимого наследования.

Изучение наследственности Г. Менделем. Основные законы наследственности были открыты чешским исследователем-любителем Г. Менделем, монахом Августинского монастыря. Он экспериментировал с горохом посевным для того, чтобы узнать, как передаются по наследству признаки у организмов этого вида. Результаты своих исследований Г. Мендель доложил в 1865 г. в докладе «Опыты над растительными гибридами», который затем был опубликован.

Проводя скрещивание растений и анализируя полученные результаты, исследователь понял, что каждый раз следует концентрировать внимание на одном признаке, например на форме или окраске семян, а не на всех признаках растений одновременно. С этой целью он отобрал сорта гороха с признаками, по которым растения четко различались. Таких признаков было семь пар: желтая или зеленая окраска семян, гладкая или морщинистая их поверхность, фиолетовые или белые цветки, их пазушное или верхушечное размещение, высокие (до 2 м) или низкие (до 60 см) стебли, зеленые или желтые, вздутые или сжатые с перетяжками плоды. Признаки каждой пары называются *альтернативными (противоположными)*.

Прежде чем скрещивать растения с альтернативными признаками между собой, Г. Мендель также убедился, что они принадлежат к *чистым* линиям. Для этого он, получив от семеноводов множество сортов гороха, в течение двух лет разводил их, чтобы отобрать для своих опытов только те линии, в которых данный признак всегда проявлялся в потомстве и не наблюдалось расщепления.

Еще одной важной особенностью работ Менделя был количественный подход при анализе результатов скрещивания: он подсчитывал число потомков разных типов, чтобы установить, с одинаковой ли частотой проявляются носители альтернативных признаков. Иными словами, был осуществлен индивидуальный анализ потомства каждого гибридного поколения отдельно по каждой паре признаков.

Моногибридное скрещивание. Закон единообразия гибридов первого поколения. *Моногибридным* называется такое скрещивание, при котором родительские организмы отличаются друг от друга по одной паре альтернативных признаков.

Горох — самоопылитель: цветки растений устроены таким образом, что пыльца обычно попадает на рыльце пестика того же цветка и опылает его. Однако довольно просто можно провести перекрестное опыление. Для этого Мендель раскрывал бутоны и удалял тычинки с еще не созревшей пылью, предотвращая тем самым самоопыление, а затем опылял этот цветок пылью другого растения.

В одном из опытов Мендель изучал наследование окраски семян. Он скрещивал растения, дающие желтые семена, с растениями, продуцирующими зеленые семена. Результаты были однозначны: у всех гибридных растений

первого поколения (F_1)* семена оказались желтыми независимо от того, материнским или отцовским было растение с такими семенами. Зеленая окраска семян у гибридов первого поколения не проявлялась:

P : ♀ желтые семена $\times$ ♂ зеленые семена

F_1 : все семена желтого цвета.

Мендель обнаружил, что аналогичным образом наследуются все семь признаков, отобранных им для исследования. В каждом случае гибриды первого поколения оказались единообразными по каждому из семи перечисленных выше признаков: у растений проявлялся лишь один из двух альтернативных признаков. Мендель назвал такие признаки (желтая окраска семян, их гладкая поверхность, пазушные цветки и т. д.) *доминантными*, а альтернативные признаки (зеленые семена, морщинистость, верхушечные цветки) — *рецессивными*.

Явление доминирования у гибридов первого поколения одного признака над другим и единообразие гибридов по этому признаку впоследствии было названо *законом единообразия гибридов первого поколения*, или *первым законом Менделя*.

Этот закон формулируется следующим образом: *при скрещивании двух особей чистых линий одного вида, отличающихся по одной паре альтернативных признаков, гибриды первого поколения единообразны*.

Закон расщепления. При самоопылении гибридов первого поколения (F_1) во втором поколении (F_2) были получены два фенотипических класса в количественном отношении 3:1 (3/4 растений дали желтые семена и 1/4 — зеленые). Таким образом, в F_2 проявились признаки обоих исходных родительских растений, т. е. признак зеленой окраски семян у гибридов первого поколения не исчезал, а только был подавлен.

Такое же расщепление было обнаружено Менделем и по другим исследуемым признакам (3/4 растений в F_2 имели доминантные признаки и 1/4 — рецессивные).

Эта закономерность позднее была названа **законом расщепления**, или **вторым законом Менделя**. Его можно сформулировать следующим образом: *при скрещивании гибридов первого поколения между собой во втором поколении наблюдается расщепление по альтернативным признакам в соотношении: 3 части особей с доминантным признаком к 1 части особей с рецессивным признаком*.

Необходимо отметить, что идеального соотношения 3:1 обычно не обнаруживалось ни в одном опыте. Например, изучая расщепление по окраске семян, Мендель получил 8023 семени, из которых 6022 были желтыми и 2001 — зелеными, что очень близко к соотношению 3:1. Таким образом, только статистический анализ позволяет установить характер расщепления.

Чтобы выяснить, как будет осуществляться наследование признаков в третьем, четвертом и последующих поколениях, Мендель прорастил семена F_2 . Позже он предоставил растениям возможность самоопыляться. У растений, выросших из семян зеленого цвета, семена всегда были зелеными. Однако растения, полученные из желтых семян, вели себя иначе: 2/3 особей с доминантными признаками дали в потомстве расщепление в соотношении 3 желтых : 1 зеленое; среди 1/3 особей с доминантными признаками расщепления не было, все их потомство дало желтые горошины. Такие же результаты были получены и по другим признакам.

* При анализе закономерностей наследования признаков исследователи для записи системы скрещиваний пользуются международной символикой: P — родительские особи (лат. *parentes* — родители); ♀ — женская особь; ♂ — мужская особь; F — гибридное потомство (лат. *filiale* — дочерний) с соответствующим индексом (F_1 , F_2 , F_3 и т. д.); значок « $\times$ » используется для обозначения скрещивания.

В чем же причина расщепления? Почему при дальнейшем самоопылении снова происходит расщепление в строго определенных соотношениях?

Для объяснения результатов своих наблюдений с горохом Мендель выдвинул следующую гипотезу. Альтернативные признаки, такие как, например, желтая и зеленая окраска семян, определяются какими-то наследственными факторами (задатками), которые передаются от родителей потомкам с гаметам. Впоследствии эти наследственные задатки, ответственные за формирование признаков, стали называть *генами*. Мендель предположил, что доминантный признак обусловлен доминантным фактором (геном), а рецессивный признак — рецессивным фактором. Доминантные факторы (гены) Мендель обозначил прописными буквами латинского алфавита (например, А), рецессивные — строчными (а).

Мендель предположил, что каждому признаку в растении соответствует пара «факторов», из которых один получен от отцовского растения, а другой — от материнского. При моногибридном скрещивании, т. е. таком, при котором скрещиваемые организмы отличаются только одним признаком (например, окраской семян: отцовское растение дает желтые семена, а материнское — зеленые), все гибриды первого поколения обладали наследственным фактором А и фактором а, поэтому их структуру можно записать как Аа. Следовательно, у диплоидных организмов наследственные факторы представлены парами. Каждый член такой пары называют аллелем. Аллели — это варианты одного и того же гена, которые контролируют различные проявления данного признака. Особей, наследственно чистых по доминантному признаку, можно обозначить как АА, по рецессивному — аа. В дальнейшем организмы, имеющие одинаковые аллельные гены (АА или аа), стали называть *гомозиготами*, а особи, имеющие разные аллельные гены (Аа), — *гетерозиготами*. Термины «гомозиготный» и «гетерозиготный» были введены английским генетиком У. Бэтсоном.

Расщепление во втором поколении свидетельствует о том, что аллели расходятся при образовании гамет. Мендель предположил, что каждое из гибридных растений первого поколения образует поровну два сорта половых клеток, содержащих аллель А или аллель а. Общее правило, выражающее гипотезу Менделя, может быть сформулировано так: *два члена каждой пары аллелей разделяются при формировании гамет, и в гамету поступает только по одному аллелю от каждой пары*.

Предположение, что аллели, полученные гибридом от своих родителей, распределяются поровну между половыми клетками гибрида, не попадая в одну гамету, не разбавляясь и не смешиваясь, английский генетик У. Бэтсон в 1909 г. назвал **гипотезой чистоты гамет**.

Моногибридное скрещивание можно представить в виде схемы:

P:	♀ AA	×	♂ aa
	желтые		зеленые
G:	(A)		(a)
F ₁ :	Aa	×	Aa
G:	A		a
	(A)		(a)
F ₂ :	AA : Aa : Aa : aa		
	желтые желтые желтые зеленые		

При образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один ген аллельной пары

Расщепление по фенотипу: 3/4 желтых : 1/4 зеленых, или 3:1.

Расщепление по генотипу: 1 AA : 2 Aa : 1 aa, или 1:2:1.

Фенотип — совокупность всех свойств и признаков организма.

Генотип — совокупность всех генов данного организма

Фенотип* — это совокупность признаков и свойств организма. Генотип — совокупность генов данного организма.

Для записи скрещивания гибридов применяют специальную таблицу, предложенную английским генетиком Р. Пеннетом и названную решеткой Пеннета. В ней по горизонтали вписывают гаметы одного родителя, по вертикали — гаметы другого родителя; в клетках на пересечении строк и столбцов записывают генотипы особей, которые возникают при слиянии соответствующих гамет. Результаты скрещивания гибридов F_1 между собой отображены на следующей схеме:

♀ \ ♂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Мы видим, что среди гибридов второго поколения возможно образование разных вариантов генотипа. Во-первых, это генотип AA, т. е. организм, *гомозиготный по доминантному аллелю* (имеющий два одинаковых доминантных аллеля); генотип aa — организм, *гомозиготный по рецессивному аллелю* (имеющий два одинаковых рецессивных аллеля); наконец, генотип Aa — организм, *гетерозиготный по аллелям A и a* (имеющий два разных аллеля). Потомков с генотипом Aa будет вдвое больше, чем с AA или aa. Итак, при скрещивании двух гетерозиготных организмов получают потомки с тремя разными генотипами — AA, Aa и aa в отношении 1:2:1.

При условии полного доминирования (когда доминантный ген полностью подавляет проявление рецессивного гена) аллели определяют два варианта фенотипа. Из приведенной выше схемы становятся понятными и причины дальнейшего расщепления признаков при самоопылении гибридов второго поколения. Гомозиготные особи будут формировать гаметы только одного сорта, и среди их потомков явление расщепления не будет наблюдаться. Гетерозиготные особи будут формировать два сорта гамет (с доминантным и рецессивным аллелями), поэтому среди их потомков произойдет расщепление по фенотипу в отношении 3:1.

Вывявленные Г. Менделем закономерности не привлекли должного внимания ученых и по достоинству были оценены только спустя 35 лет. Законы Менделя были повторно открыты в 1900 г. независимо друг от друга тремя учеными, получившими сходные с Менделем результаты и признавшими его приоритет. Это были Г. де Фриз (Голландия), К. Корренс (Германия) и Э. Чермак (Австрия). С этого момента для всех стало очевидным, насколько велико значение работ Менделя: именно им был открыт путь к разгадке тайны наследственности. Многочисленными исследованиями ряда ученых в последующие годы был установлен универсальный характер законов Менделя. Им подчиняются все живые организмы, в том числе человек, у которого изучено и описано много пар альтернативных признаков.

* Термин «фенотип» используется в двух смыслах. В широком смысле — это совокупность всех признаков организма. Применительно к моногибридному скрещиванию словом «фенотип» обычно обозначают тот признак, который в этом скрещивании изучается, например желтые и зеленые семена.

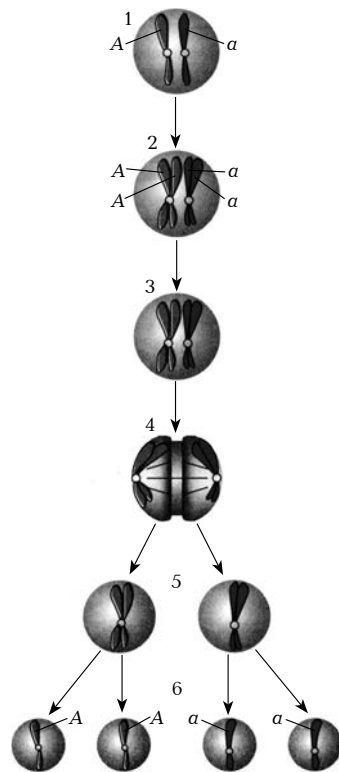
Термин «генотип» используется также в двух смыслах. В широком смысле — это совокупность всех генов данного организма. Применительно к опытам того типа, которые ставил Мендель, словом «генотип» обозначают сочетание аллелей, которые контролируют данный признак. Организмы могут иметь генотип AA, Aa или aa. Термин «генотип» был введен в науку В. Иоганнсенем в 1909 г.

Переоткрытие законов Менделя вызвало стремительное развитие генетики.

Цитологические основы наследования признаков при моногибридном скрещивании. Механизмы, объясняющие расщепление 3:1, Менделю остались неизвестны. И только после того, как были открыты хромосомы, описано их поведение при митозе и мейозе и доказано, что гены локализованы в хромосомах, стало понятно, что в основе закономерностей, открытых Менделем, лежат поведение хромосом в процессе мейоза и случайная встреча гамет при оплодотворении (рис. 11.1).

Запишем схему моногибридного скрещивания, показав локализацию генов в гомологичных хромосомах, и обозначим последние черточками:

P:	♀ $\frac{A}{A}$	×	♂ $\frac{a}{a}$
	желтые		зеленые
G:	$\frac{A}{A}$		$\frac{a}{a}$
F ₁ :	$\frac{A}{a}$	×	$\frac{A}{a}$
	желтые		желтые
G:	$\frac{A}{a}$		$\frac{A}{a}$
F ₂ :	$\frac{A}{A}$: $\frac{A}{a}$: $\frac{A}{a}$: $\frac{a}{a}$		
	желтые		зеленые
Расщепление по фенотипу:	3 : 1		



Отметим, что аллельные гены расположены в одинаковых участках, или локусах, гомологичных хромосом. В нормальной диплоидной клетке может присутствовать не более двух аллелей одного локуса одновременно. В одной гамете находится один из аллелей. Таким образом, аллельные гены (аллели) — это разные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках, или локусах, гомологичных хромосом.

Анализирующее скрещивание. Гомозиготные по доминантному аллелю и гетерозиготные особи при полном доминировании одного аллеля над другим имеют одинаковый фенотип. Как определить генотипы фенотипически сходных организмов? Это можно сделать с помощью анализирующего скрещивания.

Анализирующее скрещивание — это скрещивание особи с неизвестным генотипом, у которой проявляется доминантный фенотип по одному или более генам, с гомозиготной особью, которая несет известные рецессивные аллели генов. Например, желтозерный горох может иметь генотип или AA, или Aa. Фенотипически при полном доминировании доминантная гомозиготная особь AA и гетерозигота Aa не различаются. Для определения генотипа в этом случае проводят скрещивание анализируемой особи с рецессивной гомозиготой, поскольку рецессивный ген позволяет проявиться как доминантному гену, так и рецессивному, если тестируемая особь гетерозиготна:

Рис. 11.1. Цитологические основы моногибридного скрещивания: 1 — гомологичные хромосомы, несущие гены A и a; 2 — профаза I; 3 — метафаза I; 4 — телофаза I; 5 — метафаза II; 6 — мейоз завершен

P:	Aa	×	aa
	желтые		зеленые
G:	(A) (a)		(a)
F ₁ :	Aa	×	aa
	желтые		зеленые
Расщепление по фенотипу:	1 : 1		
Расщепление по генотипу:	1 : 1		

P:	AA	×	aa
	желтые		зеленые
G:	(A)		(a)
F ₁ :	Aa		
	желтые		
Расщепление по фенотипу:	нет		

При анализирующем скрещивании расщепление по фенотипу и генотипу совпадают, т. е. количество фенотипических классов соответствует количеству генотипических классов.

Взаимодействие аллельных генов. Различают несколько типов взаимодействия аллельных генов. *Полное доминирование* будет в том случае, если доминантный аллель полностью подавляет проявление рецессивного аллеля ($A > a$). Фенотипы гомозиготы AA и гетерозиготы Aa одинаковы. В рассмотренных ранее примерах (желтая и зеленая окраска горошин) мы наблюдали полное доминирование. По такому типу наследуются многие признаки организмов. Например, у человека кареглазость доминирует над голубоглазостью, короткопалость и шестипалость доминантны по отношению к нормальному строению кисти, праворукость доминирует над леворукостью у правшей и, наоборот, у левшей и т. д.

Неполное доминирование. Учеными было установлено, что доминирование одних признаков над другими представляет собой широко распространенное, но не уникальное явление. В некоторых случаях можно наблюдать *неполное доминирование*, когда гетерозиготы имеют фенотип, промежуточный между фенотипами доминантной и рецессивной гомозиготы. Примером неполного доминирования является наследование окраски цветков у растений ночной красавицы (рис. 11.2). Как видно из рисунка, гомозиготные растения имеют либо красные (AA), либо белые (aa) цветки. При скрещивании растений с красными цветками с растениями с белыми цветками в F₁ у всех растений цветки будут розовые (Aa), т. е. наблюдается промежуточный характер наследования.

При неполном доминировании изменяется характер расщепления во втором поколении, так как фенотип гетерозигот отличается от фенотипа доминантных гомозигот. В этом случае расщепление по фенотипу и по генотипу совпадают: 1 часть имеет красную окраску цветков (AA), 2 части — розовую (Aa) и 1 часть — белую (aa), или 1:2:1.

Неполное доминирование широко распространено. По типу неполного доминирования наследуется курчавость волос у человека, масть крупного рогатого скота, окраска оперения у кур, другие морфологические и физиологические признаки растений, животных и человека.

Кодоминирование. В случае кодоминирования у гетерозигот полностью проявляются оба доминантных аллеля. Классическим примером кодоминирования является наследование групп крови AB0 у человека. Группы крови A, B, AB и 0 детерминируются геном I. Известны три основных аллеля этого гена: I^A, I^B, I⁰. Аллели I^A и I^B доминантны по отношению к I⁰, но кодоминантны по отношению друг к другу.

Три аллельных гена I^A, I^B, I⁰ кодируют четыре фенотипа (I, II, III, IV группы крови) и шесть генотипов (I⁰I⁰ — I группа (0), I^AI^A и I^AI⁰ — II группа (A), I^BI^B, I^BI⁰ — III группа (B) и I^AI^B — IV группа (AB)). Эритроциты

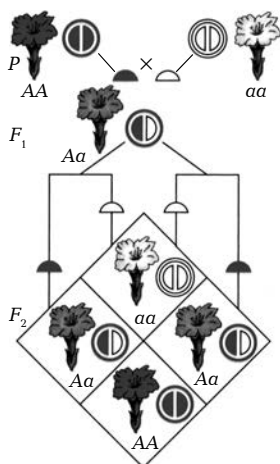


Рис. 11.2. Наследование окраски цветков у ночной красавицы (неполное доминирование)

роциты второй группы несут антиген А, третьей — антиген В, эритроциты первой группы антигенов не имеют. У гетерозигот $I^A I^B$ эритроциты несут оба антигена А и В. То есть в гетерозиготе доминантные аллельные гены кодоминируют, каждый из них выполняет свою функцию, в результате формируется новый фенотип: IV группа крови. Таким образом, кодоминирование — проявление у гетерозигот, например $A_1 A_2$, признаков обоих аллелей.

Сверхдоминирование. В некоторых случаях наблюдается более сильное проявление признака у гетерозиготной особи (Aa), чем у любой из гомозигот (AA и aa). Такое явление получило название *сверхдоминирования*. Примером сверхдоминирования является образование более мощного потомства у кукурузы в первом гибридном поколении при скрещивании доминантных и рецессивных чистых линий.

Множественный аллелизм. Один и тот же ген может находиться в нескольких альтернативных состояниях. В самом простом случае ген представлен двумя аллелями (например, гены, определяющие желтую и зеленую окраску горошин, пурпурную и белую окраску венчика цветка и т. д.).

Часто аллелей бывает больше. Например, ген, определяющий у человека систему группы крови АВ0, существует в трех формах; для гена, контролирующего синтез гемоглобина, таких форм десятки. Явление, когда гены существуют не в двух, а в трех и более альтернативных состояниях, называется *множественным аллелизмом*. Известны серии множественных аллелей, определяющих окраску шерсти животных, глаз у дрозофилы, форму рисунка на листьях белого клевера и др. Множественные аллели образуют серию аллелей, в которой каждый предыдущий член серии доминантен по отношению к последующим. Например, у кролика известна серия аллелей $C > c^{ch} > c^h > c^a$, где аллель C , определяющий черную окраску меха (дикий тип), доминирует над тремя другими: над аллелем, определяющим шиншилловую окраску (c^{ch}), гималайскую (c^h) и белую (c^a). Аллель шиншилловой окраски в свою очередь доминирует над аллелем гималайской окраски, а последний доминирует над аллелем, определяющим белую окраску.

Хорошо изучена также серия множественных аллелей окраски глаз у дрозофилы. К этой серии относятся гены красной, эозиновой, вишневой, абрикосовой и белой окраски ($W > w^e > w^{ch} > w^a > w$). Аллель W доминирует над всеми перечисленными. Однако в клетках данного организма присутствует только два аллеля каждого гена (подумайте почему).

Серию множественных аллелей образуют также гены I^A , I^B , I^0 , определяющие группы крови человека.

Плейотропия, или множественное действие гена. В ряде случаев пара аллелей определяет развитие не одного признака, а нескольких, проявляя так называемое *плейотропное*, или *множественное*, действие гена. Например, у человека известен доминантный ген, определяющий признак «паучьи пальцы» (синдром Марфана). Одновременно он определяет аномалии хрусталика глаза и порок сердца.

При оплодотворении гены взаимодействуют на уровне продуктов контролируемых ими реакций, т. е. каждый ген ответствен за определенный этап метаболизма. Нарушения метаболизма на каком-либо из этапов отразятся на последующих этапах метаболизма, что в конечном итоге может сказаться на формировании нескольких признаков.

Дигибридное скрещивание. Третий закон Менделя. Организмы различаются по многим генам и, как следствие, по многим признакам. Скрещивание, при котором родительские формы отличаются по двум парам альтернативных признаков, называется *дигибридным*. Гибриды, гетерозиготные по двум генам, называются *дигетерозиготными*.

В опытах Мендель скрещивал гомозиготные растения гороха, различающиеся одновременно по двум парам признаков (например, по окраске

и форме семян): одни из растений имели желтые гладкие семена, другие — зеленые морщинистые (рис. 11.3). Все гибриды первого поколения имели желтые гладкие семена. Следовательно, желтая окраска семян доминирует над зеленой и гладкая форма — над морщинистой.

Во втором поколении после самоопыления гибридов F_1 согласно закону расщепления вновь появились морщинистые и зеленые семена. При этом в опытах Менделя наблюдались следующие сочетания признаков семян: желтые гладкие, желтые морщинистые, зеленые гладкие и зеленые морщинистые в соотношении 9:3:3:1 соответственно.

Потомки распределяются по четырем фенотипическим классам: доминантные по обоим признакам — 9/16 частей; доминантные по первому и рецессивные по второму признаку — 3/16; рецессивные по первому и доминантные по второму — 3/16; рецессивные по обоим признакам — 1/16 часть. Используя фенотипический радикал А-, где вместо черточки может быть как доминантный, так и рецессивный ген (фенотип особи в обоих случаях будет одинаков), расщепление по фенотипу при дигибридном скрещивании можно представить следующим образом: 9 А-В- : 3 А-ЬЬ : 3 ааВ- : 1 ааЬЬ (т. е. в соотношении 9:3:3:1). Генотипических классов будет девять: 1 ААВВ : 2 ААВЬ : 2 АаВВ : 4 АаВЬ : 1 ААЬЬ : 2 АаЬЬ : 1 ааВВ : 2 ааВЬ : 1 ааЬЬ.

Проанализируем наследование каждого признака в отдельности и получим следующие результаты: 12 частей семян имели желтую окраску, а 4 — зеленую, т. е. расщепление по признаку окраски, как и при моногибридном

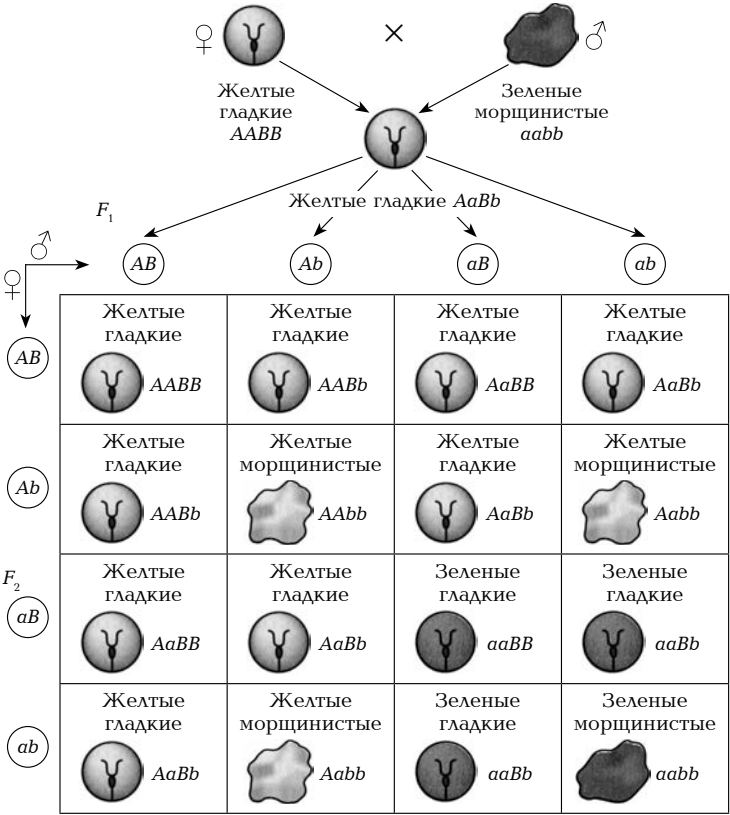


Рис. 11.3. Дигибридное скрещивание горохов, различающихся по окраске и форме семян: А — желтые, а — зеленые, В — гладкие, b — морщинистые

скрещивании, составляло 3:1. Подобная картина наблюдалась и при анализе расщепления по характеру поверхности семян: 12 частей семян имели гладкую поверхность, 4 части — морщинистую (3:1). Это доказывает, что при ди- и полигибридном скрещивании *расщепление по каждой паре альтернативных признаков происходит независимо от других*. Дигибридное скрещивание представляет собой по существу два независимо идущих моногибридных скрещивания. Эта закономерность, установленная Менделем, впоследствии была названа *законом независимого наследования* или *независимого комбинирования*, который гласит, что *гены, определяющие различные признаки, наследуются независимо друг от друга*. Это *третий закон Менделя*.

Цитологические основы закона независимого наследования признаков. Как известно, в профазе I мейоза гомологичные хромосомы конъюгируют, а в анафазе каждая из гомологичных хромосом отходит к разным полюсам клетки. В ходе этого процесса негомологичные хромосомы комбинируются свободно и независимо друг от друга. При оплодотворении в зиготе восстанавливается диплоидный набор хромосом и гомологичные хромосомы, находящиеся в разных половых клетках родителей, объединяются в одной клетке (зиготе).

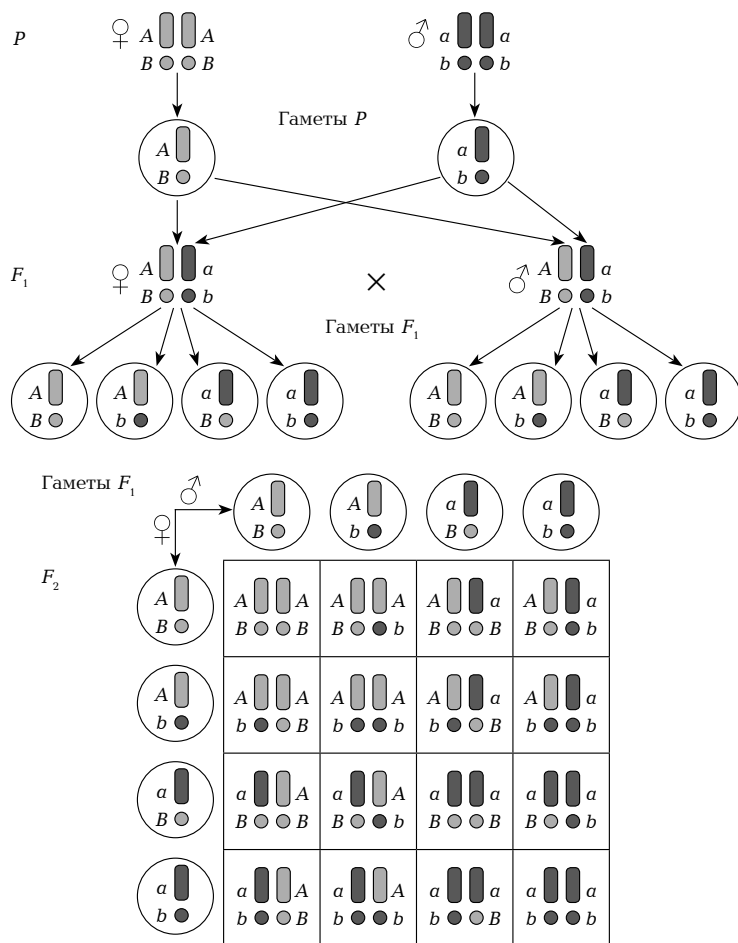


Рис. 11.4. Цитологические основы расщепления признаков при дигибридном скрещивании

Предположим, что каждая хромосома содержит только один ген. Обозначим аллель желтой окраски A , зеленой — a , гладкой формы — B , морщинистой — b . Гены, определяющие развитие разных пар признаков и находящиеся в разных парах хромосом (или в разных локусах гомологичных хромосом), называются *неаллельными*. В данном случае пары генов окраски семени $A-a$ неаллельны парам генов, определяющим поверхность семян $B-b$. Предположим, что палочковидные хромосомы несут аллель A или a , сферические — B или b , т. е. эти две пары аллелей находятся в негомологичных хромосомах (рис. 11.4). Родительские растения, таким образом, будут иметь генотипы $\frac{A}{A} \frac{B}{B}$ и $\frac{a}{a} \frac{b}{b}$.

Гомозиготные родители формируют по одному типу гамет: (AB) и (ab) . При слиянии гамет образуется единообразное первое поколение гибридов $(\frac{A}{a} \frac{B}{b})$, по фенотипу он сходен с одним из родителей.

При мейозе у гибридных организмов из каждой пары гомологичных хромосом к полюсам отходит по одной хромосоме. При этом по причине случайности расхождения отцовских и материнских хромосом ген A может попасть в одну гамету с геном B или с геном b . Точно так же ген a может оказаться в одной гамете с геном B или с геном b . В итоге гибриды образуют четыре типа гамет: $\frac{A}{A} \frac{B}{B}$, $\frac{A}{A} \frac{b}{b}$, $\frac{a}{a} \frac{B}{B}$ и $\frac{a}{a} \frac{b}{b}$. Образование каждого из них равновероятно, т. е. все эти типы гамет образуются в равных количествах (по 25 %). Свободное сочетание таких гамет в процессах оплодотворения приводит к образованию разных вариантов зигот, а значит, и потомков (см. рис. 11.4) в соотношении $9 A-B- : 3 A-bb : 3 aaB- : 1 aabb$.

Таким образом, в основе независимого наследования лежит чисто случайное и равновероятное образование четырех типов гамет у дигибридной особи. Доказать это легко с помощью анализирующего скрещивания:

P:	♀ <i>AaBb</i>	×	♂ <i>aabb</i>
G:	<i>AB,</i> <i>Ab,</i> <i>aB,</i> <i>ab</i>		<i>ab</i>
F:	<i>AaBb, Aabb, aaBb, aabb</i>		
Расщепление по фенотипу и генотипу:			
1 : 1 : 1 : 1			

ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Как уже отмечалось выше, Г. Мендель опубликовал результаты своих исследований в 1865 г. Однако открытие Менделя оказалось непонятым современниками. В 1900 г. независимо друг от друга трое ботаников — К. Корренс (Германия), Г. де Фриз (Голландия) и Э. Чермак (Австрия) обнаружили в своих опытах по изучению наследования признаков у гибридов более 10 видов растений открытые ранее Менделем закономерности. Затем, натолкнувшись на его работу, они вновь опубликовали ее в 1901 г.

Скрещивая разные породы кур, английский генетик У. Бэтсон подтвердил законы Менделя и на животных.

Повторное открытие законов Менделя вызвало волну генетических исследований на различных объектах и способствовало глубокому интересу к количественным закономерностям наследственности.

К тому времени цитологи обнаружили материальные структуры наследственности — хромосомы, роль и поведение которых могли быть однозначно связаны с менделевскими закономерностями. В 1902 г. немецкий цитолог и эмбриолог Т. Бовери представил доказательства в пользу участия хромосом в процессах наследственной передачи. Он показал, например, что нормальное развитие морского ежа возможно лишь при наличии всех хромосом. Подобную связь усмотрел в 1903 г. американский цитолог У. Сэттон. Получили обоснование воззрения Менделя о наследственных факторах, о наличии одинарного набора факторов в гаметах и двойного — в зиготах.

В то же время результаты многих генетических экспериментов давали иные, чем в опытах Менделя соотношения потомков. Дальнейшее изучение показало, что подобные результаты не противоречат законам Менделя, а дополняют и развивают установленные закономерности наследования признаков у организмов. Существенным дополнением к ним стало открытое в 1906 г. У. Бэтсоном и его сотрудником Р. Пеннетом явление *сцепления генов*, а следовательно, и признаков. Работая с душистым горошком, ученые скрестили линию душистого горошка, гомозиготную по двум рецессивным признакам — красные лепестки и круглая пыльца, с другой линией (похожей на дикую форму), имеющей пурпурные лепестки и продолговатую пыльцу. При этом в поколении F_2 они обнаружили следующие сочетания признаков и их соотношения:

284 — пурпурные лепестки, продолговатая пыльца,

21 — пурпурные лепестки, круглая пыльца,

21 — красные лепестки, продолговатая пыльца,

55 — красные лепестки, круглая пыльца.

Если бы два гена (окраски лепестков и формы пыльцы) были локализованы на двух разных хромосомах, то соотношение фенотипов составило бы 216:72:72:24, или 9:3:3:1. Ясно, что гены «родительского» типа наследовались вместе, как если бы они были сцеплены друг с другом. Однако полученное соотношение потомков по этим признакам осталось необъяснимым.

Сцепление генов и связанное с ним явление кроссинговера стало понятным после работ американского генетика Т. Х. Моргана и его исследовательской группы в Колумбийском университете (США), выполненных на плодовой мушке дрозофиле. Результаты проведенных ими исследований позволили сформулировать хромосомную теорию наследственности (1911—1926).

Дрозофила — очень удобный для генетических исследований организм: ее популяции легко скрещивать и поддерживать; новые поколения мушек можно получать каждые две недели; каждая самка откладывает сразу сотни яиц; наиболее распространенный вид имеет только четыре пары хромосом.

В опытах с дрозофилой Т. Морганом было детально показано, что гены, локализованные в одной хромосоме, сцеплены между собой и наследуются совместно (сцепленно), а не распределяются независимо.

В одном из первых экспериментов Т. Моргана по изучению сцепления генов было установлено полное сцепление генов. У дрозофилы известна мутация по цвету тела *black* (*b*) — черное тело, доминантный аллель *B* детерминирует серую окраску тела. Существует также рецессивный ген *vestigial* (*v*), который в гомозиготе обуславливает недоразвитие крыльев — мутация, зачаточные крылья; *V* — нормальные длинные крылья.

Серые мухи с длинными крыльями скрещивались с черными мухами, имеющими зачаточные крылья. Все гибриды F_1 были серые длиннокрылые (рис. 11.5):

P:	♀ $BBVV$	×	♂ $bbvv$
	серые		черные зачаточные
	длиннокрылые		крылья
G:	(BV)		(bv)
F_1 :	$BbVv$		
	серые длиннокрылые		

Далее проводились два типа анализирующих скрещиваний.

В первом анализирующем скрещивании дигетерозиготные самцы F_1 были скрещены с рецессивными самками $bbvv$:

P:	♀ $bbvv$	×	♂ $BbVv$
	черные зачаточные		серые длиннокрылые
G:	(bv)		$(BV) (bv)$
F_a :	$BbVv$	:	$bbvv$
	серые длиннокрылые		черные зачаточные крылья

В F_a (потомство от анализирующего скрещивания) были получены мухи только двух фенотипических классов: 50 % имели серое тело и длинные крылья; 50 % — черное тело и зачаточные крылья. Поскольку расщепление в анали-

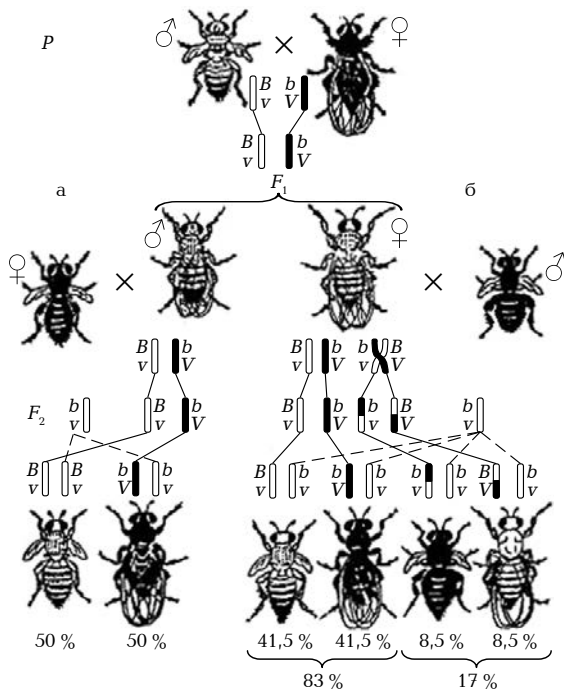


Рис. 11.5. Наследование сцепленных признаков у дрозофилы

зирующем скрещивании отражает соотношение типов гамет, продуцируемых особями F_1 , следует заключить, что гетерозиготные самцы F_1 формировали гаметы только двух типов — с родительскими сочетаниями аллелей — BV и bv .

Во втором анализирующем скрещивании дигетерозиготные самки F_1 скрещивались с рецессивными самцами. В F_a появилось четыре фенотипических класса в неравном количественном соотношении: 41,5 % были серыми с длинными крыльями, 41,5 % — черными с зачаточными крыльями, 8,5 % — серыми с зачаточными крыльями и 8,5 % — черными длиннокрылыми:

P:	♀ $BbVv$	×	♂ $bbvv$
	серые длиннокрылые		черные зачаточные крылья
F_a :	$BbVv$:	$bbvv$:	$Bbvv$: $bbVv$
	серые длиннокрылые 41,5 %	черные зачаточные 41,5 %	серые зачаточные 8,5 % черные длиннокрылые 8,5 %

Как следовало из результатов расщепления в F_a от этого скрещивания, дигетерозиготная самка давала четыре типа гамет с разной вероятностью. Таким образом, родительские сочетания признаков образовались в 83 % случаев, а новые комбинации признаков — в 17 %.

Т. Морган дал следующее объяснение этим результатам. Во-первых, гены b и v находятся в одной паре хромосом. Следовательно, дигетерозиготные особи F_1 несут в одной хромосоме аллели B и V , в другой гомологичной хромосоме — b и v (для данного варианта скрещивания). Во-вторых, у самцов дрозофилы гены, локализованные в одной хромосоме, обнаруживают полное сцепление, тогда как у дигетерозиготных самок в мейозе возможен обмен гомологичными участками гомологичных хромосом. Такие обмены называют **кроссинговером** (англ. *crossingover* — перекрест). Кроссинговер приводит к новому сочетанию аллелей генов b и v , что в результате дает два рекомбинантных класса с вероятностью 17 %. Гаметы BV и bv называются **некроссоверными**, Bv и bV — **кроссоверными**.

Запишем схему скрещивания, показав локализацию генов в хромосомах:

P:	♀ $\frac{BV}{BV}$	×	♂ $\frac{bv}{bv}$
	серые длиннокрылые		черные зачаточные крылья
G:	$\frac{BV}{}$		$\frac{bv}{}$
F_1 :	$\frac{BV}{bv}$		
	серые длиннокрылые		

Анализирующее скрещивание 1:

P:	♀ $\frac{bv}{bv}$	×	♂ $\frac{BV}{bv}$
	черные зачаточные		серые длиннокрылые
G:	$\frac{bv}{}$		$\frac{BV}{bv}$
F_1 :	$\frac{BV}{bv}$:	$\frac{bv}{bv}$	
	серые длиннокрылые 50 %	черные зачаточные крылья 50 %	

Анализирующее скрещивание 2:

P:	♀ $\frac{BV}{bv}$	×	♂ $\frac{bv}{bv}$
	серые длиннокрылые		черные зачаточные
G:	$\frac{BV}{bv}$ — 41,5 %		$\frac{bv}{bv}$
	$\frac{bv}{bv}$ — 41,5 %		
	$\frac{Bv}{bv}$ — 8,5 %		
	$\frac{bV}{bv}$ — 8,5 %		
F _a :	$\frac{BV}{bv}$	:	$\frac{bv}{bv}$
	серые длиннокрылые 41,5 %	:	черные зачаточные 41,5 %
		:	$\frac{Bv}{bv}$
		:	серые зачаточные 8,5 %
		:	$\frac{bV}{bv}$
			черные длиннокрылые 8,5 %
	родительские сочетания		рекомбинантные сочетания

Отсутствие рекомбинантных потомков в потомстве самцов объясняется тем, что у дрозофилы при сперматогенезе кроссинговер не происходит. Таким образом, описанный эксперимент Т. Моргана и его сотрудников стал генетическим доказательством сцепления генов, локализованных в одной паре хромосом и кроссинговера. Кроссинговер проявляется как неполное сцепление.

Вскоре феномен кроссинговера был обнаружен и у других организмов — кукурузы, львиного зева, мышей и т. д.

Частота (процент) перекреста между двумя генами, расположенными в одной хромосоме, зависит от расстояния между ними. Кроссинговер между двумя генами происходит тем реже, чем ближе друг к другу они расположены.

Расстояние между генами характеризует силу сцепления и выражается в *морганидах*, или то же самое *сантиморганидах*, сМ (в честь Т. Моргана) или в *процентах рекомбинации* (кроссинговера). Морганида — это генетическое расстояние, на котором кроссинговер происходит с вероятностью 1 %.

Биологическая роль кроссинговера очень велика, так как генетическая рекомбинация позволяет создавать новые, ранее не существовавшие комбинации генов, следовательно, повышается наследственная изменчивость, поставляющая материал для естественного отбора и дающая широкие возможности адаптации организмов в различных условиях среды. Человек специально проводит гибридизацию с целью получения необходимых вариантов комбинаций для использования в селекционной работе.

На основании проведенных экспериментов Т. Морган сформулировал *закон сцепленного наследования*: гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются вместе (сцепленное наследование), образуя группу сцепления, и сила сцепления между ними обратно пропорциональна расстоянию между этими генами.

Число групп сцепления соответствует гаплоидному набору хромосом, поскольку каждую группу сцепления составляют две гомологичные хромосомы, в которых расположены одинаковые гены. Например, у дрозофилы ($2n = 8$) — 4 группы сцепления, у гороха ($2n = 14$) — 7, у человека ($2n = 46$) — 23, у шимпанзе ($2n = 48$) и картофеля ($2n = 48$) — 24 группы сцепления.

Данный закон был положен в основу создания хромосомной теории наследственности (1911—1926).

Генетические карты. Как уже было сказано, сцепление генов, локализованных в одной хромосоме, не бывает абсолютным. Кроссинговер, проис-

ходящий в процессе мейоза между гомологичными хромосомами, приводит к рекомбинации (перераспределению) генов. Т. Морган и его сотрудники экспериментально показали, что частота кроссинговера является мерой расстояния между генами, что позволяет не только установить группу сцепления генов, но и построить генетические карты хромосом, на которых указаны порядок расположения генов в хромосоме и относительные расстояния между ними, выраженные в кроссоверных единицах.

Генетические карты составляются для каждой пары гомологичных хромосом.

Возможность такого картирования основана на постоянстве процента кроссинговера между определенными генами. Если известно взаимное расположение генов на хромосоме (их порядок и расстояние между ними), то его можно изобразить в виде схемы (рис. 11.6).

Генетические карты хромосом составлены для многих организмов: насекомых (дрозофила, комар, таракан и др.), грибов (дрожжи, аспергилл), многих простейших, бактерий и вирусов.

Наличие генетической карты свидетельствует о высокой степени изученности того или иного вида организма и представляет большой научный интерес. Такой организм является прекрасным объектом для проведения дальнейших экспериментальных работ, имеющих не только научное, но и практическое значение. В частности, знание генетических карт позволяет планировать работы по получению организмов с определенными сочетаниями признаков, что теперь широко используется в селекционной практике. Так, создание штаммов микроорганизмов, способных синтезировать необходимые для фармакологии и сельского хозяйства белки, гормоны и другие сложные органические вещества, возможно только на основе методов генной инженерии, которые, в свою очередь, базируются на знании генетических карт соответствующих микроорганизмов.

Генетические карты человека также могут оказаться полезными в развитии здравоохранения и медицины. Знания о локализации гена на определенной хромосоме используются при диагностике ряда тяжелых наследственных заболеваний человека.

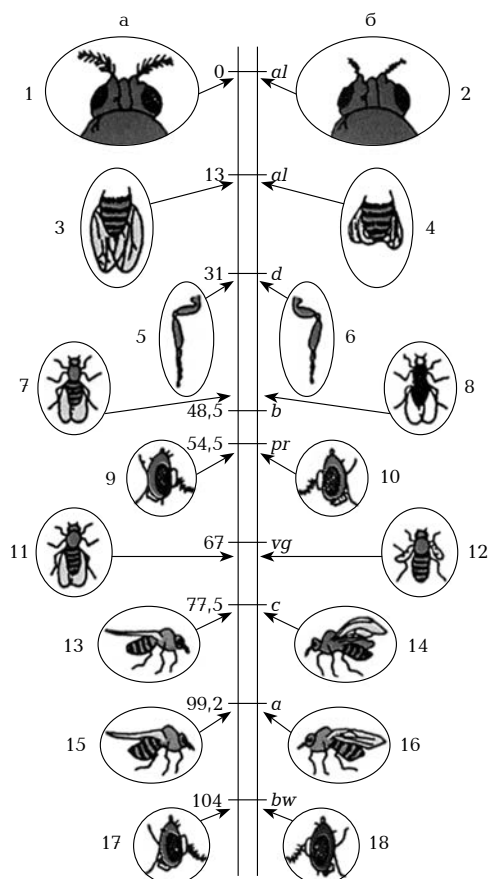


Рис. 11.6. Участок генетической карты второй хромосомы дрозофилы с указанием ряда генов (а — дикий тип; б — мутант): 1 — длинные антенны; 2 — короткие антенны; 3 — длинные крылья; 4 — укороченные крылья; 5 — длинные ножки (5 члеников); 6 — короткие ножки (4 членика); 7 — серое тело; 8 — черное тело; 9 — красные глаза; 10 — пурпурные глаза; 11 — длинные крылья; 12 — зачаточные крылья; 13 — прямые крылья; 14 — изогнутые крылья; 15 — прямые крылья; 16 — арковидные крылья; 17 — красные глаза; 18 — коричневые глаза

Генетика пола. Сцепленное с полом наследование

Т. Морган использовал для своих опытов линию дрозофил с белыми глазами. При скрещивании белоглазых мух с красноглазыми (дикий тип) расщепление по фенотипу в потомстве также не согласовывалось с менделевскими законами наследования. Тщательный анализ полученных данных привел ученого к заключению, что белая окраска глаз у дрозофилы наследуется сцепленно с полом; иными словами, ген, определяющий этот признак,

расположен в X-хромосоме. Такой тип наследования назвали *сцепленным с полом наследованием*.

Прежде чем рассмотреть этот тип наследования, нам необходимо разобраться, как происходит определение пола у организмов разных видов при размножении.

Половые различия организмов. Пол — это совокупность признаков и свойств организма, обеспечивающих воспроизведение потомства и передачу наследственной информации следующему поколению.

Все половые признаки условно делят на первичные и вторичные.

К *первичным половым признакам* относятся половые железы определенного типа (яичники, продуцирующие яйцеклетки, у самок и семенники, образующие сперматозоиды, у самцов) и органы, непосредственно связанные с процессом размножения (половые пути, по которым происходит выведение гамет, копулятивные органы и др.).

Вторичные половые признаки — это совокупность морфологических и физиологических признаков и свойств, определяющих фенотипические различия между особями разных полов (тип волосяного покрова, тембр голоса, брачная окраска у животных и т. п.).

Хромосомное определение пола. Выдвигались сотни гипотез, с помощью которых пытались объяснить, почему одни и те же родители дают потомков разного пола и почему у раздельнополых организмов число женских и мужских особей примерно одинаково.

Поскольку пол является таким же признаком живого организма, как и другие морфологические, физиологические и биохимические особенности, было сделано предположение, что этот признак определяется генетически. Только развитие генетики и цитологии дало возможность раскрыть механизм наследования и определения пола.

Каждому виду организмов свойственно определенное соотношение мужских и женских особей. Например, мужских особей у человека рождается 51 %, у лошади — 52, у крупного рогатого скота — 50—51, у кур — 49, у уток и голубей — по 50 %. Соотношение мужских и женских особей 1:1 напоминает анализирующее скрещивание, когда одна родительская особь была гомозиготной по рецессивному аллелю (*aa*), а вторая — гетерозиготной (*Aa*):

P:	♀ <i>aa</i>	×	♂ <i>Aa</i>
G:	$\textcircled{a}$		$\textcircled{A} \textcircled{a}$
F:	<i>Aa</i> : <i>aa</i>		
	1 : 1		

Если пол наследуется по такому же типу, то один родитель должен быть гомозиготным, а другой — гетерозиготным. Подобное предположение впервые было высказано Г. Менделем и в дальнейшем получило подтверждение.

При изучении мейоза у насекомых цитологи обнаружили, что в гаметах самцов одного из видов клопов рода *Протенор* находится неодинаковое количество хромосом: в одних гаметах — семь, а в других — шесть. Шесть хромосом являются парными, а седьмая — непарная. Ее и посчитали ответственной за формирование пола и назвали *половой*, или *X-хромосомой*. У самок в гаметах было по семь хромосом и одна из них оказалась такой же X-хромосомой. Остальные шесть хромосом были названы *аутосомами* (*A*). Они не принимают участия в определении пола. Таким образом, самки протенора в соматических клетках имеют двойной набор хромосом: 12*A* и 2*X*-хромосомы; их половые клетки содержат набор 6*A* + *X*. Диплоидный набор хромосом самца представлен в виде 12*A* + *X*0 (0 — отсутствие хромосомы).

Следовательно, в гаметах будут содержаться наборы $6A + X$ или $6A + 0$. Если в процессе полового размножения соединяются гаметы, содержащие X-хромосомы, в потомстве появляется женская особь, если же в оплодотворении примет участие отцовская гамета, не содержащая X-хромосомы, образовавшаяся зигота дает начало мужской особи:

P:	♀ $12A + XX$	×	♂ $12A + X0$
G:	$(6A + X)$		$(6A + X), (6A + 0)$
F:	$12A + XX : 12A + X0$		
Расщепление по полу:	1 : 1		

Определение пола по типу протенора встречается у кузнечиков, многих бабочек, клопов, пауков и нематод.

У мужских особей другого вида клопов *Ligeus* (тощий клоп) в клетках была обнаружена пара хромосом, отличающихся друг от друга по форме и размерам. Одна хромосома из такой пары, тождественная паре хромосом клеток женских особей, была названа X-хромосомой, другая, отличающаяся по морфологии, — Y-хромосомой. У самок таких клопов в яйцеклетках содержался набор хромосом $6A + X$, а у самцов было два типа гамет: $6A + X$ и $6A + Y$. Пол их потомков зависит от того, с какой отцовской гаметой встретится гамета женской особи:

P:	♀ $12A + XX$	×	♂ $12A + XY$
G:	$(6A + X)$		$(6A + X), (6A + Y)$
F:	$12A + XX : 12A + XY$		
Расщепление по полу:	1 : 1		

Пару хромосом, по которой женский пол отличается от мужского, назвали *половыми хромосомами*.

В обоих описанных выше случаях хромосомного определения пола женские особи образуют гаметы только одного типа. Пол, содержащий одинаковые половые хромосомы (XX) и образующий одинаковые гаметы, т. е. несущие половую хромосому одного типа, называется *гомогаметным*. Другой пол, содержащий разные половые хромосомы (XY) и образующий разные гаметы с различными половыми хромосомами, называется *гетерогаметным*.

Определение пола по типу лигеуса встречается у большинства видов, в том числе и у человека (рис. 11.7). Пол потомства зависит от гетерогаметного родителя и определяется сочетанием половых хромосом при оплодотворении: если гамета матери встречается с X-гаметой отца, рождается женская особь, если с Y-гаметой — мужская, причем оба типа гамет у мужской особи образуются с одинаковой вероятностью, что и дает расщепление в потомстве по полу 1:1.

По типу лигеуса происходит определение пола у некоторых растений (печеночные мхи, конопля, шпинат, у большинства двудомных растений).

У человека в диплоидном наборе содержится 46 хромосом (23 пары): 22 пары аутосом и 1 пара половых хромосом. В клетках женского организма имеются две X-хромосомы, а мужского — X и Y (см. рис. 11.7). Набор хромосом женщины может быть представлен в виде следующей записи: $44A + XX$, а мужчины — $44A + XY$. Женские организмы образуют один тип гамет: $22A + X$, а мужские — два типа: $22A + X$ и $22A + Y$.

Пол, формирующий гаметы, одинаковые по половым хромосомам, называемый *гомогаметным*, а неодинаковые — *гетерогаметным*.

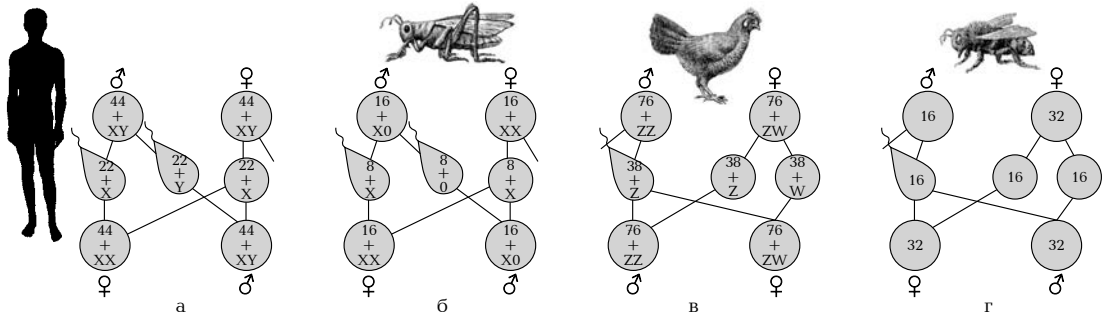


Рис. 11.7. Основные типы определения пола: а — человек (XY); б — кузнечик (X0); в — курица (ZW); г — пчела (самец гаплоид)

Кроме типов протенора и лигеуса, описаны еще два типа хромосомного определения пола: тип шелкопряда и моли. В этих случаях мужской пол является гомогаметным, а женский — гетерогаметным (XY — тип шелкопряда; X0 — тип моли).

Определение пола по типу шелкопряда встречается преимущественно у птиц (кур, индеек, канареек и др.), пресмыкающихся, некоторых рыб, земноводных, некоторых бабочек (тутовый шелкопряд) и некоторых растений (земляника). Определение пола по типу моли встречается у некоторых насекомых (моль).

Половые хромосомы у этих видов иногда обозначают буквами Z и W, чтобы выделить таким образом данный способ определения пола; при этом самцы обозначаются символом ZZ, а самки — символом ZW или Z0 (см. рис. 11.7).

Как видим, различие между полами характерно для большинства позвоночных, многих насекомых и других беспозвоночных, а также многих двудомных растений (т. е. растений, у которых существуют мужские и женские экземпляры). Однако генетические основы определения пола у всех этих организмов неодинаковы.

Другие варианты определения пола. У пчел, ос, муравьев и некоторых других перепончатокрылых нет половых хромосом: самки — это диплоидные организмы, которые развиваются из оплодотворенных яиц (диплоидный набор хромосом у пчел — 32), а самцы (трутни) — из неоплодотворенных яиц (16 хромосом). В соматических клетках трутней восстанавливается диплоидный набор, но при этом такие клетки гомозиготны по всем генам. При образовании сперматозоидов у трутней не происходит мейоз, так как гонады остаются гаплоидными.

У некоторых животных определение пола зависит от внешних условий. Так, у морского кольчатого червя бонеллия самцы и самки имеют одинаковый генотип. Особи, которые в личиночной стадии остаются свободноплавающими, становятся самками, а личинки, проникающие в хоботок взрослой самки, развиваются в микроскопических самцов в результате действия гормона, выделяемого самкой. Самцы мигрируют в половые пути самки, где живут в качестве паразитов, выполняя главную функцию — оплодотворение яйцеклеток.

У ряда видов ящериц, черепах и крокодилов половых хромосом не обнаружено. Пол таких животных зависит от температуры, при которой происходит развитие яиц. Так, у ящериц при повышении температуры резко снижается процент самок в потомстве; у многих черепах, крокодилов, наоборот, с повышением температуры процент самок в потомстве резко возрастает.

Наследование признаков, сцепленных с полом. У дрозофилы известна рецессивная мутация *white* (ген *w*), которая обуславливает формирование белых глаз. Ген *w* локализован в X-хромосоме. Доминантный аллель *W* определяет развитие красной окраски глаз.

При скрещивании красноглазых самок (чистая линия) с белоглазыми самцами все гибриды первого поколения имели красные глаза. Во втором поколении, полученном от скрещивания гибридов F_1 между собой, наблюдалось расщепление по фенотипу в соотношении 3:1. Необычным в этом расщеплении было то, что все самки F_2 были красноглазыми, тогда как среди самцов половина имела красные глаза, а половина — белые.

Однако, когда белоглазых мух самцов скрещивали с красноглазыми самками, соотношение тех и других в потомстве не согласовывалось с менделевскими законами.

Проследим за этим на схемах скрещивания:

P:	♀ X^wX^w	×	♂ X^wY
	красноглазая		белоглазый
G:	X^w		X^w Y
F_1 :	♀ X^wX^w	×	♂ X^wY
	красноглазая		красноглазый
G:	X^w, X^w		X^w, Y
F_2 :	♀ X^wX^w : ♀ X^wX^w : ♂ X^wY : ♂ X^wY		
	красноглазая	красноглазая	красноглазый белоглазый

При скрещивании белоглазых самок с красноглазыми самцами результаты были другими:

P:	♀ X^wX^w	×	♂ X^wY
	белоглазая		красноглазый
G:	X^w		X^w, Y
F_1 :	♀ X^wX^w	×	♂ X^wY
	красноглазая		белоглазый

Не все потомство F_1 от такого скрещивания оказалось красноглазым, как следовало ожидать на основе законов Менделя. Напротив, лишь половину потомства составляли мухи с красными глазами, тогда как другая половина имела белые глаза. При этом все самцы получили ген белоглазизма от матери и были белоглазыми, а самки получили ген красных глаз от отца и были красноглазыми. Такое наследование, при котором самки передают признак сыновьям, а самцы — дочерям, называют «крест-накрест», а по английской терминологии — «*крисс-кросс*». Это возможно только в том случае, если ген, контролирующий развитие признака, локализуется в половой хромосоме.

В F_2 расщепление по фенотипу составляло 1:1, что совпадает с таковым по полу; причем половина самок и самцов имела красные глаза, половина — белые:

P:	♀ X^wX^w	×	♂ X^wY
	красноглазая		белоглазый
G:	X^w, X^w		X^w, Y
F_2 :	♀ X^wX^w : ♀ X^wX^w : ♂ X^wY : ♂ X^wY		
	красноглазая	белоглазая	красноглазый белоглазый

Сцепленное с полом наследование:

- гемофилия;
- дальтонизм;
- мышечная дистрофия;
- отсутствие потовых желез;
- гипоплазия зубной эмали;
- переносимость между пальцами;
- чешуйчатая кожа

Таким образом, мы видим, что в половых хромосомах помимо генов, определяющих пол организма, содержатся и другие гены, не имеющие отношения

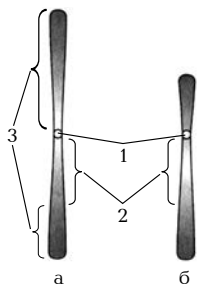


Рис. 11.8. Гомологичные и негомологичные участки хромосом человека: а — X-хромосома; б — Y-хромосома; 1 — центромера; 2 — гомологичные участки; 3 — негомологичные участки

к полу. В этом случае проявление признака в потомстве зависит не только от характера доминирования, но и от пола. Считают, что у большинства живых организмов Y-хромосома в генетическом отношении является инертной и содержит мало активных генов. У человека она более активна, чем у других видов, и играет решающую роль в определении пола. Кроме того, у человека известны заболевания, обусловленные генами, локализованными в Y-хромосоме. Это ихтиоз (ороговение кожи), орошенность края ушной раковины и др. В этом случае болезнь передается только от отца к сыну.

Во всех случаях, когда в Y-хромосоме не содержится аллель гена, имеющегося в X-хромосоме, у самцов будет проявляться любой из аллелей X-хромосомы. Особь, несущая один или несколько **неспаренных генов**, но диплоидная по остальным генам, называется **гемизиготой**.

Признаки, обусловленные генами, расположенными в половых хромосомах, обозначаются как признаки, **сцепленные с полом**, а тип наследования — как **сцепленное с полом наследование**.

Анализ рассмотренных схем показывает, что расщепление по генам, расположенным в X-хромосоме, происходит не так, как по аутосомным генам, т. е. не по закону Менделя.

По такому же типу наследуется редкое заболевание у человека и животных — гемофилия типа А (несвертываемость крови). Эта болезнь обусловлена рецессивным геном h , расположенным в негомологичном участке X-хромосомы, отсутствующим в Y-хромосоме (рис. 11.8). Поскольку это заболевание обусловлено рецессивным геном, женщины, гетерозиготные по данному гену, обладают нормальной свертываемостью крови.

Рассмотрим, какое потомство может появиться у женщины — носительницы гена гемофилии, вступающей в брак с нормальным по этому признаку мужчиной:

P:	♀ $X^H X^h$	×	♂ $X^H Y$
	носительница гемофилии		здоровый мужчина
G:	X^H, X^h		X^H, Y
F ₁ :	♀ $X^H X^H$: ♀ $X^H X^h$: ♂ $X^H Y$: ♂ $X^h Y$		
	здоровая женщина	носительница гена гемофилии, здорова	здоровый мужчина : болен гемофилией

Основные положения хромосомной теории наследственности:

1. Передача наследственной информации связана с хромосомами, в которых гены расположены в линейном порядке.
2. Гены, расположенные в хромосомах, образуют группы сцепления. Число групп сцепления соответствует гаплоидному числу хромосом. За единицу расстояния между генами, находящимися в одной хромосоме, принята 1 морганида (1 % кроссинговера). Определение частоты кроссинговера служит мерой расстояния между генами и используется для построения генетических карт.
3. Чем ближе друг к другу расположены гены в хромосоме, тем больше сила сцепления.
4. Частота кроссинговера прямо пропорциональна расстоянию между генами в хромосоме.

Как видно из схемы, потомки данного брака проявляют расщепление признака: дочери здоровы, но из них половина ($X^H X^h$) являются носительницами гена гемофилии; половина сыновей ($X^h Y$) будут больны, а сыновья ($X^H Y$) окажутся здоровыми.

Подобная закономерность характерна и для других рецессивных, сцепленных с полом признаков (дистрофия Дюшена, атрофия зрительного нерва, дальтонизм).

Характер наследования сцепленных с полом признаков меняется на противоположный, когда гетерогаметным полом являются самки (например, наследование окраски оперения у кур).

Изучение закономерностей наследования признаков, гены которых локализованы в половых хромосомах, послужило убедительным подтверждением предположения о сцеплении генов и внесло вклад в формулирование положений хромосомной теории наследования.

Генотип как целостная система. На основании знакомства с примерами взаимодействия генов вы узнали, что существует огромное

количество признаков живых организмов, которые определяются двумя и более парами генов, и, наоборот, один ген часто влияет на многие признаки. Кроме того, действие гена может быть изменено соседством других генов или условиями внешней среды.

Таким образом, при развитии организма проявляется действие скорее не отдельных генов, а всего генотипа как целостной системы. Эта система динамична, она меняется и совершенствуется во времени. В результате мутации появляются новые аллели или гены. Могут формироваться новые хромосомы и даже новые геномы. Вновь возникшие гены могут сразу же вступать во взаимодействие с уже имеющимися генами или менять характер работы последних.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРГАНИЗМОВ И ЕЕ ТИПЫ

Взаимодействие генотипа и условий среды. Изучая закономерности наследования признаков, мы убедились, что фенотип определяется генотипом. В ряде случаев признак действительно формируется только под влиянием генотипа и не зависит от условий среды, в которых развивается организм. Например, у человека, имеющего в генотипе гены I^A и I^B , независимо от условий жизни формируется II группа крови. В то же время масса тела человека, цвет кожи, количество эритроцитов в крови могут изменяться в зависимости от ряда условий.

В 1895 г. французский ботаник Г. Боннье провел следующий опыт: разделил молодое растение одуванчика на две части, которые выращивал затем в разных условиях — на равнине и высоко в горах. Первое растение достигло нормальной высоты, а второе оказалось карликовым (рис. 11.9), притом что оба растения имели одинаковый генотип. Этот опыт показывает, что на формирование признаков (фенотип) оказывает влияние не только генотип, но и условия среды.

Из данного опыта вытекает и другой вывод: каждый организм, развиваясь в определенных условиях освещенности, влажности, температуры и т. д., испытывает на себе их действие и способен изменяться под их влиянием.

Изменчивость — это способность организмов в ходе индивидуального развития приобретать одни признаки и свойства и утрачивать другие.

Различают два типа изменчивости: ненаследственную (модификационную, или фенотипическую) и наследственную (генотипическую). К ненаследственной изменчивости относят изменения признаков организма, не сохраняющиеся при половом размножении. Она связана с реакцией одного и того же генотипа на изменение внешних условий, в которых протекает развитие организма.

К наследственной изменчивости относятся изменения признаков и свойств организма, которые связаны с изменением генотипа. Такие изменения передаются потомкам и сохраняются в ряду поколений.

Модификационная изменчивость. Изменение фенотипа под действием факторов внешней среды, которое происходит без изменения генотипа, называется *модификационной*, или *фенотипической*, *изменчивостью*. Генотип последовательно реализуется в фенотип в ходе индивидуального развития организма и в определенных условиях окружающей среды. Именно этим объясняется то, что организмы, имеющие одинаковые генотипы, могут заметно

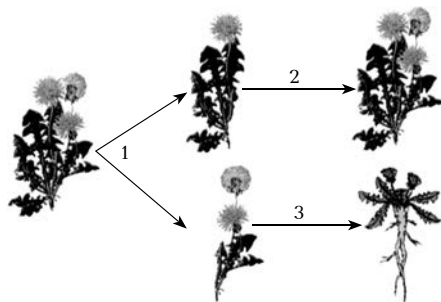


Рис. 11.9. Изменение внешнего вида одуванчика под влиянием условий внешней среды: 1 — растение разделяется; 2 — низинная форма; 3 — горная форма

Формы изменчивости:

- модификационная (фенотипическая);
- комбинативная;
- мутационная

Фенотипическая изменчивость носит групповой характер

Модификационное изменение признака не затрагивает генотип и не передается по наследству

отличаться друг от друга по фенотипу, как это показано в приведенном выше примере с одуванчиками.

Фенотипические различия у генетически тождественных особей называются *модификациями*. Они возникают под воздействием преобладающих условий среды, имеют сходный характер изменчивости фенотипа для большой группы организмов и не наследуются.

Различные признаки организма в разной степени изменяются под влиянием внешних условий. Одни из них очень пластичны и изменчивы, другие менее изменчивы, третьи могут мало зависеть от условий среды. Некоторые признаки практически не изменяются. Например, если мы внимательно рассмотрим форму цветков и корзинок одуванчиков, а также форму листьев и измерим их величину, то обнаружим, что диаметр и форма цветков мало различаются, в большей степени варьирует величина корзинок.

В то же время длина листьев и их форма существенно различаются даже в пределах одного растения. Замечено, что, если шло формирование листьев при низкой температуре, они мельче и тем большие вырезы имеет листовая пластинка. Напротив, при более высокой температуре (15—20 °С) листья формируются более крупные и с небольшими вырезами пластинок. Однако, при какой бы температуре ни шло формирование листьев, мы не найдем среди листьев взрослых растений ни слишком маленьких, ни слишком больших. Значит, под влиянием среды признаки могут изменяться только в определенных границах.

Пределы модификационной изменчивости признака, ограниченные генотипом, называются *нормой реакции*. Одни признаки, например длина листьев, высота растений, масса тела, урожайность крупного рогатого скота, яйценоскость кур и др., обладают широкой нормой реакции. Другие, например величина цветков и их форма, окраска семян, цветков и плодов, масть животных, жирность молока и др., — более узкой.

Еще одним примером, иллюстрирующим влияние внешней среды на проявление качественных признаков, служит изменение окраски шерсти у гималайских кроликов. Обычно при 20 °С шерсть у них на всем теле белая, за исключением черных ушей, лап, хвоста и мордочки. При 30 °С кролики вырастают полностью белыми. Если же у гималайского кролика на небольших участках кожи сбрить шерсть на боку или спине и содержать его при температуре воздуха ниже 2 °С, то вместо белой шерсти вырастет черная. Если же сбрить шерсть на ухе, то в обычных условиях там снова вырастет черная шерсть. Следовательно, для каждой области тела у кролика есть свой порог температуры (рис. 11.10). Эти наблюдения объясняют, почему гималайские кролики рождаются белыми, без участков черной шерсти: их эмбриональное развитие происходит в условиях высокой температуры.

Возникновение модификаций связано с тем, что такие важнейшие факторы среды, как свет, тепло, влага, воздействуют на активность ферментов и в известной мере изменяют течение биохимических реакций в развивающемся организме.

Модификационная изменчивость характеризуется рядом особенностей.

1. Модификации часто носят *обратимый характер* в пределах одного поколения, т. е. со сменой внешних условий у взрослых особей меняется степень выраженности тех или иных признаков. Например, у крупного рогатого скота с изменением условий содержания может изменяться удой молока, у кур — яйценоскость, у человека под действием ультрафиолетовых лучей появляется загар и т. д.

2. Модификации в большинстве случаев носят *адекватный характер*, т. е. степень выраженности признака находится в прямой зависимости от вида и продолжительности действия того или

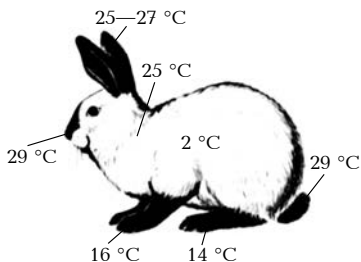


Рис. 11.10. Карта температурных порогов пигментации шерсти у гималайского кролика

иного фактора. Так, улучшение содержания скота способствует увеличению живой массы животных, плодовитости, удоя молока и т. д. По этой причине модификационную изменчивость называют *определенной*.

3. Модификации носят *приспособительный, адаптивный* характер. Это означает, что в ответ на изменившиеся условия среды у особи проявляются такие фенотипические изменения, которые способствуют ее выживанию. Например, у человека, оказавшегося в условиях высокогорья, увеличивается содержание эритроцитов в крови, чтобы обеспечить клетки тела кислородом в условиях его пониженного содержания в воздухе.

4. Одним из основных свойств модификаций является их *массовость*. Это обусловлено тем, что один и тот же фактор вызывает примерно одинаковое изменение у многих особей, сходных генотипически. Из-за этого модификационную изменчивость называют *групповой*. Например, при перемещении овец в более холодные условия у всех особей со временем шерсть станет более густой.

5. Так как при модификационной изменчивости генотип не затрагивается, то *модификации не наследуются*. Наследуется норма реакции, которая обусловлена генотипом (определенным сочетанием генов в генотипе и характером их взаимодействий).

Таким образом, все признаки и свойства организмов генетически детерминированы и могут изменяться под влиянием среды без изменения генотипа только в пределах нормы реакции.

Статистический анализ модификационной изменчивости. Признаки организмов подразделяются на качественные (цвет глаз и волос у человека, масть животных, окраска семян и др.) и количественные (рост и масса тела, число колосков в колосе и др.). Для характеристики степени изменчивости количественных признаков применяют статистические методы — построение вариационного ряда и вариационной кривой. Например, количество колосков в колосьях пшеницы одного сорта варьирует в довольно широких пределах. Если расположить колосья по возрастанию количества колосков, то получится *вариационный ряд изменчивости* данного признака, состоящий из отдельных вариантов. Частота встречаемости отдельной варианты в вариационном ряду неодинакова: наиболее часто встречаются колосья со средним числом колосков и реже — с большим и меньшим.

Число колосков в колосе (v): 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

Количество колосьев (p): 2, 7, 22, 32, 24, 8, 5.

Распределение вариантов в этом ряду можно выразить наглядно на графике. Для этого на оси абсцисс откладывают значения вариантов v в порядке их увеличения, на оси ординат — частоту встречаемости p каждой варианты.

Графическое выражение изменчивости признака, отражающее как размах вариаций, так и частоты встречаемости отдельных вариантов, называют *вариационной кривой* (рис. 11.11). Как видно на графике, наибольшая частота характерна для колосьев со средним числом колосков (16—18).

Чтобы дать объективную характеристику изменчивости признака, нужно изучить большое количество особей, поскольку статистические закономерности — это закономерности больших чисел.

Значение закономерностей модификационной изменчивости имеет большое практическое значение, так как позволяет управлять ею путем выявления и создания оптимальных условий для реализации генотипа. Это дает возможность добиться высокой продуктивности животных и растений.

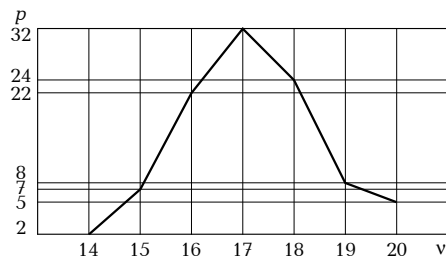


Рис. 11.11. Вариационная кривая числа колосков в колосе пшеницы

ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Генотипическую изменчивость подразделяют на комбинативную и мутационную.

Комбинативная изменчивость. Известно, что дети обычно похожи на своих родителей, однако они никогда не являются их точной копией. Кроме того, дети одних и тех же родителей могут заметно различаться между собой. В чем же причина таких различий? Она может заключаться либо в различии условий, в которых происходило развитие организмов, либо в различии генотипов этих организмов. Влияние среды на живые организмы мы уже рассмотрели ранее. Здесь постараемся разобраться, с чем могут быть связаны различия генотипов у родственных организмов.

Первая причина таких различий — возникновение у новых организмов новых сочетаний генов, которые имелись у родителей. Такая изменчивость называется *комбинативной*.

В основе комбинативной изменчивости лежит половое размножение организмов, вследствие которого возникает огромное разнообразие генотипов. Источниками комбинативной изменчивости могут быть:

1) обмен участками гомологичных хромосом в ходе образования половых клеток (кроссинговер);

2) независимое расхождение гомологичных хромосом в анафазе I мейоза. Именно независимое комбинирование хромосом при мейозе является основой третьего закона Менделя. Появление зеленых гладких и желтых морщинистых семян в F_2 от скрещивания растений с желтыми гладкими и зелеными морщинистыми семенами — пример комбинативной изменчивости;

3) случайное сочетание гамет при оплодотворении.

Данные источники комбинативной изменчивости действуют независимо и одновременно, обеспечивая при этом постоянную «перетасовку» генов, что в результате приводит к появлению в фенотипе новых комбинаций признаков у гибридов.

Комбинативная изменчивость является важнейшим источником разнообразия живых организмов. Однако перечисленные источники изменчивости не порождают принципиально новых изменений в генотипе, которые необходимы, согласно эволюционной теории, для возникновения новых видов. Такие изменения возникают в результате мутаций, которые являются второй причиной наследственной изменчивости организмов.

Мутационная изменчивость. *Мутации* (лат. *мутацио* — изменение) — это внезапные (скачкообразные) естественные или вызванные искусственно наследуемые изменения генетического материала (генома), приводящие к изменению тех или иных признаков организмов. Геном — гаплоидный набор хромосом с локализованными в них генами. Изменчивость, вызванная возникновением мутаций, называется *мутационной*. Живые существа, изменившие свой фенотип в результате мутации, называются *мутантами*.

В отличие от модификаций, мутации неопределенны, разнонаправленны, носят случайный, скачкообразный характер. В большинстве случаев мутации вредны для организма, но, поскольку они носят случайный характер, могут возникать нейтральные и полезные. Мутации дали начало многочисленным культурным формам астр, роз, пионов, тюльпанов и других декоративных культур, а также растениям с махровыми цветками.

По изменению генетического материала мутации подразделяют на генные, хромосомные и геномные.

Генные, или точковые, мутации — результат изменения нуклеотидной последовательности в молекуле ДНК в пределах одного гена вследствие вставки,

Генные мутации
у человека:

- серповидноклеточная анемия;
- ахондроплазия;
- полидактилия;
- клещевидная кисть;
- спинальные близнецы

выпадения или замены нуклеотидов. Такое изменение в гене воспроизводится при транскрипции в структуре иРНК и приводит к изменению последовательности аминокислот в полипептидной цепи, образующейся при трансляции на рибосомах. В результате синтезируется другой белок, что ведет к изменению каких-либо признаков организма. Это наиболее распространенный вид мутаций и важнейший источник наследственной изменчивости организмов.

Примером генной мутации служит серповидноклеточная анемия — заболевание человека, вызываемое заменой нуклеотида в одном из генов, ответственных за синтез гемоглобина. В результате изменяется молекулярная структура белка гемоглобина, а эритроциты приобретают серповидную форму, снижая способность к транспорту кислорода. Развивается острая анемия. Она вызывает физическую слабость, а иногда приводит к нарушению деятельности сердца и почек. Гомозиготы по гену серповидноклеточности гибнут при рождении.

Хромосомные мутации — это изменения в структуре хромосом. Хромосомные мутации подразделяют на внутрихромосомные и межхромосомные (рис. 11.12).

К внутрихромосомным мутациям относятся: выпадение участка хромосомы (*делеции*), двух- и многократные повторения фрагмента хромосомы (*дупликации*), поворот участка хромосомы на 180° , в результате чего гены в этом участке располагаются в обратной последовательности (*инверсии*).

К межхромосомным мутациям относят обмен участками между двумя нехомологичными хромосомами (*транслокации*).

Геномные мутации — это изменение числа хромосом в геноме организма. В основе таких мутаций лежит нарушение расхождения хромосом к полюсам клеток при мейозе или митозе.

Среди геномных мутаций выделяют полиплоидию и гетероплоидию.

Полиплоидия — это увеличение числа хромосом в клетках, кратное гаплоидному. При полиплоидии возникают триплоидные ($3n$), тетраплоидные ($4n$), гексаплоидные ($6n$), октаплоидные ($8n$) и другие клетки. Полиплоидия распространена главным образом у растений.

Полиплоидные формы имеют крупные листья, цветки, плоды и семена (рис. 11.13). Многие сорта культурных растений (пшеницы, ржи, сахарной свеклы, гречихи и др.) являются полиплоидными.

Гетероплоидия (анеуплодия) — это изменение числа хромосом, не кратное гаплоидному. Гетероплоидия наблюдается тогда, когда во время митоза или мейоза не расходятся или теряются отдельные гомологичные хромосомы.

В результате при гаметогенезе могут возникать половые клетки с лишними хромосомами. При слиянии с нормальными гаметами они образуют зиготу $2n + 1$ (трисомия по определенной хромосоме). Так, люди, страдающие болезнью Дауна, являются трисомиками по 21-й хромосоме, поскольку они имеют в клетках одну лишнюю хромосому из 21-й пары. Если в гамете оказалась меньше на одну хромосому, то последующее оплодотворение приводит к образованию зиготы $2n - 1$ (моносомия). Кроме того, встречаются формы $2n - 2$ (нуллисомия) и $2n + x$ (полисомия).

В зависимости от того, в каких клетках произошли мутации, их подразделяют на соматические и генеративные.



Рис. 11.12. Хромосомные мутации

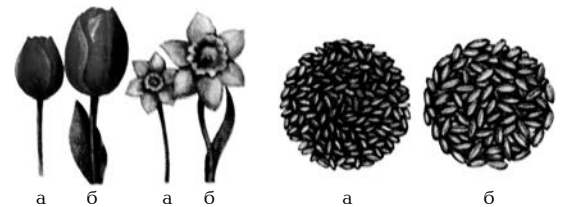


Рис. 11.13. Полиплоидные формы цветков тюльпана, нарцисса и зерновок ржи: а — диплоидные; б — тетраплоидные

Соматические мутации происходят в соматических клетках, проявляются у данной особи и не наследуются при половом размножении. Эти мутации затрагивают лишь часть клеток и мозаично проявляются в фенотипе. Так, у овцы на сером фоне окраски шерсти может быть черное пятно; среди красных цветков на растении появляются одиночные белые цветки, лишенные пигментации. Поскольку соматические мутации передаются по наследству при вегетативном размножении растений, особи с такими мутациями могут использоваться в селекции.

Генеративные мутации происходят в хромосомах половых клеток и передаются последующим поколениям при половом размножении.

По влиянию на жизнеспособность и (или) плодовитость особей мутации делят на:

- *летальные* (обуславливают гибель мутантов);
- *нейтральные* (не влияют на жизнеспособность и плодовитость организма);
- *полезные* (повышают жизнеспособность и плодовитость особей).

По происхождению различают спонтанные и индуцированные мутации.

Мутации, возникающие под влиянием обычных факторов внешней среды, но неизвестной природы или в результате физиологических и биохимических изменений в самом организме, называются *спонтанными*.

Мутации, возникающие под влиянием специальных известных воздействий на организм (ионизирующая радиация, химические вещества, экстремальные условия и т. п.), называются *индуцированными*. Принципиальных различий между спонтанными и индуцированными мутациями нет.

Мутагенные факторы. Вещества и факторы, вызывающие мутации, называются *мутагенами*, или *мутагенными факторами*. Мутагены подразделяются на физические, химические и биологические.

К *физическим мутагенам* относятся ионизирующая радиация, УФ-излучение, высокая и низкая температуры (температурные шоки), механические воздействия, ультразвук и др.

Под воздействием всех видов ионизирующих излучений (гамма- и рентгеновские лучи, протоны, нейтроны и др.), ультрафиолетового излучения, высоких и низких температур частота мутаций увеличивается в сотни раз. Ионизирующие излучения вызывают главным образом изменения в хромосомах. Большинство таких мутаций являются вредными.

Химическими мутагенами являются многие органические и неорганические соединения. В их числе формалин, азотистый иприт, колхицин, некоторые компоненты табака, лекарственных препаратов, пищевых консервантов и пестицидов. Химические мутагены вызывают преимущественно точковые (генные) мутации, влияющие на физиологические и количественные признаки. Однако, используя химические вещества в больших концентрациях, можно получить хромосомные и геномные мутации.

Биологическими мутагенами являются вирусы и токсины ряда плесневых грибов.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. В 1922 г. выдающийся российский генетик Н. И. Вавилов (1887—1943) сформулировал *закон гомологических рядов в наследственной изменчивости*, согласно которому родственные по происхождению виды растений и животных имеют сходные ряды наследственной изменчивости. Применяв этот закон, Н. И. Вавилов установил центры происхождения культурных растений, в которых сосредоточено наибольшее разнообразие наследственных форм.

Этот закон гласит:

«1. Виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд

изменчивости признаков в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение сходных признаков у других видов и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды и виды, тем полнее сходство в рядах их изменчивости.

2. Целые семейства растений в общем характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды и виды, составляющие семейство».

Закон гомологических рядов позволяет предвидеть, предсказывать появление новых признаков по аналогии с другими видами и родами. Его использование в селекции позволяет правильно ориентироваться в многообразии наследственных изменений: находить нужные, но отсутствующие в данное время у того или иного вида, если они имеются у родственного вида, или создать их искусственно.

Например, в 20-е гг. XX в. были известны только остистые разновидности твердой пшеницы, но наличие безостых разновидностей у мягкой пшеницы указывало на возможность наличия у твердой пшеницы безостых форм. Такие экземпляры твердой пшеницы Вавилов обнаружил в Абиссинии (Эфиопия), а в дальнейшем селекционерами были созданы сорта безостой твердой пшеницы.

Гомологичные ряды наследственной изменчивости выявлены и у животных, например цветные расы (альбинизм, черные, голубые) известны у морских свинок, кроликов и других млекопитающих.

Появление сходных мутаций у родственных видов объясняется некоторой общностью генотипов. В процессе возникновения новых видов различия между ними устанавливаются только по части генов, обуславливающих успешное существование их в конкретных условиях. В то же время многие гены у видов данного рода или даже семейства остаются неизменными и при мутациях дают сходные признаки. Чем ближе таксономически рассматриваемые организмы, тем больше сходства наблюдается в ряду изменчивости.

Закон Н. И. Вавилова имеет большое практическое значение, поскольку прогнозирует поиск определенных форм изменчивости у растений и животных. Зная характер изменчивости одного или нескольких близких видов, можно целенаправленно искать формы, еще не известные у данного организма, но уже открытые у его таксономических родственников.

Значение генотипической изменчивости. Мутации как источники генотипической изменчивости являются важнейшим фактором эволюции.

Генотипическая изменчивость лежит в основе практической селекции при создании новых пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов. Так, современное мировое производство антибиотиков (например, пеницилина) основано на использовании мутантов, полученных под действием ионизирующей радиации или химических мутагенов. В результате воздействия мутагенов на микроорганизмы (бактерии, грибы), вырабатывающие антибиотики, с последующим отбором наиболее удачных форм, продуктивность некоторых микроорганизмов удалось увеличить в 1000 раз. Использование ионизирующих излучений в селекции растений позволило получить новые сорта пшеницы, ржи, ячменя, гороха и др. Химические мутагены дали возможность создать полиплоидные растения, которые легче приспособляются к неблагоприятным условиям жизни, легче переносят низкие температуры и засуху. В настоящее время в сельскохозяйственной практике широко культивируются тетраплоидная (твердая) и гексаплоидная (мягкая) пшеница, тетраплоидный картофель, тетраплоидная гречиха и другие полиплоидные сорта сельскохозяйственных растений.

ОСОБЕННОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Основные закономерности наследственности и изменчивости, установленные для организмов, универсальны, а следовательно, справедливы и для человека. Их изучением занимается генетика человека.

Как объект генетических исследований человек имеет ряд отличительных особенностей. Для людей невозможно планировать искусственные браки (гибридологический метод не применим), экспериментально получать мутации. Кроме того, проведение генетического анализа усложняют большое число хромосом, небольшое число потомков в семье, длительность смены поколений (одно поколение занимает в среднем 30 лет), большой генотипический и фенотипический полиморфизм, зависимость проявления многих признаков и болезней от условий внешней среды. Вместе с тем благодаря точной выборке из большого числа брачных пар, возможности учета в большой популяции семей с интересующими признаками, разработке новейших методов работы с ДНК и др. генетика человека в последние годы достигла значительных успехов.

В современной генетике человека используются как классические, так и все новейшие методы генетики. К ним относятся генеалогический, близнецовый, цитогенетический, популяционно-статистический, дерматоглифический, биохимический и молекулярно-генетический.

Сутью *генеалогического метода* является составление и последующий анализ родословной. С помощью этого метода можно выяснить наследственный характер признака и определить тип наследования (доминантный или рецессивный, сцепленный с полом или аутосомный), тип взаимодействия генов.

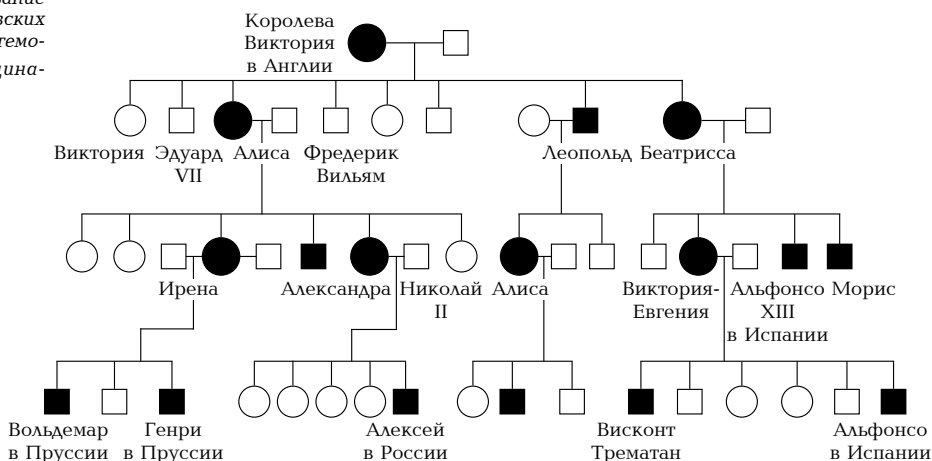
Генеалогический метод используется для диагностики наследственных заболеваний и медико-генетического консультирования.

С помощью генеалогического метода доказано наследование многих признаков и заболеваний. Гемофилия служит классическим примером рецессивного, сцепленного с полом заболевания, наследование которого четко прослеживается по родословным королевских семей Европы (рис. 11.14). В английской королевской семье носителем гена гемофилии была королева Виктория (1819—1901). Все потомки мужского пола, которые получили

Аутосомно-доминантное наследование признаков у человека:

- веснушки;
- темные волосы;
- карие глаза;
- толстые губы;
- длинные ресницы;
- подборок с ямкой;
- катаракта;
- раннее облысение

Рис. 11.14. Наследование гемофилии в королевских родах Европы: ■ — гемофилик; ● — женщина-носитель



X-хромосому с мутантным геном (включая царевича Алексея в России), страдали тяжелой наследственной болезнью — гемофилией, или слабой свертываемостью крови. Аналогичный X-сцепленный тип наследования имеют миопатия Дюшена и некоторые формы дальтонизма. К заболеваниям с аутосомно-доминантным типом наследования относятся полидактилия (многопалость), брахидактилия (короткопалость), ахондроплазия (карликовость) и др. Аутосомно-рецессивный тип наследования имеют многие болезни обмена веществ (фенилкетонурия, альбинизм и др.).

Близнецовый метод состоит в изучении развития признаков у близнецов. Он впервые предложен английским антропологом и психологом Ф. Гальтоном в 1875 г. Данный метод позволяет определить вклад генетических и средовых факторов (климат, питание, обучение и т. д.) в развитие конкретных фенотипических признаков человека.

При использовании близнецового метода проводится сравнение однояйцевых (монозиготных) близнецов как друг с другом, так и с разнойяйцевыми (дизиготными) близнецами и с общей популяцией.

Однояйцевые близнецы развиваются из одной зиготы, на стадии дробления давшей начало двум или более эмбрионам. С генетической точки зрения, они идентичны, так как обладают одинаковым генотипом. Они очень похожи внешне, одного пола, имеют одинаковую группу крови, одинаковый рисунок отпечатков пальцев.

Разнойяйцевые близнецы развиваются в том случае, если одновременно произошло оплодотворение двух яйцеклеток. Такие близнецы имеют различные генотипы и сходны между собой не более, чем обычные братья и сестры, так как имеют около 50 % идентичных генов. В среднем частота рождения близнецов составляет около 1 %, из них около 1/3 приходится на однояйцевых близнецов.

Цитогенетический метод основан на микроскопическом изучении хромосом. В 1956 г. шведские цитологи Д. Тио и А. Леван установили, что у человека 46 хромосом. Это положило начало широкому изучению митотических и мейотических хромосом человека.

В 1959 г. была установлена хромосомная природа болезни Дауна. В дальнейшем были описаны другие хромосомные синдромы, встречающиеся у человека. В результате цитогенетика стала важнейшим направлением практической медицины. Цитогенетический метод применяется для диагностики хромосомных болезней, составления генетических карт хромосом, изучения мутационного процесса и т. п.

Дерматоглифический метод основан на изучении рельефа кожи на пальцах, ладонях и подошвах стоп (рис. 11.16). В отличие от других частей тела, здесь на коже имеются эпидермальные выступы (гребни), образующие сложные узоры (дуги, петли, завитки и др.). Рисунок на пальцах строго индивидуален и может совпадать только у однояйцевых близнецов.

Классификация узоров разработана Ф. Гальтоном в 1892 г. Дерматоглифика включает три раздела: дактилоскопию (изучение узоров на пальцах), пальмоскопию (рисунок ладони) и плантоскопию (рисунок подошвы стопы).

Дерматоглифика применяется в определении зиготности близнецов, диагностике некоторых наследственных заболеваний, судебной медицине и криминалистике для идентификации личности.

Аутосомно-рецессивное наследование признаков у человека:

- рыжие, рыжие волосы;
- голубые, серые глаза;
- тонкие зубы;
- гладкий подбородок;
- альбинизм;
- врожденная глухота

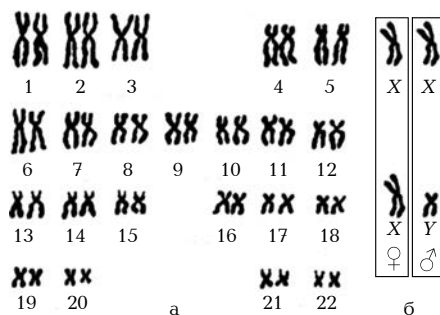


Рис. 11.15. Набор хромосом человека: а — аутосомы; б — половые хромосомы

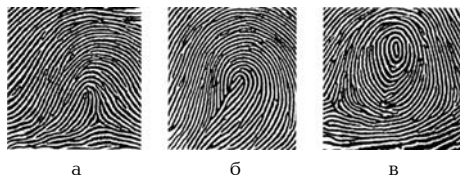


Рис. 11.16. Основные типы дерматоглифических узоров: а — дуга; б — петля; в — завиток

Популяционно-статистический метод используется для изучения частоты генов в популяции. Он позволяет выявить частоту наследственных болезней, закономерности мутационного процесса, роль наследственности и среды в возникновении болезней и др.

Метод нашел свое применение в медицинской генетике при изучении частоты нормальных и патологических генов, генотипов и фенотипов в популяциях различных местностей, стран и городов. Кроме того, с помощью данного метода изучаются наследственные болезни в разных популяциях с последующим прогнозированием их частоты в ряду поколений.

Биохимический метод позволяет диагностировать болезни обмена веществ, например можно обнаружить нарушения в обмене веществ, вызванные мутациями генов и, как следствие, изменением активности различных ферментов.

Наследственные заболевания (см. ниже), обусловленные генными мутациями, изменяющими структуру или скорость синтеза белков, обычно сопровождаются нарушением углеводного, белкового, липидного и других типов обмена веществ. Наследственные дефекты обмена можно диагностировать посредством определения структуры измененного белка или его количества, выявления дефектных ферментов или обнаружения промежуточных продуктов обмена веществ во внеклеточных жидкостях организма (крови, моче, поте, околоплодной жидкости и т. д.). Например, анализ аминокислотных последовательностей мутационно измененных белковых цепей гемоглобина позволил установить несколько наследственных дефектов, лежащих в основе ряда заболеваний, гемоглобинозов. Так, при серповидноклеточной анемии у человека аномальный гемоглобин вследствие мутации отличается от нормального заменой только одной аминокислоты (глутаминовой кислоты на валин).

В практике здравоохранения, кроме выявления гомозиготных носителей мутантных генов, можно определить гетерозиготных носителей некоторых рецессивных генов, что особенно важно при медико-генетическом консультировании. Так, у фенотипически нормальных гетерозигот по фенилкетонурии (рецессивный мутантный ген) после приема фенилаланина обнаруживается его повышенное содержание в крови. При гемофилии гетерозиготное носительство мутантного гена может быть установлено с помощью определения активности фермента, измененного в результате мутации.

Молекулярно-генетические методы основаны на выявлении изменений в определенных участках ДНК. Например, метод гибридизации ДНК позволяет обнаружить наличие мутантного гена в геноме. Его сущность заключается в следующем: линейные отрезки двухцепочечной ДНК лейкоцитов разрезают с помощью ферментов на одноцепочечные фрагменты. Далее полученные фрагменты разделяют и переносят в среду с радиоактивным зондом — последовательностью нуклеотидов одноцепочечной ДНК, соответствующей определенному мутантному гену. Если среди фрагментов ДНК имеются комплементарные зонду последовательности нуклеотидов, то происходит образование двухцепочечной ДНК, которую определяют с помощью рентгеноувствительной пленки.

НАСЛЕДСТВЕННЫЕ БОЛЕЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Наследственные болезни — это патологии, нарушения нормального развития и функционирования организма, отдельных его органов и систем, обусловленные наличием у особи генных или хромосомных мутаций.

Наследственные болезни составляют около 10 % всех заболеваний человека. Известно несколько тысяч наследственных болезней. Их делят на три группы: генные, хромосомные и болезни с наследственной предрасположенностью (мультифакториальные).

Генные болезни — это заболевания, возникающие при повреждениях ДНК на уровне гена. Общая частота генных заболеваний в популяции составляет 1—2 %. Обычно данные заболевания являются моногенными, т. е. в основе патологических последствий лежит изменение одной пары генов.

Моногенные заболевания наследуются в соответствии с законами Г. Менделя. По типу наследования выделяют аутосомно-доминантные, аутосомно-рецессивные и сцепленные с полом заболевания.

Большинство генных патологий вызвано мутациями в структурных генах, осуществляющих свою функцию через синтез белков. Мутация ведет к изменению структуры или количества белка, что может вызвать функциональные и фенотипические проявления.

К генным болезням относятся многочисленные болезни обмена веществ. Они могут быть связаны с нарушением обмена углеводов, липидов, аминокислот, металлов и др.

Примером наследственных болезней нарушения аминокислотного обмена является *фенилкетонурия*. У больных нарушено превращение аминокислоты фенилаланина в тирозин из-за резкого снижения активности соответствующего фермента, что связано с дефектом гена, кодирующего фермент. В результате в организме накапливаются метаболиты, которые повреждают развивающийся мозг, что приводит к выраженной умственной отсталости. При своевременной постановке диагноза (на ранних этапах развития ребенка) фенилкетонурия успешно лечится с помощью специально подобранной диеты с низким содержанием фенилаланина.

Мутация гена, отвечающего за синтез белка соединительнотканного волокна фибриллина, приводит к блокировке его синтеза. В результате развивается *синдром Марфана* («паучьи пальцы»). Он наследуется по аутосомно-доминантному типу и характеризуется системным поражением соединительной ткани. Больных отличает высокий рост, длинные паукообразные пальцы, плоскостопие, деформация грудной клетки. Кроме того, заболевание может сопровождаться недоразвитием мышц, косоглазием, катарактой, врожденными пороками сердца и т. п. Следует отметить, что синдромом Марфана страдали такие известные люди, как Никколо Паганини и Авраам Линкольн.

Кроме нарушений обмена веществ, генные мутации способны вызвать изменения отдельных признаков: короткопалость, шестипалость, карликовость, атрофию зрительного нерва, глухоту и т. д.

К *хромосомным болезням* относятся болезни, обусловленные геномными мутациями или структурными изменениями отдельных хромосом в половых клетках одного из родителей. Хромосомные болезни принято делить на две группы: болезни, связанные с аномалиями числа хромосом, и болезни, связанные с абберациями (структурными нарушениями) хромосом.

Описано около 700 таких заболеваний. Первую группу составляют болезни, обусловленные нарушением числа аутосом, и болезни, причиной которых является гетерополиплоидия. Ко второй группе относятся болезни, вызванные потерей (делеции), удвоением (дупликацией), поворотом участка хромосомы на 180° (инверсии) либо обменом участками негомологичных хромосом (межхромосомные абберации).

Рассмотрим наиболее часто встречаемые хромосомные болезни.

Синдром Дауна (*трисомия по 21-й хромосоме*) — причиной болезни является нерасхождение 21-й пары хромосом в яйцеклетке во время мейоза

либо на ранних стадиях дробления зиготы. Частота рождения детей с этим синдромом составляет 1:500—700 новорожденных.

Больные с таким синдромом обычно характеризуются низким ростом, круглым уплощенным лицом, монголоидным разрезом глаз с эпикантусом — нависающей складкой над верхним веком, маленькими деформированными ушами, выступающей челюстью, маленьким носом с широкой плоской переносицей, нарушением умственного развития. Около половины больных имеют пороки развития сердечно-сосудистой системы (порок сердца, аномалии крупных сосудов). Болезнь сопровождается снижением иммунитета, расстройством деятельности эндокринных желез, нарушением обмена веществ.

Синдром Шерешевского—Тернера — моносомия по одной X-хромосоме. Частота встречаемости 1:4000—5000. Причиной болезни является нарушение расхождения половых хромосом. У больных отсутствует одна X-хромосома (кариотип — 45, X0). Для женщин, страдающих этим заболеванием, характерны низкий рост (в среднем 135 см), короткая шея с боковыми кожными складками, укорочение 4—5-го пальцев рук, отсутствие или слабое развитие вторичных половых признаков, бесплодие. Нередко отмечаются косоглазие, катаракта, дефекты слуха, аномалии мочевой системы. В 50 % случаев больные страдают умственной отсталостью или склонностью к психозам.

Синдром полисомии по X-хромосоме у женщин включает трисомию (кариотип — 47, XXX), очень редко тетрасомию (48, XXXX) и пентасомию (49, XXXXX). Трисомия встречается с частотой 1:1000 новорожденных девочек. Проявления достаточно разнообразны: отмечается незначительное снижение интеллекта, возможно развитие психозов и шизофрении, плодовитость обычно в норме. При тетрасомии и пентасомии наблюдаются тяжелые формы умственной отсталости, отмечаются соматические аномалии, недоразвитие гениталий.

При *синдроме Клайнфельтера* больные имеют лишнюю X-хромосому (кариотип — 47, XXY). Болеют только мальчики. Частота встречаемости 1:1000. Генетические аномалии проявляются в период полового созревания и выражаются в недоразвитии семенников и вторичных половых признаков. Для мужчин с данным синдромом характерен высокий рост, евнухоидный тип телосложения (узкие плечи, широкий таз), увеличение грудных желез, слабый рост волос на лице. У большинства нарушен сперматогенез, и они бесплодны. Возможно отставание развития интеллекта.

Встречается синдром *гисомии по Y-хромосоме* (кариотип — 47, XYY). Обычно мужчины с данным синдромом не отличаются от нормы по умственному и физическому развитию. Возможно небольшое увеличение роста, иногда наблюдается незначительное снижение интеллекта, склонность к агрессии и антисоциальным поступкам.

Встречаются заболевания связанные, с трисомией по 13-й и 18-й хромосомам. Дети с данными аномалиями хромосом из-за множественных пороков развития обычно умирают в возрасте до одного года.

К заболеваниям, связанным с нарушением структуры хромосом, относится *синдром «кошачьего крика»*, вызываемый потерей концевой участка короткого плеча хромосом 5-й пары. Большинство детей с такой болезнью умирают в раннем возрасте.

Около 90 % от общего числа наследственных патологий человека составляют *заболевания с наследственной предрасположенностью*. К наиболее часто встречающимся болезням данного типа относятся ревматизм, цирроз печени, сахарный диабет, гипертония, ишемическая болезнь сердца, шизофрения, бронхиальная астма и др. В отличие от генных болезней, степень

проявления заболеваний данного типа зависит как от наследственности, так и от действия факторов внешней среды. Определенное сочетание внешних факторов может спровоцировать раннее развитие болезни. Например, курение может стимулировать развитие бронхиальной астмы, гипертонической болезни и т. п.

Наследственная предрасположенность может иметь моно- или полигенный характер. В первом случае она определяется мутацией одного гена, для проявления которой необходим определенный внешний фактор. Во втором — сочетанием аллелей нескольких генов и комплексом факторов внешней среды. Такие болезни называют еще мультифакториальными.

Большое значение имеют **диагностика, профилактика и лечение** наследственных и врожденных заболеваний. Для этого во многих странах мира, в том числе и в Беларуси, создана сеть учреждений, обеспечивающих медико-генетическое консультирование населения. Основная цель медико-генетического консультирования — предупреждение рождения больного ребенка.

Генетическая консультация и дородовая диагностика обязательны, если родители будущего ребенка — родственники (близкородственный брак), старше 35 лет, работают на вредном производстве, имеют генетически неблагополучных родственников или уже имеют детей с отклонениями в развитии. Применение комплекса методов генетики человека позволяет рассчитать риск рождения ребенка с наследственной аномалией, установить на ранних этапах развития причины заболевания и применить соответствующие методы лечения. Следует отметить, что курение, употребление алкоголя и наркотиков матерью или отцом будущего ребенка значительно повышают вероятность рождения ребенка с тяжелыми наследственными патологиями.

В случае рождения больного ребенка возможно медикаментозное, диетическое и гормональное лечение. При своевременном выявлении фенилкетонурии и сахарного диабета успешно применяется диетическое и гормональное лечение.

ГЛАВА 12

Селекция и биотехнология

СЕЛЕКЦИЯ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

Селекция (лат. *seleccio* — отбор, выбор) — это наука о путях создания новых и улучшении существующих пород домашних животных, сортов культурных растений, штаммов микроорганизмов с ценными для человека признаками и свойствами.

Порода — это искусственная группа домашних животных с определенным генофондом, обладающая определенными хозяйственно полезными признаками.

Сорт — это группа растений (популяция или клон), отобранных человеком, которая характеризуется специфическим генофондом, наследственно закрепленными морфологическими и физиологическими признаками, определенным уровнем и характером продуктивности и предназначена для выращивания в определенных районах при соблюдении соответствующей агротехники.

Штамм (нем. *stamm* — ствол, основа) — чистая культура микроорганизмов одного вида, у которого одинаковые морфологические и физиологические особенности. Разные штаммы одного и того же вида бактерий могут отличаться по целому ряду свойств, например по чувствительности к антибиотикам, способности к образованию токсинов, ферментов и др.

К основным задачам современной селекции относятся:

- создание новых и совершенствование существующих сортов, пород и штаммов с хозяйственно полезными признаками (скоропелость, устойчивость к болезням, вредителям и неблагоприятным климатическим условиям и т. п.);
- создание технологичных высокопродуктивных сортов, пород и штаммов, максимально использующих сырьевые и энергетические ресурсы планеты (в том числе растений, отзывчивых на удобрения, полив, максимальное использование корма животными и т. п.);
- повышение продуктивности пород, сортов и штаммов с единицы площади за единицу времени;
- повышение потребительских качеств продукции (например, вкусовых, внешнего вида, лежкости плодов и овощей, увеличение содержания белка, клейковины, незаменимых аминокислот в семенах и др.);
- уменьшение доли побочных продуктов и их комплексная переработка;
- уменьшение доли потерь от вредителей и болезней.

Исходный материал для селекции. Успех работы селекционера в значительной мере зависит от правильности выбора исходного материала. Исходный материал служит источником наследственной изменчивости — основы для

искусственного отбора. Учение об исходном материале заложил известный российский ученый Н. И. Вавилов. Он установил, что на Земле существуют районы с особенно высоким уровнем генетического разнообразия культурных растений, и выделил семь основных центров происхождения культурных растений. Для каждого центра им были выявлены характерные для него важнейшие сельскохозяйственные культуры. В результате многолетних экспедиций, проведенных под руководством Н. И. Вавилова, был собран ценный фонд мировых растительных ресурсов, насчитывающий свыше 250 000 образцов. Коллекционные образцы хранились в Ленинграде во Всесоюзном институте растениеводства (ВИР), созданном Н. И. Вавиловым в 1930 г. (сейчас Всероссийский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова).

Для сохранения коллекционных образцов используются самые разнообразные методы: периодический пересев семян, замораживание образцов (черенков, почек), поддержание тканево-клеточных культур. Для размещения коллекционных образцов во многих странах построены специальные хранилища. Например, в 1976 г. в Краснодарском крае было построено Российское национальное хранилище семян для генофонда ВИРа вместимостью 400 тыс. образцов. В нем семена содержатся при строго определенной температуре, в том числе при температуре жидкого азота (-196°C), позволяющей сохранять всхожесть и предотвращать накопление мутаций.

Исходный материал хранится и в виде разнообразных насаждений: коллекционных питомников, коллекционно-маточных, маточных и производственных плантаций.

Исходным материалом для селекции могут служить:

- сорта и породы, возделываемые и разводимые;
- сорта и породы, вышедшие из производства, но представляющие большую генетическую и селекционную ценность по отдельным параметрам;
- местные сорта и аборигенные породы;
- дикие сородичи культурных растений и домашних животных: виды, подвиды, разновидности, формы;
- дикие виды растений и животных, перспективные для введения в культуру и доместикации. Поскольку культивируется всего лишь 150 видов сельскохозяйственных растений и 20 видов домашних животных, огромный видовой потенциал диких видов остается неиспользованным;
- экспериментально созданные генетические линии, искусственно полученные гибриды и мутанты.

Исходный материал должен быть достаточно разнообразен: чем больше его разнообразие, тем больше возможность выбора.

Эффективными способами получения исходного материала являются методы *индуцированного мутагенеза*, т. е. искусственного получения мутаций. Индуцированный мутагенез позволяет получать новые аллели, которые в природе обнаружить не удастся. Например, этим путем выведены высокопродуктивные штаммы микроорганизмов (продуцентов антибиотиков), карликовые сорта растений с повышенной скороспелостью и т. д. Для получения индуцированных мутаций у растений используют физические мутагены (гамма-излучение, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение) и специально созданные химические супермутагены. Обработке подвергают пыльцу, семена, проростки, почки, черенки, луковицы, клубни и другие части растений. Полученные мутантные формы или непосредственно дают начало новому сорту (например, карликовые томаты с желтыми или оранжевыми плодами), или используются в дальнейшей селекционной работе.

Однако применение индуцированных мутаций в селекции ограничено, поскольку мутации приводят к разрушению исторически сложившихся генетических комплексов. У животных мутации практически всегда снижают



Соматическая мутация
сциллии

жизнеспособность и (или) вызывают бесплодие. К немногим исключениям относится тутовый шелкопряд, с которым велась интенсивная селекционная работа с использованием авто- и аллополиплоидов (см. ниже).

Соматические мутации. В результате индуцированного мутагенеза часто получают частично мутантные растения (химерные организмы). В этом случае говорят о *соматических (почковых) мутациях*. Многие сорта плодовых растений, винограда, картофеля являются соматическими мутантами. Эти сорта сохраняют свои свойства, если их воспроизводят вегетативным путем, например прививая обработанные мутагенами почки (черенки) в крону немутантных растений; таким путем размножают, например, бессемянные апельсины.

Как известно, термин «*полиплоидия*» используется для обозначения самых разнообразных явлений, связанных с изменением числа хромосом в клетках.

Автополиплоидия представляет собой многократное повторение в клетке одного и того же хромосомного набора (генома). Автополиплоидия часто сопровождается увеличением размеров клеток, пыльцевых зерен и общих размеров организмов. Среди культурных растений широко распространены триплоиды (бананы, чай, сахарная свекла) и тетраплоиды (рожь, клевер, гречиха, кукуруза, виноград, а также земляника, яблоня, арбузы). Некоторые полиплоидные сорта (земляника, яблоня, арбузы) представлены и триплоидами и тетраплоидами. Автополиплоиды отличаются повышенными сахаристостью и содержанием витаминов. Кроме того, избыток хромосом повышает их устойчивость к патогенным организмам (вирусам, грибам, бактериям) и ряду других неблагоприятных факторов. Около 80 % современных культурных растений являются полиплоидами.

Положительные эффекты полиплоидии связаны с увеличением числа копий одного и того же гена в клетках и соответственно с увеличением дозы (концентрации) ферментов.

Аллополиплоидия — это объединение в клетке разных хромосомных наборов (геномов). Часто аллополиплоиды получают путем отдаленной гибридизации, т. е. при скрещивании организмов, принадлежащих к различным видам. Такие гибриды обычно бесплодны (их образно называют «растительными мулами»), однако, удваивая число хромосом в клетках, можно восстановить их плодовитость. Таким путем получены гибриды пшеницы и ржи (тритикале), алычи и терна, тутового и мандаринового шелкопряда.

Полиплоидия в селекции используется для:

- получения высокопродуктивных форм, которые могут непосредственно внедряться в производство или использоваться как материал для дальнейшей селекции;
- восстановления плодовитости у межвидовых гибридов;
- перевода гаплоидных форм на диплоидный уровень.

В экспериментальных условиях образование полиплоидных клеток можно вызвать воздействием экстремальных температур: низкими (0—8 °C) или высокими (38—45 °C), а также путем обработки организмов или их частей (цветков, семян или проростков растений, яйцеклеток или эмбрионов животных) определенными химическими веществами, например колхицином (алкалоид декоративного растения безвременника осеннего), хлороформом и др.

Вся работа, проводимая селекционером от начала планирования получения сорта (породы, штамма) до его создания, называется *селекционным процессом*.

Современный селекционный процесс начинается с создания *модели сорта (породы)*, предназначенного для эксплуатации в определенных условиях, на определенном уровне агро(зоо)техники. Например, при моделировании сортов растений учитывается множество параметров, в частности общая продуктивность, качество химического состава (сбалансированность

по аминокислотному составу, по содержанию сахаров, кислот, витаминов и биологически активных веществ), устойчивость к комплексу физико-химических факторов среды (холодоустойчивость, засухоустойчивость, устойчивость к засолению и т. п.), устойчивость к неблагоприятным биологическим факторам (вредителям и болезням), конкурентоспособность, особенность ритма развития, фотопериодические реакции, безопасность для человека и окружающей среды. После создания модели сорта (породы) прогнозируются финансовые и ресурсные затраты на создание сорта (породы), оценивается возможность его комплексного использования, разрабатывается комплекс мероприятий от подбора исходного материала до внедрения сорта (породы) в сельскохозяйственное производство. И лишь после этого составляется непосредственный план селекционной работы.

МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ

Основными методами селекции являются *гибридизация* и *искусственный отбор*.

Гибридизация. Скрещивание организмов с разным генотипом является основным методом получения новых сочетаний признаков. Различают следующие основные виды гибридизации: инбридинг, аутбридинг и отдаленная гибридизация.

Инбридинг — это близкородственное (внутрипородное или внутрисортное скрещивание). При близкородственном скрещивании в качестве исходных форм используются братья и сестры или родители и потомство (отец — дочь, мать — сын, двоюродные братья — сестры и т. д.). Этот тип скрещивания применяется для того, чтобы перевести большинство генов породы или сорта в гомозиготное состояние и, как следствие, избежать расщепления по хозяйственно-ценным признакам в ряду поколений.

Вместе с тем при инбридинге часто наблюдается снижение жизнеспособности растений и животных, так как в гомозиготное состояние переходят и вредные рецессивные мутации.

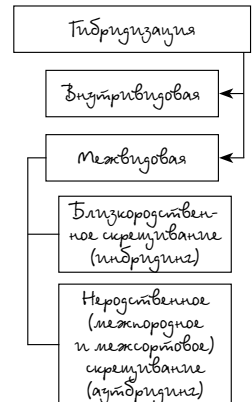
Аутбридинг — неродственное (межпородное или межсортное) скрещивание. Неродственное скрещивание позволяет создать комбинацию полезных признаков, которые по отдельности характеризовали исходные породы или сорта.

При межпородном или межсортном скрещивании возрастает гетерозиготность организмов, вследствие чего гибриды первого поколения часто оказываются более жизнеспособными и плодовитыми, чем их родительские формы. Это явление называется *гетерозисом* (гр. *heterosis* — изменение, превращение) или гибридной мощностью. В последующих поколениях эффект гетерозиса ослабевает и исчезает.

Классическим примером успешного применения данного явления в растениеводстве является кукуруза. Впервые получение высокопродуктивных гетерозисных гибридов именно этого растения было поставлено на промышленную основу. Валовые сборы зерна такого гибрида были на 20—30 % выше, чем у родительских организмов.

Гетерозис широко используется для повышения продуктивности растений, а также в промышленном птицеводстве (например, бройлерные цыплята) и свиноводстве.

Отдаленная гибридизация — скрещивание организмов разных видов или родов. Такие гибриды, как правило, не дают потомства. Это связано с содер-



жанием в геноме различных хромосом, которые в мейозе не конъюгируют. И. В. Мичурин получил гибрид между двумя видами (вишня владимирская × черешня Винклера белая = вишня Краса Севера) и между двумя родами (вишня × черемуха = церападус).

Преодолеть бесплодие межвидовых гибридов впервые удалось Г. Д. Карпеченко в 1924 г. Ученый получил бесплодный гибрид редьки и капусты с диплоидным набором хромосом, равным 18 (9 «редечных» и 9 «капустных»)

(рис. 12.1). Число хромосом было им удвоено, в результате у полиплоидного гибрида в кариотипе оказалось 36 хромосом (по 18 «редечных» и «капустных»). Появилась возможность конъюгации гомологичных хромосом капусты с «капустными» и редьки — с «редечными». Каждая гамета несла по одному набору хромосом и капусты и редьки ($9 + 9 = 18$). В зиготе снова стало 36 хромосом. Полученный межвидовый гибрид стал плодовитым.

И. В. Мичурин для преодоления нескрещиваемости разработал следующие методы:

1) предварительного вегетативного сближения (рябину привил к груше, через 5—6 лет опылил цветки рябины пылью груши, в результате получились гибридные плоды);

2) метод посредника (дикий монгольский миндаль сначала скрестил с полукультурным персиком Давида, получил гибрид-посредник и скрестил его с культурным персиком, в результате получился новый сорт персика).

Сочетание отдаленной гибридизации и автополиплоидии позволило получить гибриды капусты и редьки, ржи и пшеницы, пшеницы и пырея и др. Например, в результате гибридизации пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Sekale*) получили ряд форм, объединенных общим названием тритикале. Они обладают высокой урожайностью пшеницы, зимостойкостью и неприхотливостью ржи, устойчивостью ко многим болезням. При скрещивании пшеницы и пырея получен пшенично-пырейный гибрид, на основе которого был выведен новый сорт пшеницы зернокармликовой, за три укоса он дает 300—450 ц/га зеленой массы.

Искусственный отбор. Основные методы (формы) отбора. Отбором называется процесс дифференциального (неодинакового) воспроизведения генотипов. При этом не следует забывать, что фактически отбор ведется по фенотипам на всех стадиях онтогенеза организмов (особей). Неоднозначные взаимоотношения между генотипом и фенотипом предполагают проверки отобранных растений по потомству.

Существует множество форм искусственного отбора. Рассмотрим более подробно наиболее часто применяемые формы отбора.

Массовый отбор — это выделение группы особей, сходных по одному или комплексу желаемых признаков, без проверки их генотипа. Например, из всей популяции злаков того или иного сорта для дальнейшего размножения оставляют только те растения, которые отличаются устойчивостью к возбудителям болезней и полеганию, имеют крупный колос с большим числом колосков и др. При их повторном посеве снова отбирают растения с нужными качествами и т. д.

Основными достоинствами данного метода являются его простота, экономичность и возможность сравнительно быстрого улучшения местных сортов и пород, а недостатком — невозможность индивидуальной оценки по потомству, в силу чего результаты отбора неустойчивы. Массовый отбор считается примитивной формой отбора, поскольку не позволяет устранить влияние модификационной изменчивости (в том числе и длительных модификаций).

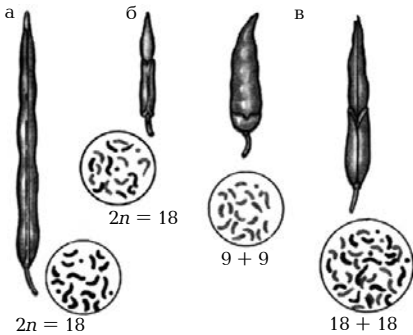


Рис. 12.1. Схема получения капустно-редечного гибрида: а — капуста; б — редька; в — капустно-редечный гибрид

При *индивидуальном отборе* (по генотипу) получают и оценивают потомство каждого отдельного растения или животного в ряду поколений при обязательном контроле наследования интересующих селекционера признаков. На последующих этапах отбора используют только те особи, которые дали наибольшее число потомков с высокими показателями. Индивидуальный отбор считается прогрессивной формой отбора, поскольку позволяет исключить влияние модификационной изменчивости.

Подобный отбор наиболее эффективен среди самоопыляемых растений (пшеница, ячмень и др.), так как приводит к выведению чистых линий, обладающих максимальной степенью гомозиготности. При этом от одного растения можно получить большое количество идентичных потомков за счет бесполого и полового размножения.

Помимо гибридизации и отбора, в современной селекции растений и животных используются и другие методы: генная инженерия и клеточная селекция (эти методы будут рассмотрены ниже).

Особенности селекции животных. Селекция животных имеет определенные особенности. Так, у животных существует только половое размножение, смена поколений происходит редко (через несколько лет), низкая плодовитость самок, поэтому количество особей в потомстве невелико. Кроме того, для животных характерна высокая плодовитость самцов, длительный жизненный цикл у крупных млекопитающих, невозможность самоплодотворения, невозможность клонирования в широких масштабах, резкое снижение плодовитости и (или) жизнеспособности при отдаленной гибридизации, невозможность применения индуцированного мутагенеза. Поэтому большую роль приобретает анализ совокупности внешних признаков, характерных для породы.

В основе селекции животных, как и растений, лежат комбинативная наследственная изменчивость и отбор, протекающие в определенных условиях среды, наиболее благоприятствующих фенотипическому проявлению желательных признаков. Исходным материалом в селекции животных служат одомашненные и дикие формы видов, по которым ведется селекция. Нередко в селекции используются дикие формы, отличающиеся рядом полезных качеств: устойчивостью к резким климатическим колебаниям, к заболеваниям, жизнеспособностью. Многие известные ныне домашние животные произошли от диких. Например, тур был предком крупного рогатого скота, а дикая банкивская курица — предком современных пород кур. Однако простое перенесение дикой формы в оптимальные домашние условия обычно не дает желаемого результата. Дикие формы, обладая рядом полезных качеств, уступают домашним по продуктивности. Так, дикие куры в домашних условиях никогда не дадут 300—350 яиц в год. Поэтому хозяйственно полезные качества диких форм можно лишь использовать для гибридизации.

Создание хозяйственно полезных форм всегда сопровождается тщательным и жестким отбором. С его помощью подбираются для скрещивания родительские пары с определенными признаками на основе учета их наследственности, особенностей проявления в конкретных условиях, сцепления с другими, иногда вредными, признаками и т. д. Пренебрежение такими сведениями может привести к нежелательным последствиям. Например, отбор белых особей в популяции серебристо-черных лисиц дает нежелательный эффект: снижается жизнеспособность. После подбора родительских пар и их гибридизации отбор ведется уже в потомстве с целью выявления лучших комбинаций положительных признаков. В селекции животных используется массовый и индивидуальный искусственный отбор.

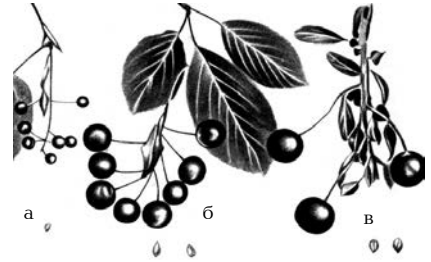
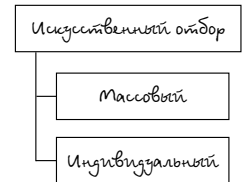


Рис. 12.2. *Церапагус* (б) и его «родители»: а — японская черемуха (мужской производитель); в — вишня Идеал (женский производитель)



Массовый отбор производится по фенотипу, без проверки генотипа. Масовость означает не количество отбираемых особей, а отбор в популяции, т. е. в массе особей, таких экземпляров, у которых лучше выражен полезный признак.

Иногда массовый отбор ведется не непосредственно по селекционному признаку, а по так называемым маркерам, т. е. по признакам, тесно сцепленным с селекционным. Например, у крупного рогатого скота масть служит показателем качества по удою молока, у птиц гетерозиготность по группам крови указывает на хорошую выводимость цыплят и продуктивность взрослых особей.

Индивидуальный отбор — это отбор отдельных особей с определенным признаком с последующим изучением наследования признака в ряду поколений. Таким образом, индивидуальный отбор позволяет оценить особь по *потомству*.

По потомству можно оценить наследственные качества не только самок, но и самцов, у которых данные признаки непосредственно не проявляются. Например, по молочности и жирномолочности определяется качество быков или по яйценоскости — качество петухов. Для этого сначала от производителя получают немногочисленное потомство и сравнивают его по продуктивности с матерями и со средней продуктивностью породы. Если продуктивность дочерей оказывается повышенной, то это указывает на большую ценность производителя, которого следует использовать для дальнейшего улучшения породы.

В селекции животных применяют три основных типа скрещивания: внутривидовое, межпородное и отдаленную гибридизацию.

Внутрипородное скрещивание проводится для поддержания и сохранения полезных качеств породы. Это скрещивание может производиться между близкими родственниками породы (инбридинг) или же между особями одной породы, не состоящими в родстве (аутбридинг).

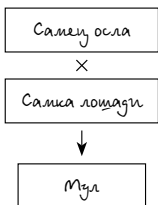
Инбридинг необходим в селекции при выведении чистых линий. Обычно он проводится у птиц. При получении чистой линии у особи полезные признаки и свойства сохраняются в гомозиготном состоянии. Инбридинг часто приводит к депрессии хозяйственно-ценных признаков: снижению плодовитости у животных, яйценоскости у птиц. Для восстановления жизнеспособности, плодовитости и ценности породы нечистой линии часто производят перекрестное скрещивание особей из двух разных чистых линий одной породы.

Аутбридинг используется в селекции для сохранения породы и увеличения ее численности.

Межпородное скрещивание производится с целью выведения новых пород, в которых сочетались бы хозяйственно полезные признаки разных пород. У животных межпородное скрещивание часто проводится для поддержания высокой степени гетерозиготности особей, что обеспечивает определенную их устойчивость к воздействию факторов окружающей среды.

На современном этапе известно немало хозяйственно-ценных пород животных, выведенных с помощью *отдаленной гибридизации*. Это гибрид лошади и осла — выносливый, сильный, долгоживущий мул; тонкорунный архаромеринос, полученный от скрещивания тонкорунных овец с диким бараном архаром. Сибирские селекционеры, скрестив устойчивого к морозам беловежского кабана с мясной и производительной породой свиней ландрасс, вывели гибрид, который не уступает свинье по продуктивности и дикому кабану по крепости конституции. Там же ведутся работы по селекции жизнеспособных, нетребовательных к корму и устойчивых к суровым условиям гибридов крупного рогатого скота высокомоленной джерсейской породы и неприхотливой, выносливой якутской породы.

Однако следует отметить, что при отдаленной гибридизации часто получают бесплодные гибриды. Это обусловлено наличием в их хромосомном наборе негомологичных хромосом. При отдаленной гибридизации,



межпородном скрещивании, а также при перекрестном скрещивании особей из чистых линий часто наблюдается явление гетерозиса. Гибридное гетерозисное потомство по некоторым признакам может превосходить родителей. Так, по степени выносливости мул превосходит и лошадь, и осла.

Качественное совершенствование сельскохозяйственных животных осуществляется путем ведения племенной работы, основными элементами которой являются:

- 1) тщательный отбор животных на племя, основанный на изучении индивидуальных особенностей животных;
- 2) подбор родительских пар с целью получения от них потомства с желательными признаками;
- 3) правильное выращивание молодняка в условиях, благоприятствующих проявлению хозяйственно полезных признаков.

В современной племенной работе наряду с различными формами гибридизации и отбора используются и другие способы и приемы селекции:

- оценка племенных качеств по происхождению (родословной), основанная на анализе качеств родителей и более далеких предков;
- искусственное осеменение, которое позволяет расширить возможность использования производителей (от одного быка в год может быть произведено до 40 тыс. телят);
- прогнозирование племенной ценности на основе изучения хозяйственно-ценных признаков родителей;
- использование маток-рекордисток;
- метод трансплантации оплодотворенных яйцеклеток или эмбрионов от высокоценных коров-доноров низкопродуктивным коровам-реципиентам;
- получение химер — особей, развивающихся из эмбриональных клеток животных, относящихся к разным породам (видам) — овцекозы, химерные ягнята, телята;
- применение генной инженерии, когда гены одного организма встраиваются в генотип другого (трансгенные мыши, кролики, свиньи);
- глубокое замораживание эмбрионов, половых клеток.

В связи с высокой трудоемкостью селекции животных важное значение приобретают методы выбраковки непригодных для дальнейшей селекции особей на ранних этапах развития. Это возможно благодаря наличию положительных и отрицательных корреляций между экстерьером (совокупность внешних признаков) и хозяйственно полезными признаками. Например, породы крупного рогатого скота промаркированы (помечены) характерной окраской, определенным телосложением, соотношением частей тела и т. д. Эти признаки связаны с жирномолочностью, удойностью, темпами среднесуточных привесов и т. д. Например, телята, обладающие экстерьерными признаками мясных пород, не могут использоваться для селекции на удойность.

ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ

За последние 100 лет усилиями селекционеров урожайность зерновых культур была повышена почти в 10 раз. Сегодня в ряде стран получают рекордные урожаи риса (100 ц/га), пшеницы, кукурузы и др.

Большие успехи достигнуты селекционерами Беларуси.

Селекционеры Республики Беларусь работают над созданием новых сортов интенсивного типа, обладающих высокими продуктивностью и качеством, а также отзывчивых к различным удобрениям и химическим препаратам, без



Сорты картофеля Скарб

которых невозможно ведение современного сельского хозяйства. Селекционная работа сосредоточена в ряде селекционных центров:

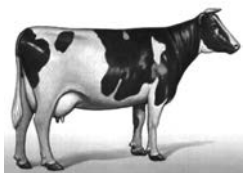
1. Белорусский научно-исследовательский институт земледелия и селекции НАН Беларуси (Жодино). Здесь получены сорта многих зерновых культур: ячменя ярового (Жодинский-5, Зазерский, Прима Беларуси); ячменя озимого (Вавилон, Прыгажун); пшеницы яровой (Белорусская); пшеницы озимой (Березина, Надзея); ржи озимой (Белта); ржи яровой (Пуховчанка, Крыжачок); тритикале (Дар Беларуси). В этом центре занимаются селекцией гречихи, люпина, льна. Белорусские сорта высоко ценятся не только в республике, где они занимают более 75 % пашни, но и в других странах. 70 разработанных в институте сортов допущены к использованию в 35 областях и краях России, а также в Украине, Литве, Латвии, Германии, испытываются в Молдове, Кыргызстане, Канаде.

2. Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси проводит научные исследования с использованием современных методов селекции. Здесь работают известные ученые нашей республики: А. В. Хотылева (гетерозис), А. Н. Полилова (цитоплазматическая наследственность), В. Е. Бормотов (полиплоидия), Н. А. Картель (мутационез).

3. Белорусский НИИ картофелеводства (Самохваловичи). Здесь работает школа селекционеров академика П. И. Альсмика. Выведено более 50 сортов картофеля: Темп, Ласунак, Скарб, Огонек, Зубренок, Белорусский ранний, Орбита и др.

4. В Самохваловичах находится БелНИИ плодоводства, где создано более 120 сортов плодовых и более 20 сортов ягодных культур: яблоны (Антей, Белорусское малиновое, Банановое); черешни (Красавица, Золотая лошадка); земляники (Минская, Чайка); смородины красной (Ненаглядная); смородины черной (Белорусская сладкая, Память Вавилова, Катюша) и др. Большая заслуга в селекции плодовых растений принадлежит А. Г. Волузнёву.

5. БелНИИ овощеводства (Самохваловичи) делает успехи в селекции моркови, капусты, огурцов, томатов. Здесь выведено более 70 сортов овощных культур. Большая заслуга принадлежит таким селекционерам, как А. М. Полянская, Е. И. Чулкова, В. Ф. Девятова и др.



Черно-пестрая порода крупного рогатого скота

Основной селекционный центр животных — Белорусский научно-исследовательский институт животноводства (Жодино). Достигнуты значительные успехи в создании новых и улучшении уже существующих пород животных. В результате длительной и целенаправленной селекционно-племенной работы белорусскими учеными и практиками выведен черно-пестрый тип крупного рогатого скота, обеспечивающий в хороших условиях содержания и кормления удои до 6787 кг молока в год с жирностью до 3,94 % и с содержанием белка 3,26 %.

Созданы белорусская мясная, белорусская черно-пестрая породы свиней и заводские типы свиней крупной белой породы. Эти породы свиней отличаются тем, что животные достигают живой массы 100 кг за 182—186 дней при среднесуточном приросте на контрольном откорме свыше 700 г, а приплод составляет 10—12 поросят за опорос.

Продолжается селекционная работа по укрупнению, повышению скороспелости и работоспособности лошадей белорусской упряжной группы, улучшению продуктивного потенциала овец по настригу шерсти, живой массе и плодovitости, по созданию линий и кроссов мясных уток, гусей, высокопродуктивной породы карпа и др.

Учеными института разработаны технология трансплантации эмбрионов в молочном и мясном скотоводстве (обеспечивает получение 55 телят на 100 эмбрионпересадок) и технология замораживания эмбрионов, обеспечивающая повышение сохранности и приживляемости эмбрионов на 10 % больше по сравнению с существующей технологией.

ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕКЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Микроорганизмы — это сборная группа, включающая бактерии, актиномицеты, настоящие грибы. Микроорганизмы используются в традиционных биотехнологиях (хлебопечение, производство кисломолочных и других продуктов), а также в современных биотехнологиях для получения разнообразных чистых веществ — ферментов, аминокислот, антибиотиков, биологически активных веществ, в качестве бактериальных удобрений, для утилизации разнообразных отходов и т. д.

Микроорганизмы как объект селекции имеют свои особенности:

- исключительно высокая скорость размножения — за считанные дни в чашках Петри или пробирках на питательных средах можно вырастить миллиарды клеток;
- преимущественная гаплоидность или, наоборот, высокий уровень полиплоидии;
- способность переносить высокие дозы мутагенов.

Эти особенности накладывают свой отпечаток на выбор методов селекции микроорганизмов. Основные методы селекции микроорганизмов: индуцированный мутагенез и последующий отбор. Поскольку скорость размножения микроорганизмов очень велика, из множества полученных мутантов можно отобрать те, продуктивность которых в десятки и сотни раз превышает продуктивность «диких» штаммов. Так как половой процесс у большинства микроорганизмов отсутствует, то при размножении мутантной особи (клетки) может быть получена культура генетически идентичных организмов — *клон*. Длительно сохраняемый клон микроорганизмов, характеризующийся собственными генетически устойчивыми признаками, называется *штаммом*.

Отбору высокопродуктивных штаммов предшествует целенаправленная работа селекционеров с генетическим материалом исходных микроорганизмов. В частности, широко используются различные способы рекомбинирования генов: конъюгация, трансдукция, трансформация и другие генетические процессы. Например, *конъюгация* (обмен генетическим материалом между бактериями) позволила создать штамм, способный утилизировать углеводороды нефти.

Часто прибегают к *трансдукции* (перенос гена из одной бактерии в другую посредством бактериофагов), *трансформации* (перенос ДНК, изолированной из одних клеток, в другие) и *амплификации* (увеличение числа копий нужного гена).

Важным подходом к селекционной работе с микроорганизмами является получение рекомбинантов путем слияния протопластов, или гибридизации разных штаммов бактерий.

Если микроорганизмы находятся в гаплоидной фазе, то новая мутация (или внедренный аллель) сразу же проявляется в фенотипе, и мутантов можно легко выявить. Затем полученных мутантов можно перевести в полиплоидное состояние (например, увеличив число ядер, нуклеоидов или других носителей генетической информации в клетках). В этом случае продуктивность штаммов резко возрастает. Однако продуктивность микроорганизмов нельзя повышать до бесконечности, например, если усиливается продуцирование антибиотиков, то снижается общая жизнеспособность клеток. В связи с этим одной из проблем селекции микроорганизмов является повышение устойчивости, жизнеспособности и конкурентоспособности новых штаммов.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БИОТЕХНОЛОГИИ

Термин «биотехнология» получил широкое распространение сравнительно недавно, хотя многие технологии производства (хлебопечение, виноделие, сбраживание молочных продуктов, обработка кожи и т. д.), основанные на биологических процессах, существуют с давних времен.

Биотехнология — это наука, изучающая возможности использования организмов, биологических процессов и систем в производстве, включая превращение разных видов сырья в полезные продукты. Применение биологических процессов при разработке производственных технологий дает основание рассматривать биотехнологию как отрасль того или иного производства, например сельскохозяйственная биотехнология, биоэнергетика, биотехнология пищевой промышленности и др.

Объектами биотехнологии служат бактерии, протисты, дрожжи, а также растения, животные или изолированные клетки и субклеточные структуры (органеллы).

Основными направлениями биотехнологии являются:

- 1) производство с помощью микроорганизмов и культивируемых эукариотических клеток биологически активных соединений (ферментов, витаминов, гормонов), лекарственных препаратов (антибиотиков, сывороток, высокоспецифичных антител) и др.;
- 2) создание новых полезных штаммов микроорганизмов, сортов растений и пород животных с заданными признаками и свойствами;
- 3) разработка и использование биологических методов защиты растений от вредителей и болезней;
- 4) создание и использование биотехнологических методов защиты окружающей среды и т. д.

Благодаря быстрому развитию молекулярной биологии и генетической инженерии появилась возможность целенаправленно управлять биологическими процессами, конструировать молекулы ДНК, отдельные клетки и целые организмы с заданными параметрами, что привело к созданию нового направления в науке — современной *биотехнологии*.

Основой современной биотехнологии является клеточная и генетическая инженерия в сочетании с микробиологическим синтезом и широким набором методов биохимии.

Клеточная инженерия — это культивирование в специальных условиях вне организма изолированных клеток или тканей растений, животных и микроорганизмов, включая различные манипуляции с ними (слияние, размножение и т. п.).

Особенно успешно развивается клеточная инженерия растений. Используя разнообразные методы, ученые отбирают линии клеток растений-продуцентов ценных веществ, которые способны расти на простых питательных средах, синтезируя при этом необходимое вещество в несколько раз больше, чем само растение. Культивирование массы таких клеток уже используется в промышленных масштабах для получения физиологически активных соединений. Например, налажено производство биомассы женьшеня для нужд медицинской и парфюмерной промышленности.

Другое важное направление клеточной инженерии — *микрклональное размножение* растений на основе культуры тканей. Это стало возможным благодаря способности растительных клеток в результате регенерации формировать целое растение из единичной клетки.

Культуру растительных тканей выгодно использовать для быстрого размножения медленно растущих растений — маслинной пальмы, малины,



Микрклональное
размножение растений

персика и др. Так, при обычном разведении куст малины может дать не более 50 отростков в год, в то время как с помощью культуры тканей можно получить более 50 тыс. растений.

Методы клеточной инженерии позволяют значительно ускорить селекционный процесс при выведении новых сортов хлебных злаков и других важных сельскохозяйственных культур: срок их получения сокращается до 3—4 лет (вместо 10—12 лет, необходимых при использовании обычных методов селекции).

Перспективным способом выведения новых сортов ценных сельскохозяйственных культур является применение таких нетрадиционных методов клеточной инженерии, как соматическая гибридизация, гаплоидия, клеточная селекция, преодоление нескрещиваемости в культуре и др.

Соматическая гибридизация — это слияние двух различных клеток в культуре тканей. Сливаться могут разные виды клеток одного организма и клетки разных, иногда очень далеких видов, например мыши и крысы, кошки и собаки, человека и мыши.

Культивирование клеток растений стало возможным, когда научились с помощью ферментов избавляться от толстой клеточной оболочки и получать изолированный протопласт. Протопласты можно культивировать так же, как и клетки животных, обеспечивать слияние их с протопластами других видов растений и получать в соответствующих условиях новые гибридные растения.

Важное направление клеточной инженерии связано с ранними стадиями эмбриогенеза. Например, оплодотворение яйцеклеток в пробирке уже сейчас позволяет преодолевать некоторые распространенные формы бесплодия у человека. У сельскохозяйственных животных с помощью инъекции гормонов удастся получить от одной коровы-рекордистки десятки яйцеклеток, оплодотворить их в пробирке спермой породистого быка, а затем имплантировать в матку других коров и таким путем получить от одного ценного экземпляра в 10 раз больше потомства, чем это было бы возможно обычным путем.

Генетическая инженерия — это раздел молекулярной биологии, связанный с целенаправленным созданием молекул ДНК, способных реплицироваться в клетке-хозяине и осуществлять контроль за синтезом необходимых метаболитов.

В круг интересов генетической инженерии входят вопросы расшифровки структуры генов, синтеза рекомбинантной ДНК, клонирования, переноса генетического материала в реципиентные клетки (трансгенез), культивирование клеток, изучение новых признаков у трансгенных организмов.

Для осуществления переноса генов одного вида организмов в другой, часто очень далекий по своему происхождению, необходимо выполнить несколько сложных операций:

- выделение генов (отдельных фрагментов ДНК) из клеток бактерий, растений или животных. В отдельных случаях эту операцию заменяют искусственным синтезом нужных генов;
- конструирование рекомбинантной ДНК (соединение отдельных фрагментов ДНК любого происхождения в единую молекулу в составе плазмиды);
- клонирование ДНК (увеличение количества ДНК с помощью полимеразной реакции вне организма либо введением в бактериальную клетку);
- введение рекомбинантной ДНК в клетки или организм.

Для того чтобы искусственным путем наделить организм новыми наследственными свойствами (создать трансгенную особь), нужно ввести в него хотя бы один чужеродный ген, причем необходимо приготовить (сконструировать) фрагмент чужеродной ДНК, содержащий этот нужный ген. Осуществляется эта процедура с помощью двух операций: «разрезания» и «сшивания», которые обеспечивают ферменты рестриктазы и лигазы.

Рестриктазы, действуя на двухцепочечную ДНК, «узнают» в ней определенную последовательность нуклеотидов, причем каждая рестриктаза узнает только свою последовательность ДНК, прикрепляется к ней и разрезает ее в месте прикрепления.

Фрагменты ДНК из различных организмов, полученные при действии рестриктаз, сшиваются другим ферментом — *ДНК-лигазой*. Он «сшивает» между собой два фрагмента с образованием полной структуры межвидовой гибридной молекулы ДНК. Внешне она ничем не отличается от обычной ДНК.

Сейчас в арсенале генных инженеров имеется более 500 различных рестриктаз, способных разрезать ДНК примерно в 120 различных местах.

Для доставки чужеродных генов в клетки различных организмов ученые используют так называемые векторы, или векторные молекулы. *Вектор* — это небольшая молекула ДНК, способная самостоятельно реплицироваться в клетках различных организмов и обеспечивать размножение и работу искусственно встроенного в нее какого-либо гена. Идеальными векторными молекулами оказались *плазмиды*, представляющие собой небольшие кольцевые молекулы ДНК, существующие в бактериальных клетках независимо от бактериальной хромосомы. Плазмиды способны к автономной репликации, обладают генами устойчивости к различным антибиотикам, что позволяет легко обнаружить их присутствие в клетках. Плазмиды могут внедряться в хромосому клетки другого организма. Они имеют участки ДНК для действия ряда рестриктаз. Под действием рестриктазы плазида из кольцевой превращается в линейную молекулу, концы которой могут сшиваться с любым фрагментом другой ДНК, полученным под действием той же рестриктазы. Таким образом в плазмиду внедряется рекомбинантная молекула ДНК (рис. 12.3). Далее плазида внедряется в клетку кишечной палочки, где происходит клонирование (размножение) нужного гена.

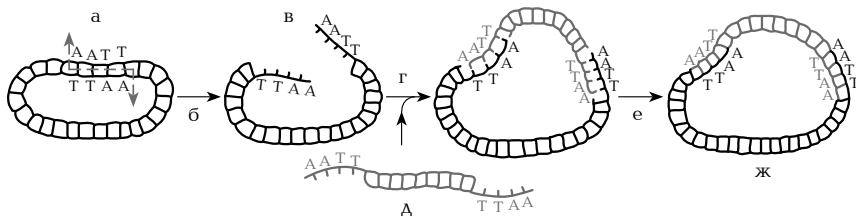
Помимо плазмид в качестве векторов стали успешно использовать *фаги* и *вирусы*.

В настоящее время научились уже переносить гены от одного животного к другому и от животного к растениям. Получены «трансгенные» мыши, кролики, свиньи, овцы, коровы и рыбы, в которых работают гены различного происхождения, в том числе гены бактерий, дрожжей, млекопитающих, человека.

ДНК можно прямо инъецировать в оплодотворенное яйцо вида-реципиента или можно использовать в качестве переносчика вирус*, который, проникнув в клетку, внесет с собой и нужный ген. Еще один метод связан с использованием неспециализированных стволовых (т. е. родоначальных) клеток эмбриона. Гены вводят в стволовые клетки путем инъекции или с помощью вируса, и полученные в результате трансгенные клетки инъецируют другому зародышу, который включает эти чужие клетки в свои ткани.

Растения и животные, геном которых изменен путем генно-инженерных операций, получили название трансгенных растений и трансгенных животных.

Рис. 12.3. Встраивание в плазмиду хромосомной ДНК: а — кольцевая молекула плазмидной ДНК; б — разрыв под действием рестрицирующей нуклеазы; в — линейная молекула плазмидной ДНК с липкими концами; г — отжиг; д — один из многих фрагментов ДНК, образующихся при разрезании хромосомной ДНК одной и той же рестрицирующей нуклеазой; е — ДНК-лигаза; ж — молекула плазмидной ДНК со вставкой хромосомной ДНК



Трансгенные мыши со встроенным геном были получены в 1982 г. У них отмечалось повышение скорости роста и увеличение живой массы.

Лососи со встроенным геном гормона роста достигают товарной массы в 2 раза быстрее, чем обычные.

Довольно часто для производства трансгенных медицинских препаратов используют культуру клеток животных. На этой основе разработано производство так называемого фактора свертываемости VIII в крови человека. Это позволило успешно решить проблему лечения больных *гемофилией*. Ранее белок *фактор VIII* выделяли только из крови доноров, что было связано с риском заражения пациентов вирусным гепатитом.

Трансгенные животные как продуценты ценных биологически активных белков и гормонов имеют ряд преимуществ перед микроорганизмами и клеточными системами. Они легко размножаются, содержание их сравнительно дешево, что делает таких животных хорошими продуцентами разнообразных белков с низкой стоимостью.

Есть трансгенные растения, на базе которых созданы сорта или формы различных сельскохозяйственных культур, которые практически невозможно получить традиционными методами селекции. Например, выведены сорта картофеля, устойчивого к колорадскому жуку (листья вырабатывают белок, ядовитый для жуков), растения, способные защищать себя от токсичных тяжелых металлов и нефтепродуктов и даже очищать от этих веществ почву.

На сегодняшний день методы генетической инженерии позволили осуществить синтез в промышленных количествах таких гормонов, как инсулин, интерферон и соматотропин (гормон роста), которые необходимы для лечения сахарного диабета, некоторых видов злокачественных опухолей и карликовости соответственно.

Гормон роста, полученный с помощью методов генетической инженерии, при крупномасштабном применении вызывает увеличение удоев на 23—31 % при дозе 13 мг в день. При ежедневной инъекции ГР молодняку крупного рогатого скота, свиней и овец увеличиваются суточные привесы на 20—30 % при значительном сокращении расхода кормов на единицу прироста. У молодняка свиней с ускорением роста увеличивается содержание белка и уменьшается содержание жира в тканях, что повышает качество мясoproдуктов.

Еще одно перспективное направление в медицине, связанное с рекомбинантной ДНК, — так называемая генная терапия. В этих работах, которые пока еще не вышли из экспериментальной стадии, в организм для борьбы с опухолью вводится сконструированная по методу генетической инженерии копия гена, кодирующего мощный противоопухолевый фермент. Генную терапию начали применять также для борьбы с наследственными нарушениями в иммунной системе.

У биотехнологии, генетической и клеточной инженерии многообещающие перспективы. Внедрение нужных генов в клетки растений, животных и человека позволит постепенно избавиться от многих наследственных болезней человека, заставить клетки синтезировать необходимые лекарства и биологически активные соединения, а затем непосредственно белки и незаменимые аминокислоты, употребляемые в пищу. Используя методы, уже освоенные природой, биотехнологи работают над созданием новых источников энергии. Применение биотоплива экономически и экологически оправдано, так как позволяет в перспективе сократить использование невозобновляемых источников энергии (нефть, газ, уголь), при сжигании которых загрязняется окружающая среда.

ГЛАВА 13

Организм и среда

СРЕДА ОБИТАНИЯ И УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗМОВ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Среда обитания — это совокупность всех элементов и явлений природы, которые непосредственно окружают живые организмы и оказывают на них прямое или косвенное влияние. Составные части среды обитания чрезвычайно разнообразны и изменчивы. Они оказывают различное воздействие на организмы, так как одни из них очень важны, а другие — менее, либо вовсе не нужны. Так, например, шляпочные грибы не нуждаются в свете, но чрезвычайно чувствительны к недостатку органических веществ в среде, на которой они растут. Растительные организмы, напротив, нуждаются в свете. В связи с этим понятие «среда обитания» не следует отождествлять с понятием **условия существования** — совокупностью жизненно необходимых факторов среды, без которых живые организмы не могут существовать. К таким факторам принадлежат свет, вода, тепло, воздух, почва и др. В отличие от них другие факторы среды хотя и оказывают заметное влияние, однако не являются для живых организмов жизненно необходимыми (например, ветер, атмосферное электричество и др.).

Экологические факторы. Отдельные элементы среды, вызывающие у живых организмов приспособительные реакции (адаптации), называются **экологическими факторами**.

Экологические факторы разнообразны как по происхождению, так и по характеру действия. Их подразделяют на три группы.

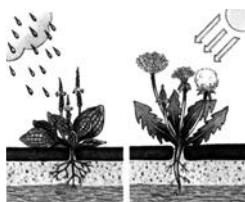
Абиотические факторы включают элементы неорганической, или неживой, природы, воздействующие на организм. В свою очередь их подразделяют на физические, или климатические (свет, тепло, влажность, давление, сила ветра, течения и др.), почвенно-грунтовые (механический состав почвы, ее проницаемость, влагоемкость), химические (соленость воды, газовый состав воды и воздуха), топографические (особенности рельефа местности).

Биотические факторы — это совокупность разнообразных воздействий одних организмов на другие, а также на среду обитания. Одни организмы могут служить пищей для других (например, хозяин — для паразита, растения — для растительноядных животных), способствовать размножению и расселению (например, птицы и насекомые-опылители для цветковых растений), оказывать механические, химические и другие виды воздействий.

Антропогенные факторы — это все формы деятельности человека, изменяющие среду обитания живых организмов или непосредственно влияющие на их жизнь.

Интенсивность воздействия факторов среды на организм изменчива. Диапазон этой изменчивости во многом зависит от особенностей среды

Экологические факторы



Абиотические



Биотические



Антропогенные

обитания. Например, в нижних горизонтах почвы температура почти постоянна, тогда как на поверхности она изменчива. Другие элементы среды относительно постоянны на протяжении больших отрезков времени. Такими являются состав атмосферы, сила земного притяжения, солевой состав океанической воды и др. С учетом этого действие одних факторов среды бывает постоянным, а других — регулярно-периодическим (например, суточный и сезонный ритмы, смена приливов и отливов в океане), третьи же действуют нерегулярно, без четкой периодичности (например, ливни, бури, снегопад, смерчи, землетрясения).

Таким образом, организмы определенного вида подвергаются разнообразным как по природе и интенсивности, так и по периодичности воздействиям факторов среды и живут только в тех средах, к которым они сумели приспособиться.

Закономерности действия факторов среды на организм. В природе невозможно найти растение или животное, которое могло бы переносить все условия, существующие на Земле. Каждый организм живет в относительно узком диапазоне величин температур, влажности, содержания кислорода и других параметров среды. Более того, живые организмы разных видов, а нередко и одного вида, но на разных стадиях развития сильно отличаются друг от друга по отношению и чувствительности к факторам среды. Тем не менее в характере воздействия факторов среды и в ответных реакциях живых организмов выявлен ряд общих закономерностей.

Зависимость скорости роста растений от температуры при поддержании на постоянном уровне всех остальных жизненно важных параметров среды отражена на рис. 13.1, 13.2. Эта зависимость представлена в виде кривой, имеющей вид купола: по мере повышения температуры до некоторой величины скорость роста растений возрастала, достигая максимального значения, а затем снижалась.

Весь диапазон температур, при котором возможен рост растений, ограничен двумя *пороговыми точками* 1 и 3, соответствующими минимальной и максимальной величинам температур, за пределами которых растения гибнут. Эти точки отвечают нижнему и верхнему *пределам выносливости*.

Точка 2 соответствует температуре, при которой наблюдается наибольшая скорость роста растений. Она называется *оптимумом*. Определить оптимальное значение фактора с достаточной точностью бывает трудно, поэтому принято говорить о *зоне оптимума*. Слева и справа от нее расположены области температур, при которых растения растут еще достаточно хорошо — это *зона нормальной жизнедеятельности*. Крайние участки кривой, соответствующие резкому недостатку (слева) или избытку (справа) тепла, называются *зонами угнетения*. В этих зонах растения еще не погибают, но и не растут. За пределами пороговых точек 1 и 3 организмы погибают.

Повторяемость приведенной зависимости интенсивности жизнедеятельности от дозы воздействия любого абиотического фактора позволяет рассматривать ее как фундаментальный экологический принцип: для каждого вида растений и животных существует оптимум, зона нормальной жизнедеятельности, зоны угнетения и пределы выносливости в отношении каждого фактора среды.

Разные виды живых организмов заметно отличаются друг от друга как по положению оптимума, так и по пределам выносли-

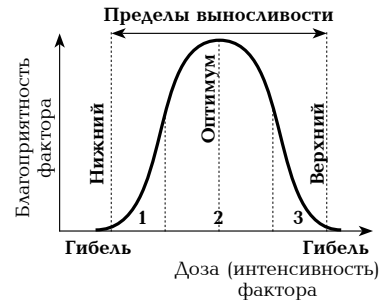


Рис. 13.1. Действие факторов среды на жизнедеятельность организмов: 1, 3 — зоны угнетения (пессимума); 2 — зона нормальной жизнедеятельности

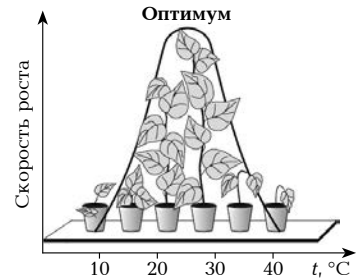


Рис. 13.2. Зависимость скорости роста растения от температуры

вости. Так, например, рифообразующие коралловые полипы обитают в зоне Мирового океана с соленостью, равной 3,5 ‰, и высокими (не ниже 20,5 °C) и малоизменчивыми температурами. Напротив, рачки дафнии могут жить при разных температурах как в пресных, так и солоноватых водоемах. Некоторые растения не переносят даже небольших заморозков (огурцы, томаты), в то время как другим они не вредят (садовая земляника, петрушка, овес и др.). В связи с этим организмы, для существования которых необходимы строго определенные, относительно постоянные условия внешней среды, называются *стенобионтными* (гр. *stenos* — узкий и *biontos* — живущий), а те, которые могут жить в широком диапазоне изменчивости условий среды, — *эврибионтными* (гр. *euryz* — широкий) (рис. 13.3).

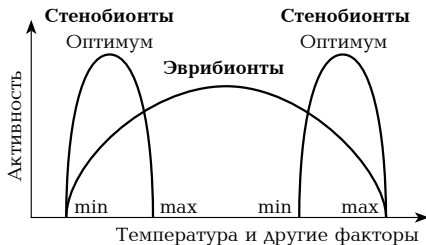


Рис. 13.3. Экологическая пластичность видов

Организмы одного и того же вида могут иметь узкий предел выносливости по отношению к одному фактору и широкий — к другому (например, быть приспособленными к жизни в узком диапазоне температур и в широком диапазоне солености). Кроме того, одна и та же доза фактора может быть оптимальной для организмов одного вида, угнетающей для другого и выходить за пределы выносливости для третьего. Способность организмов адаптироваться к тому или иному диапазону изменчивости факторов среды называют *экологической пластичностью*. Следовательно, эврибионтные организмы являются экологически пластичными, выносливыми, что способствует их широкому распространению.

Напротив, к маловыносливым, экологически непластичным принадлежат стенобионтные организмы, имеющие ограниченные области распространения.

Взаимодействие факторов. Лимитирующий фактор. Разные виды экологических факторов воздействуют на живые организмы одновременно и совместно. При этом действие одного фактора зависит от того, с какой силой и в каком сочетании действуют одновременно другие факторы. Эта закономерность получила название *взаимодействия факторов*. Например, жара или мороз легче переносятся при сухой, а не влажной погоде. Скорость испарения воды листьями растений значительно больше при высокой температуре воздуха с ветром, чем в безветренную прохладную погоду. В некоторых случаях недостаток одного фактора частично компенсируется усилением другого. Например, увядание растений можно приостановить как увеличением количества влаги в почве, так и снижением температуры воздуха, что уменьшает испарение. В пустыне недостаток осадков в определенной мере восполняется повышенной относительной влажностью воздуха в ночное время.

Вместе с тем ни один из необходимых организму экологических факторов не может быть полностью заменен другим. Отсутствие света делает жизнь растений невозможной, несмотря на самые благоприятные сочетания других условий. Фактор, величина которого оказывается близкой или выходит за пределы выносливости (ниже минимума и выше максимума), называется *лимитирующим*. Если же значение хотя бы одного из необходимых экологических факторов приближается или выходит за пределы пороговых величин, то, несмотря на оптимальное сочетание остальных условий, особям грозит гибель. Изменить результат можно только воздействием на лимитирующий фактор.

Природа лимитирующих факторов может быть различной. Например, угнетение роста травянистых растений под пологом буковых лесов, где при оптимальном тепловом режиме, повышенном содержании углекислого газа, плодородных почвах возможности роста трав ограничиваются недостатком света. Лимитирующие факторы среды определяют географический ареал вида. Так, продвижение вида на север может ограничиваться недостатком

тепла, а в районах пустынь и сухих степей — недостатком влаги или слишком высокими температурами. Сезонные изменения климата обычно выходят за пределы диапазона условий, оптимальных для большинства видов. В большинстве областей умеренного и арктического поясов главным фактором, определяющим сезоны роста и активности организмов, служит температура, и эти сезоны обычно приурочены к теплым летним месяцам.

Ограничивающим распространение организмов фактором могут служить и биотические отношения, например занятость территории более сильным конкурентом или недостаток опылителей для цветковых растений.

Выявление лимитирующих факторов и устранение их действия составляет важную практическую цель в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности домашних животных.

СВЕТ В ЖИЗНИ ОРГАНИЗМОВ

Свет — важнейший экологический фактор. Он является основным источником энергии для синтеза первичного органического вещества фотоавтотрофными организмами, а также основным поставщиком тепла для подавляющего большинства организмов всех царств. Биологическое действие солнечного света зависит от его спектрального состава, интенсивности, суточной и сезонной периодичности.

Количество солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, в первую очередь определяется географической широтой местности. Однако особенности местного характера, такие как состояние атмосферы, рельеф местности, вносят свои изменения в световой режим растений и животных, благодаря чему создается большое разнообразие световых условий: от сильного освещения, наблюдаемого в высокогорьях, степях, пустынях, до сумеречного освещения в пещерах и водных глубинах. Соответственно разнообразны и приспособления организмов к жизни при том или ином световом режиме.

В зависимости от потребности в свете растения подразделяют на следующие экологические группы:

1) *светолюбивые (световые)* — растения открытых, хорошо освещаемых местообитаний (сосна, вяз, лиственница, подорожник, мать-и-мачеха, молодило, очиток едкий, большинство культурных растений открытого грунта и др.);

2) *тенивые* — растения затененных местообитаний: растения нижних ярусов тенистых лесов (папоротники, кислица обыкновенная, майник двулистный), водных глубин, расщелин скал, пещер и т. п. Теневыми являются многие комнатные растения, на сильном свете проявляющие признаки угнетения;

3) *теневыносливые* — растения, растущие при разной освещенности, однако лучше при высокой. К ним относятся большинство видов зоны смешанных лесов — ель, граб, бук, лещина, бузина, брусника, ландыш майский и др.

Адаптации растений к световому режиму. Под влиянием разной световой обеспеченности у растений выработались соответствующие приспособления. Так, величина листовых пластинок у светолюбивых растений обычно меньшая, чем у теневых, и листья у них ориентированы вертикально или под большим углом к горизонтальной плоскости, т. е. они как бы «отворачиваются» от избыточного света. Листья теневыносливых растений, напротив, ориентированы к свету всей своей плоскостью и расположены так,

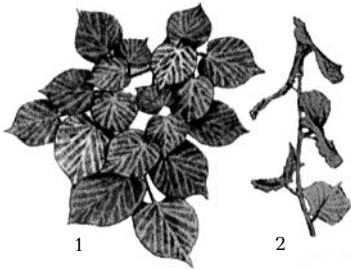


Рис. 13.4. Листорасположение у липы в разных условиях освещения: 1 — под пологом леса (листовая мозаика); 2 — на открытом месте

Фотопериодизм — реакция организмов на суточный ритм освещения, т. е. на соотношение светлого и темного времени суток, выражающаяся в изменении их физиологического состояния

чтобы одновременно не затенять соседние листья, что формирует *листовую мозаику* (рис. 13.4). Листья световых растений обычно толстые за счет хорошо развитых ассимиляционных тканей и прежде всего столбчатой паренхимы. У теневых растений пластинка листа тонкая, широкая, что способствует лучшему проникновению света в глубину листа.

От условий освещенности зависит состав пигментов и их соотношение. Так, у растений открытых и хорошо освещенных местообитаний хлорофилл формы *a* преобладает над формой *b* в 3—5 раз, а в затенении отношение хлорофиллов *a* и *b* составляет 3:2.

Особенно четко адаптивное изменение пигментов проявляется у водорослей разных глубин из-за изменения спектрального состава света. С нарастанием глубины теряется оранжево-красная часть спектра, и до больших глубин доходят в основном зеленые, голубые и синие лучи. В соответствии с этим у обитающих на мелководье зеленых водорослей преобладают зеленые пигменты, у более глубоководных бурых водорослей чаще встречаются бурые пигменты, а у самых глубоководных красных водорослей — красные.

У животных световой фактор прежде всего играет огромную роль в зрительной ориентации в пространстве. Практически у всех групп животных, начиная с подвижных форм кишечнорастных — медуз, развиваются светочувствительные органы — глаза, способные различать спектральный состав света (цветовое зрение). Особенно велика роль глаз для животных, обитающих в наземно-воздушной среде. Именно у них орган зрения достигает наибольшего совершенства. Зрение у животных совершенствовалось одновременно с развитием разнообразных форм и окрасок, помогающих скрываться от врага или узнавать особей своего вида, обнаруживать яркие венчики цветков с нектаром. Ориентация животных на свет осуществляется в результате **фототаксисов**: *положительного* — движения в сторону большей освещенности или *отрицательного* — движения в сторону наименьшей освещенности. Общеизвестно движение от света у почвенных животных — дождевого червя, крота и др.

Свет играет большую роль в формировании годового и сезонного циклов развития животных, а также в регуляции их активности в течение светлого и темного времени суток (*фотопериодизм*). Например, у насекомых одни виды активны днем (дневные бабочки, стрекозы), другие — в сумеречное время (бражники, хрущ майский), третьи — ночью (сверчки, луговой мотылек).

Поскольку световой режим местообитаний в разных широтах различен, он оказывает большое влияние на географическое распространение животных. Например, в тундре практически отсутствуют ночные хищники, так как за короткую летнюю ночь они не могут прокормить ни себя, ни свое потомство.

ТЕПЛО КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Важность теплового фактора для большинства организмов определяется его значительным влиянием на скорость процессов жизнедеятельности, поведение, географическое распространение. Количественным выражением тепла является *температура*. Диапазон изменчивости температур в водной и наземно-воздушной средах весьма велик. Наиболее стабильными температурами характеризуется океан, а наиболее изменчивыми — наземно-воздушная среда.

Обеспеченность живых организмов теплом в разных климатических зонах планеты различна, поэтому они заселяют только те пространства каждой зоны, в которых пределы выносимости не выходят за рамки крайних значений температур, характерных для этих зон. Так, умеренные пояса заселены в основном эвритермными видами, тропический — stenотермными теплолюбивыми видами, холодные — stenотермными холодолюбивыми видами, а умеренные в основном эвритермными видами.

Организмы способны к жизни в пределах таких температур, при которых не происходят денатурация молекул белка, необратимое изменение коллоидных свойств цитоплазмы, нарушение активности ферментов, изменение гидролитических процессов дыхания. Для большинства организмов этот диапазон температур составляет 0—50 °С. Однако у некоторых организмов выработались адаптации для жизни в большем диапазоне температур. К ним принадлежат в первую очередь представители царства Бактерии. Так, например, некоторые виды цианобактерий способны к активной жизни в горячих источниках при температуре воды в них 80—88 °С.

Высокой устойчивостью обладают и некоторые виды лишайников, семена и вегетативные органы пустынных растений, находящиеся в верхнем раскаленном слое почвы.

Температурные адаптации у растений. Немало видов растений способны переносить отрицательные температуры, предварительно подготовившись к ним путем сведения к минимуму процессов жизнедеятельности. Это состояние называется *глубоким покоем*, или *анабиозом*. Подготовка к этому состоянию сопровождается опаданием листьев, надземных органов у травянистых многолетников, образованием чешуек на почках, их засмолением, развитием толстого слоя кутикулы, коры на стеблях. В тканях накапливаются гормоны, тормозящие ростовые и формообразовательные процессы, благодаря чему растение не способно к прорастанию во время случайных осенних и раннезимних потеплений.

К *биохимическим адаптациям* к низким температурам следует отнести значительное обезвоживание клеток либо накопление органических веществ, способных связывать значительное количество воды. Связанная в виде гидратных оболочек вода не замерзает и не транспортируется, оставаясь при этом в клетке. У многих растений выработалась способность повышать концентрацию растворимых углеводов в клеточном соке, что понижает точку замерзания воды.

Примерами *морфологических адаптаций*, касающихся формы растений холодных местообитаний, являются их небольшие размеры — *карликовость* (карликовые березы, карликовые ивы), *стелющиеся* формы (кедровый стланник), *подушковидные* формы растений, образуемые в результате усиленного ветвления и крайне замедленного роста побегов (рис. 13.5). Благодаря таким приземистым и компактным формам растения мало подвергаются воздействию ветра, используют припочвенное тепло в летнее время, а зимой защищены снежным покровом.

Температурные адаптации у животных. Они характеризуются не меньше, чем у растений, разнообразием. Животные выработали два способа получения тепла. Большая их часть получает тепло из внешней среды. Это *эктотермные* (*пойкилотермные*, *холоднокровные*) животные. Температура их тела близка к температуре внешней среды. Средством терморегуляции у эктотермных животных служат поведенческие

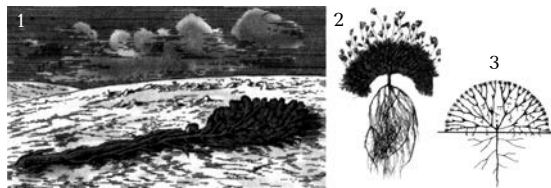
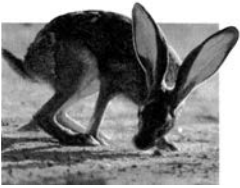


Рис. 13.5. Формы растений полярных и высокогорных областей: 1 — кедровый стланник; 2 — качим — растение-подушка (3 — схема ветвления)

реакции: соответствующая ориентация тела животного по отношению к внешнему источнику тепла, уход в тень или, напротив, выползание на солнце либо закапывание в песок.

Низкие температуры для многих эктотермных животных являются ограничивающим фактором. Способом выживания для большинства из них при наступлении холодов является резкое снижение процессов жизнедеятельности (*оцепенение, спячка*). Устойчивость к замерзанию внутри- и межклеточной воды они приобрели путем повышения концентрации солей в крови (арктические рыбы), замещения части воды органическими растворителями (антифризами), например глицерином и др. В наземной среде низкие температуры успешнее переносят животные с мелкими размерами тела, благодаря чему они, обитая в ограниченных пространствах, способны использовать малейшие преимущества микроклимата (насекомые, клещи, пауки, круглые черви и др.).

Животные другой группы — *эндотермные (гомойотермные, или теплокровные)* — приобрели способность поддерживать температуру своего тела на постоянном уровне независимо от температуры внешней среды за счет тепла, образуемого самим организмом в ходе метаболических процессов. К этой группе принадлежат птицы и млекопитающие. Эндотермные организмы выработали разнообразные приспособления для поддержания постоянной температуры. Так, снижение теплоотдачи достигается у них развитым перьевым или волосным покровом, жировым слоем в подкожной клетчатке, сужением капилляров кожи. Увеличение теплоотдачи происходит за счет потоотделения, уменьшения густоты шерстного или перьевого покрова, тепловой одышки, расширения капилляров кожи, увеличения относительных размеров выступающих частей тела. Так, большие уши с сетью кровеносных сосудов служат американскому пустынному зайцу терморегуляторами. При необходимости увеличение теплопродукции достигается повышением потребления пищи. Благодаря высокой интенсивности обмена веществ, наличию мощного комплекса терморегулирующих средств эндотермные животные широко освоили разнообразные географические зоны нашей планеты.



Пустынный заяц

ВОДА КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

Вода является основной средой клетки, где осуществляются биохимические процессы, лежащие в основе ее жизнедеятельности. Особая роль воды для наземных организмов заключается в необходимости постоянного пополнения ее из-за потерь при испарении. Вся эволюция наземных организмов сопровождалась приобретением адаптаций к добычанию и сохранению влаги. Наконец, для большой группы растений, животных, микроорганизмов вода является непосредственной средой обитания.

Основной источник поступления воды в наземные местообитания — атмосферные осадки. Водообеспечение наземных организмов зависит также от наличия водоемов, уровня грунтовых вод, запасов почвенной влаги.

Обеспеченность влагой разных географических районов земного шара неодинакова. Так, в сухих, засушливых областях растения и животные испытывают недостаток влаги в течение большей части вегетационного сезона. Напротив, во влажных районах недостатка во влаге нет.

Большое влияние на водный режим местности оказывают *температура* и движение воздушных масс — *ветер*. При высоких температурах и ветре воздух и почва становятся суше, что вызывает повышение потерь воды у наземных организмов.

Исключительную важность приобретают сезонный режим выпадения осадков в течение года, а также суточные колебания.

Влажность воздуха и осадки обуславливают периодичность активной жизни организмов, распределение их по местам обитания, влияют на показатели смертности, плодовитости и др. Так, при наступлении сухого сезона в пустынях многие животные впадают в спячку и пробуждаются только после осенних дождей.

При ливневых затяжных дождях часто гибнет большое количество мелких животных, особенно насекомых, вымокают и погибают однолетние растения.

Влажность воздуха и осадки оказывают большое влияние на развитие грибковых и бактериальных заболеваний растений и животных и, следовательно, косвенным образом на их урожайность и численность. Так, в дождливое лето гриб фитопфтора наносит большой ущерб посадкам картофеля, томатов, резко снижая их продуктивность.

Из-за постоянной прикрепленности к субстрату и неспособности отыскивать подходящую среду для жизни растения обнаруживают более четкую зависимость от водного режима, чем животные.



Рис. 13.6. Гигрофиты: 1 — тростник обыкновенный; 2 — рогоз широколистный

Экологические группы растений по отношению к обеспеченности в воде.

По предпочтениям к местообитаниям с разными условиями увлажнения и наличию соответствующих приспособлений наземные растения подразделяют на три основные экологические группы: гигрофиты, ксерофиты и мезофиты.

Гигрофиты — растения избыточно увлажненных местообитаний с высокой влажностью воздуха и почвы. Для них характерно отсутствие приспособлений, ограничивающих расход воды, и неспособность переносить даже небольшой дефицит влаги. Типичные гигрофиты (рис. 13.6) — растения влажных тропических лесов, папирус, рис, прибрежные растения (рогоз, камыш, тростник), растения темнохвойных лесов (кислица, майник), верховых болот (пушица, роснянка, клюква) и др. Характерными анатомо-морфологическими чертами гигрофитов являются тонкие листовые пластинки с широко открытыми устьицами и крупными межклетниками, а также развитие у некоторых видов специальной воздухоносной паренхимы (рис. 13.7). Водопроводящая система растения развита слабо, корни тонкие, часто без корневых волосков, слаборазветвленные. К физиологическим адаптациям гигрофитов следует отнести низкое осмотическое давление клеточного сока, высокую интенсивность транспирации, а следовательно, незначительную вододерживающую способность.

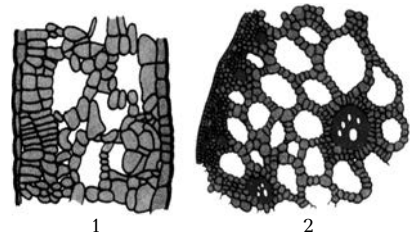


Рис. 13.7. Аэрехима (рыхлая ткань с системой межклетников) на поперечных срезах вегетативных органов прибрежных растений: 1 — лист; 2 — стебель

Ксерофиты — растения сухих местообитаний, способные переносить значительный недостаток влаги. Это растения пустынь, сухих степей, саванн, сухих субтропиков. В зависимости от особенностей анатомо-морфологических и физиологических адаптаций их разделяют на две группы: суккуленты (рис. 13.8) и склерофиты.

Суккуленты запасают в сочных мясистых листьях (агава, алоэ) или стеблях (кактусы, молочаи) большое количество воды. Во время редких дождей их поверхностно расположенные корни интенсивно всасывают воду, которая хранится в водоносной паренхиме. Экономный расход воды обеспечивается защитой эпидермиса растений восковым налетом, погруженными в ткань листа или стебля немногочисленными устьицами, которые в дневное время обычно закрыты.

Особенно много суккулентов в пустынях Центральной Америки и Южной Африки. В Беларуси на сухих песчаных склонах произрастают единичные виды, такие как молодило и очиток.



Рис. 13.8. Суккуленты: а — стеблевые; б — листовые

Склерофиты — это растения с мелкими, жесткими листьями, покрытыми толстой, препятствующей испарению воды кутикулой. Наиболее характерными растениями этой группы являются степные и пустынные полыни, ковыли, верблюжья колючка, астрагалы, саксаулы, чертополох. Они, в отличие от суккулентов, не накапливают в тканях воду, а интенсивно испаряют поглощаемую влагу. У них сильно развитая, проникающая на большую глубину до грунтовой воды корневая система (рис. 13.9) либо, напротив, поверхностная, способная улавливать редкие атмосферные осадки или утреннюю росу. Благодаря повышенному осмотическому давлению клеточного сока склерофиты развивают большую сосущую силу, поэтому их еще называют растениями-насосами.

При достаточном водообеспечении для склерофитов характерна интенсивная транспирация. Однако в периоды длительных летних засух интенсивность транспирации резко снижается. Этому способствуют анатомо-морфологические приспособления: мелкие, сухие, часто в виде игл или колючек листья, покрытые восковым налетом или жесткими волосками, а также погруженного типа устьица. К физиологическим адаптациям относятся большая вододерживающая способность клеток и тканей, достигаемая высокой вязкостью и эластичностью цитоплазмы, а также большая доля связанной воды. Это позволяет склерофитам переносить глубокое обезвоживание тканей (до 3/4 всего водного запаса) без потери жизнеспособности.

Мезофиты — растения местообитаний с умеренной увлажненностью почвы и воздуха. Они более требовательны к влаге, чем склерофиты, и менее, чем гигрофиты. К таковым относятся растения лугов, травянистого покрова лесов, лиственные древесные и кустарниковые породы из областей умеренного климата, большинство культурных растений. У растений-мезофитов умеренно развитая корневая система, имеются корневые волоски. Способность переносить недостаток влаги в воздухе и почве ограничена.

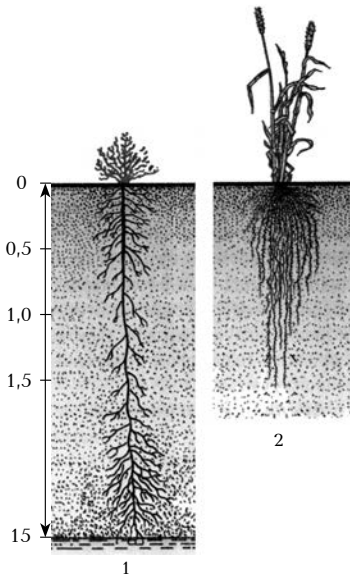


Рис. 13.9. Различные типы корневых систем пустынных растений: 1 — верблюжья колючка; 2 — злак

БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Каждый организм живет в окружении других живых существ, вступая с ними в разнообразные отношения. Такая связь является необходимым условием их выживания, так как обеспечивает возможность питания, размножения, защиты, расселения. Не все виды отношений между организмами в равной степени полезны каждой стороне. Некоторые формы взаимодействия приводят к угнетению одного из организмов, а нередко и к его гибели.

Живое окружение организма составляет его *биотическую среду*, а разнообразные отношения между живыми организмами называются *биотическими*. Среди большого разнообразия взаимоотношений между организмами наиболее значимыми являются конкуренция, хищничество и симбиоз (см. с. 420—425).

СРЕДЫ ЖИЗНИ

Водная среда. Из всего разнообразия условий на планете Земля можно выделить четыре основные среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную и непосредственно сам живой организм. Каждая из сред имеет комплекс характерных физических, химических и биологических свойств, присущих только ей.

Водная среда, или гидросфера. Гидросфера была первой из сред жизни, освоенной организмами. Это самая обширная среда обитания, занимающая 71 % площади нашей планеты.

Особенности гидросферы как среды обитания водных организмов, называемых *гидробионтами*, можно понять, лишь познакомившись с физическими свойствами воды. К числу главнейших свойств воды относится *плотность*, которая примерно в 800 раз превышает плотность воздуха. Следствием этого является наличие большого сопротивления движению гидробионтов, увеличение давления на них воды с возрастанием глубины, большая опорность, используемая водными организмами, а также высокая выталкивающая сила (архимедова сила) и вязкость.

Плотность воды зависит от *температуры*. Максимальная плотность, равная 1 г/см³, наблюдается при 4 °С. При повышении или понижении температуры плотность воды уменьшается. При замерзании вода расширяется, увеличивая свой объем примерно на 11 %. Благодаря этому свойству лед располагается на поверхности водоема, а более плотная вода с положительными температурами находится подо льдом. Самая плотная вода находится в придонной области (рис. 13.10), давая возможность жить донным организмам в зимнее время.

У воды одна из самых высоких величин *удельной теплоемкости* (в 500 раз больше, чем у воздуха), поэтому вода, медленно нагреваясь и медленно остывая, уменьшает амплитуду суточных и сезонных колебаний температуры, стабилизируя ее.

У воды высокая *теплопроводность* (в 30 раз выше, чем у воздуха), благодаря чему осуществляется равномерное распределение температуры в водной среде.

Вода — превосходный *растворитель* разнообразных минеральных веществ. В зависимости от количества растворенных солей выделяют пресные (до 0,5 г/л), солоноватые (0,5—16 г/л), морские (16—47 г/л) и пересоленные (47—350 г/л) воды. Природным водам свойствен определенный состав минеральных солей. Так, в пресных водах преобладают карбонаты, в морских — хлориды.

В воде растворяются и газы. Однако кислорода в воде содержится в 30 раз меньше, чем при той же температуре в равном объеме воздуха. При интенсивном развитии гидробионтов в ночное время, когда нет обогащения воды кислородом за счет фотосинтеза водных растений, может возникнуть его дефицит. Нередко это приводит к гибели водных организмов (например, заморы рыб), поэтому кислород в водной среде — лимитирующий фактор.

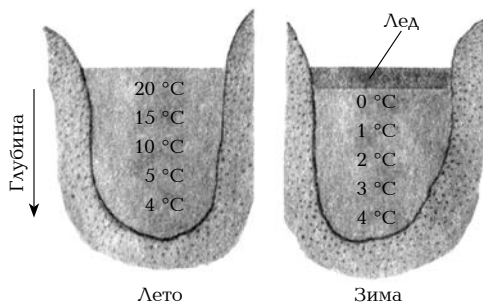


Рис. 13.10. Вертикальное распределение температуры в водоеме в разные сезоны года

Второй лимитирующий фактор — свет. Освещенность быстро снижается с увеличением глубины. Идеально чистые воды имеют прозрачность 40–60 м, а сильно загрязненные — не более 10 см (величину прозрачности определяют путем погружения белого диска в воду до предельной глубины его видимости). Наибольшее количество света получает поверхностный слой воды, в котором интенсивно осуществляется фотосинтез.

Адаптации живых организмов к водной среде. Главнейшими адаптациями водных организмов к жизни в водной среде являются следующие. Из-за низкого содержания кислорода в водной среде отсутствуют гидробионты с высоким уровнем процессов жизнедеятельности. Типичными ее обитателями являются организмы с непостоянной температурой тела,

относящиеся к группе эктотермных организмов. В периоды недостатка кислорода они способны снижать интенсивность процессов жизнедеятельности, многие из них — вплоть до состояния анабиоза. Высокоорганизованные теплокровные (животные с высоким уровнем процессов жизнедеятельности — киты, дельфины, тюлени, морские котики и др.) живут в водной среде только благодаря дыханию атмосферным воздухом, который они вдыхают, периодически поднимаясь из глубин к поверхности воды.

Адаптация гидробионтов к высокой плотности воды происходит по двум направлениям. Одни из них, в основном микроскопически мелкие, используют ее как опору и находятся в состоянии свободного парения благодаря приспособлениям, снижающим удельную массу тела (отсутствие утяжеляющего скелета, наличие капелек жира или воздуха и др.) либо увеличивающим трение поверхности тела о воду (мелкие размеры тела, выросты его покровов). Эти гидробионты образовали экологическую группировку, названную *планктоном* (гр. *planktos* — парящий, блуждающий) (рис. 13.11). Выделяют растительный (фитопланктон) и животный (зоопланктон) планктон. Для всех планктонных организмов характерно отсутствие способности противостоять течению воды.

Организмы другой экологической группировки гидробионтов, названной *нектоном* (гр. *nekτος* — плавающий), напротив, активно плавающие животные, способные преодолевать силу течения. Самыми типичными представителями этой группы являются рыбы и головоногие моллюски (рис. 13.12). Для них характерна обтекаемая форма тела, развитая мускулатура, позволяющая быстро передвигаться в водной среде.

Планктонные и нектонные организмы освоили толщу воды водоемов. Донную же область заселили организмы *бентоса* (гр. *bentos* — глубина). Многие из них имеют тяжелые известковые раковины (моллюски), мощную хитинизированную кутикулу (речной рак, крабы, омары, лангусты), органы прикрепления к грунту (присоски у пиявок, крючья у личинок ручейников, ризоиды и корни у растений).

Наземно-воздушная среда. Живые организмы в наземно-воздушной среде окружены воздухом. В отличие от воды он имеет низкую плотность и, как следствие, малую подъемную силу, незначительную опорность и низкую сопротивляемость при движении организмов. Наземные организмы живут в условиях сравнительно низкого и постоянного атмосферного давления, также обусловленного малой плотностью воздуха.

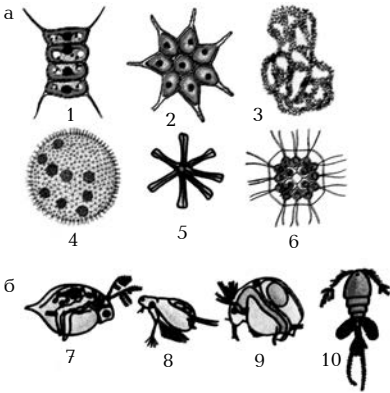


Рис. 13.11. Фитопланктон (а) и зоопланктон (б): 1 — сценедезмус; 2 — перидиниум; 3 — микроцистис; 4 — вольвокс; 5 — астерионелла; 6 — гониум; 7–9 — ветвистые рачки; 10 — циклоп

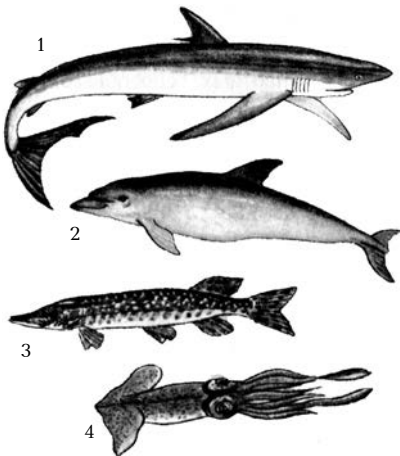


Рис. 13.12. Организмы нектона: 1 — акула; 2 — дельфин; 3 — щука; 4 — кальмар

Воздух обладает низкой теплоемкостью, поэтому он быстро нагревается и столь же быстро охлаждается. Скорость этого процесса находится в обратной зависимости от количества содержащихся в нем водяных паров.

Легкие воздушные массы имеют большую подвижность как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Это способствует поддержанию на постоянном уровне газового состава воздуха. Содержание кислорода в воздухе значительно выше, чем в воде, поэтому кислород на суше не является лимитирующим фактором.

Свет в условиях наземного обитания из-за высокой прозрачности атмосферы не выступает в качестве лимитирующего фактора, в отличие от водной среды.

Наземно-воздушная среда имеет разные режимы влажности: от полного и постоянного насыщения воздуха водяными парами в некоторых районах тропиков до практически полного их отсутствия в сухом воздухе пустынь. Велика также изменчивость влажности воздуха в течение суток и сезонов года. Влага на суше выступает в качестве лимитирующего фактора.

Для температурного режима суши, как и для влажности, характерна большая амплитуда колебаний. Особенно велика суточная и межсезонная изменчивость температуры в континентальных районах и пустынях, где воздух содержит мало влаги. Так, например, в пустынях Средней Азии суточный диапазон колебаний температуры воздуха достигает 25—38 °С.

Различные сочетания величин температуры, влажности, облачности, осадков, силы и направления ветров у земной поверхности создают разные *погодные условия*, воздействию которых подвергаются живые организмы. В различных географических районах складываются сходные условия, формирующие *климат местности*. На нашей планете существует большое разнообразие типов климата.

Большое значение для наземных организмов, особенно мелких, имеют локальные *микrokлиматические* условия в конкретном местообитании. Например, температура воздуха на обращенной к югу стороне дерева намного выше, чем на северной. Резко различаются температура, влажность, сила ветра, освещенность на открытых пространствах и в лесу, а зимой — на открытых участках почвы и под снегом, под слоем опавших листьев, в норах, дуплах, пещерах и т. п. Все это создает гораздо большее по сравнению с гидросферой разнообразие условий жизни в наземно-воздушной среде.

Адаптации организмов к обитанию в наземно-воздушной среде. Из-за наличия гравитации и отсутствия выталкивающей силы у наземных обитателей суши хорошо развиты опорные системы, поддерживающие их тела. У растений — это разнообразные механические ткани, особенно мощно развитые у деревьев. Животные в ходе эволюционного процесса выработали как наружный (членистоногие), так и внутренний (хордовые) скелеты. Некоторые группы животных имеют гидроскелет (круглые и кольчатые черви). Проблемы у наземных организмов с поддержанием тела в пространстве и с преодолением сил гравитации ограничили их предельную массу и размеры. Самые крупные животные суши уступают по размерам и массе гигантам водной среды (масса слона достигает 5 т, а синего кита — 150 т).

Низкая сопротивляемость воздуха способствовала прогрессивной эволюции систем передвижения наземных животных. Так, наиболее высокие скорости движения по суше приобрели млекопитающие, а птицы освоили воздушную среду, разлив способность к полету.

Большая подвижность воздуха в вертикальном и горизонтальном направлениях использовалась некоторыми наземными организмами на разных стадиях их развития для расселения с помощью воздушных потоков (молодые пауки, насекомые, споры, семена, плоды растений, цисты протистов).

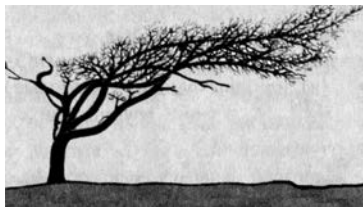


Рис. 13.13. Флаговая форма сосны

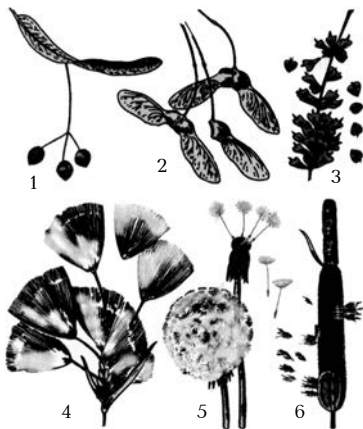


Рис. 13.14. Адаптация растений к рас-селению ветром: 1 — липа; 2 — клен; 3 — береза; 4 — пушица; 5 — одуван-чик; 6 — розог

В условиях постоянно господствующих ветров у многолетних растений выработалась морфологическая адаптация формы их тела (флаговая форма) (рис. 13.13). По аналогии с водными планктонными организмами в качестве приспособлений к пассивному парению в воздушной среде насекомые выработали сходные адаптации — мелкие размеры тела, разнообразные выросты, увеличивающие относительную поверхность тела или некоторых его частей. Семена и плоды, распространяемые ветром, имеют различные крыловидные и парашютовидные придатки, увеличивающие их способность к планированию (рис. 13.14).

Приспособления наземных организмов к сохранению влаги также разнообразны. Так, например, у насекомых — самого многочисленного класса наземных животных — тело надежно защищено от высыхания многослойной хитинизированной кутикулой, в наружном слое которой содержатся жиры и воскоподобные вещества.

Сходные водосберегающие приспособления в виде рогового покрова развиты у пресмыкающихся, которые совместно с насекомыми сумели заселить безводные местообитания.

Выработанная у наземных животных способность к внутреннему оплодотворению сделала их независимыми от наличия водной среды.

Наземно-воздушная среда жизни характеризуется рядом особенностей — низкой плотностью, малой подъемной силой, незначительной опорностью, низким сопротивлением. Воздух обладает низкой теплоемкостью и высокой подвижностью, что обуславливает быстрое изменение его температуры и влажности. Все это создает большее по сравнению с гидросферой разнообразие условий существования и, как следствие, разнообразие адаптаций организмов к обитанию в наземно-воздушной среде.

Почвенная среда. Почва представляет собой сложную систему, состоящую из твердых частиц, окруженных воздухом и водой. В зависимости от типа — *глинистая, песчаная, глинисто-песчаная* и др. — почва в большей или меньшей степени пронизана полостями, заполненными смесью газов и водными растворами. В почве, по сравнению с приземным слоем воздуха, сглажены температурные колебания, а на глубине 1 м неощутимы и сезонные изменения температуры.

Самый верхний горизонт почвы содержит большее или меньшее количество *перегноя*, от которого зависит продуктивность растений. Расположенный под ним средний слой содержит вымытые из верхнего слоя и *преобразованные вещества*. Нижний слой представлен *материнской породой*.

Вода в почве присутствует в пустотах, мельчайших пространствах. В почвенном воздухе присутствует также и пароводяная вода.

Состав почвенного воздуха резко меняется с глубиной: содержание кислорода уменьшается, а углекислого газа возрастает. При затоплении почвы водой или интенсивном гниении органических остатков возникают бескислородные зоны.

Таким образом, условия существования в почве на разных ее горизонтах различны.

Адаптации организмов к жизни в почве. Мелкие почвенные членистоногие (клещи, насекомые, многоножки) используют для передвижения по стенкам почвенных полостей коготки на лапках. Многие из них имеют несмазываемые покровы тела, снабженные волосками, чешуйками, которые позволяют переживать периоды затопления почвы в пузырьках воздуха.

Факторы, определяющие свойства почвы

Размер почвенных частиц

Состав почвенного воздуха

Содержание влаги

Соотношение органических и неорганических веществ

Более крупные почвенные животные, такие как личинки майского жука, дождевые черви, при передвижении испытывают сильное сопротивление со стороны почвы. Для раздвигания почвенных частиц у них выработалось приспособление в виде гидроскелета (дождевые черви) либо способность к изгибанию тела (круглые черви).

Некоторые средние по размерам (медведки) и крупные почвенные животные (кроты, слепыши) выработали эффективный способ передвижения в почве — рытье. Внешнее строение землероев разных таксономических групп характеризуется сходными признаками: компактным телом, копытельными конечностями, слабо развитыми органами зрения и др., что отражает их приспособленность к подземному образу жизни (рис. 13.15).

Организм как среда обитания. Многие организмы, как растительные, так и животные, и даже одни из самых мелких — бактерии, служат средой обитания для других организмов — **паразитов**. Паразиты на протяжении всей своей жизни или ее части пользуются органическими веществами другого живого организма, называемого **хозяином**. Таким образом, хозяин и является средой жизни паразита. Паразит может поселиться на поверхности тела хозяина или внутри него. В первом случае это явление называется **эктопаразитизмом**, во втором — **эндопаразитизмом**.

Адаптации к жизни в другом организме — паразитизму. Главнейшими приспособлениями к паразитизму являются следующие:

1) наличие органов прикрепления (присосок, кутикулярных крючков и др.), обеспечивающих связь паразита с организмом хозяина;

2) развитие специализированных покровов тела (кутикула и др.), защищающих эндопаразитов от воздействия пищеварительных ферментов хозяина;

3) способность к бескислородному (анаэробному) дыханию. Невысокая эффективность этого типа энергетического обмена компенсируется практически неиссякаемыми запасами углеводов, поставщиком которых является пища хозяина, и отсутствием затрат энергии на движение;

4) регрессивное развитие (упрощение) нервной системы и органов чувств. Укорачивается кишечник (круглые черви), либо пищеварительная система полностью утрачивается (ленточные черви), в результате чего растворенные питательные вещества всасываются всей поверхностью тела;

5) интенсивное развитие половой системы, появление у паразита способности размножаться уже на стадии личинки (например, у печеночного сосальщика) приводят к очень высокой половой продуктивности;

6) изменение форм размножения, т. е. возникновение гермафродитизма (плоские черви), обеспечивающее гарантию размножения при наличии даже единственной особи;

7) смена хозяев в жизненном цикле паразита: в организме основного хозяина живут взрослые особи, размножающиеся половым способом, в промежуточном хозяине развивается личинка и может происходить бесполое размножение. Это приспособление препятствует чрезмерному накоплению паразитов в организме хозяина и его гибели, а также способствует расселению паразитов.

Таким образом, познакомившись с особенностями условий четырех сред жизни, можно убедиться, что в результате длительного действия естественного отбора происходило совершенствование приспособлений, позволивших живым организмам успешно заселить каждую из сред.

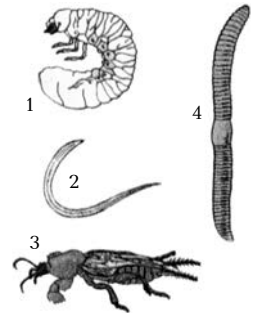


Рис. 13.15. Обитатели почвы: 1 — личинка хруща майского; 2 — круглый червь; 3 — медведка; 4 — дождевой червь

ГЛАВА 14

Вид. Популяция

ПОНЯТИЕ ВИДА

Vug (лат. *species* — взгляд, образ) — исторически сложившаяся совокупность популяций, особи которых обладают наследственным сходством морфологических, физиологических и биохимических особенностей, могут свободно скрещиваться и давать плодовитое потомство, приспособлены к определенным условиям жизни и занимают определенную область — ареал.

Особи, принадлежащие к одному виду, не скрещиваются с особями другого вида, характеризуются генетической общностью, единством происхождения. Вид существует во времени: он возникает, распространяется (в период расцвета), может сохраняться неопределенно долгое время в устойчивом, почти неизменном состоянии (реликтовые виды) или постепенно изменяться. Одни виды со временем исчезают, не оставляя новых ветвей, другие — дают начало новым.

Вид как таксономическая категория. Вид — основная категория биологической классификации. Понятие «вид» впервые было введено в конце XVII в. английским ботаником Джоном Реем (1627—1709), отметившим, что разные виды отличаются по внешнему и внутреннему строению и не скрещиваются между собой.

Большой вклад в дальнейшую разработку понятия «вид» внес шведский ученый Карл Линней (1707—1778). Согласно его представлениям, виды — объективно существующие в природе образования, и между разными видами в большей или меньшей степени имеются различия. Так, например, явно различаются между собой по внешним признакам медведь и волк, в то время как волк, шакал, гиена, лисица внешне более сходны, поскольку принадлежат к одному семейству — псовых. Еще в большей степени сходна внешность у видов одного рода (рис. 14.1). Вот почему вид начали рассматривать как основную классификационную единицу. Это имело огромное значение для развития систематики.

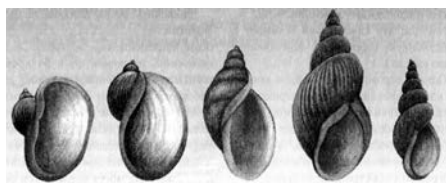


Рис. 14.1. Морфологические различия строения раковин моллюсков разных видов рода Прудник

Таким образом, с именем К. Линнея связано начало описания и классификации живых организмов. Эта работа продолжается и в настоящее время.

Критерии вида. Признаки, по которым один вид можно отличить от другого, называют критериями вида.

В основе *морфологического критерия* лежит сходство внешнего и внутреннего строения между особями одного вида. Этот критерий самый удобный и поэтому широко используется в систематике.

Однако особи в пределах вида иногда так сильно различаются, что только по морфологическому критерию не всегда удастся определить, к какому виду они относятся. Вместе с тем существуют виды морфологически сходные, но особи этих видов не скрещиваются между собой. Это виды-двойники,

которые исследователи открывают во многих систематических группах. Так, под названием «крыса черная» различают два вида-двойника, имеющих в кариотипах по 38 и 42 хромосомы. Установлено также, что под названием «малярийный комар» существует до 15 внешне неразличимых видов, ранее считавшихся одним видом. Около 5 % всех видов насекомых, птиц, рыб, земноводных, червей составляют виды-двойники.

В основу *физиологического критерия* положено сходство всех процессов жизнедеятельности у особей одного вида, прежде всего сходство размножения. Особи разных видов, как правило, не скрещиваются, или их потомство бесплодно. Например, у многих видов мухи дрозофилы сперма особей чужого вида вызывает иммунную реакцию, что приводит к гибели сперматозоидов в половых путях самки. В то же время в природе есть виды, особи которых скрещиваются и дают плодовитое потомство (некоторые виды канареек, зябликов, тополей, ив).

Географический критерий основан на том, что каждый вид занимает определенную территорию или акваторию, называемую ареалом. Он может быть большим или меньшим, прерывистым или сплошным (рис. 14.2). Однако огромное число видов имеет накладывающиеся или перекрывающиеся ареалы. Кроме того, существуют виды, не имеющие четких границ распространения, а также виды-космополиты, обитающие на огромных пространствах суши всех континентов или океана (например, растения пастушья сумка, одуванчик лекарственный, виды рдестов, ряски, тростника, животные-синантропы постельный клоп, рыжий таракан, комнатная муха), поэтому географический критерий, как и другие, не является абсолютным.

Экологический критерий основан на том, что каждый вид может обитать в определенном биогеоценозе. Так, например, лютик едкий произрастает на пойменных лугах, лютик ползучий — по берегам рек и канав, лютик жгучий — на заболоченных местах. Существуют, однако, виды, которые не имеют строгой экологической приуроченности. К ним относятся многие сорные растения, а также виды, находящиеся под опекой человека: комнатные и культурные растения, домашние животные.

Генетический (цитоморфологический) критерий основан на различии видов по кариотипам, т. е. числу, форме и размерам хромосом. Для подавляющего большинства видов характерен строго определенный кариотип. Однако и этот критерий не является универсальным. Во-первых, у многих видов число хромосом одинаково и форма их сходна. Например, некоторые виды семейства бобовых имеют 22 хромосомы ($2n = 22$). Во-вторых, в пределах одного и того же вида могут встречаться особи с разным числом хромосом, что является результатом геномных мутаций (поли- или анеуплоидия). Например, ива козья может иметь диплоидное (38) или тетраплоидное (76) число хромосом.

Биохимический критерий позволяет различать виды по составу и структуре определенных белков, нуклеиновых кислот и др. Особи одного вида имеют сходную структуру ДНК, что обуславливает синтез одинаковых белков, отличающихся от белков другого вида. Вместе с тем у некоторых бактерий, грибов, высших растений состав ДНК оказался очень близким. Следовательно, есть виды-двойники и по биохимическим признакам.

Таким образом, только учет всех или большинства критериев позволяет отличить особей одного вида от другого.

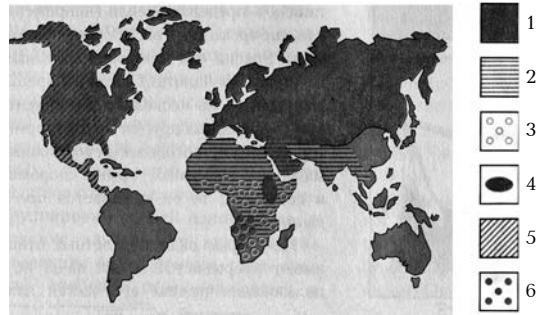


Рис. 14.2. Современные ареалы диких видов рода собак: 1 — волк; 2 — шакал; 3 — полосатый шакал; 4 — абиссинский волк; 5 — койот; 6 — красный волк

ПОПУЛЯЦИЯ — СТРУКТУРНАЯ ЕДИНИЦА ВИДА

Ареал вида. Особи одного вида встречаются на территориях, где они находят подходящие для жизни условия. Часть земной поверхности (или акватории), в пределах которой встречается данный вид, называется *ареалом* (лат. *area* — площадь, пространство) (см. рис. 14.2).

Размеры ареалов разных видов могут сильно различаться. У наземных малоподвижных видов, распространение которых ограничено какими-нибудь непреодолимыми преградами, ареал может занимать территорию всего в несколько квадратных километров и даже менее. К ним относятся островные или пещерные виды, обитатели горных долин или верхних зон горных хребтов. Например, живородящая рыба голомянка населяет только озеро Байкал, жуки жужелицы-брызгуны обитают на Кавказе в пределах одного-двух хребтов. Виды, имеющие узкий ареал распространения, называются *эндемичными*, или *эндемиками*.

Другие виды имеют обширные ареалы, нередко расположенные на нескольких материках (рис. 14.3). Например, на всех континентах встречаются жуки-навозники, соколы-сапсаны. Огромный ареал имеют подвижные морские животные — кашалот, серый дельфин, синий кит, касатка. Такое же широкое распространение свойственно многим растениям и животным, сопровождающим человека, — синантропным видам (вши, блохи, тараканы, крысы). Виды, ареалы которых расположены в пределах всех континентов, называются *всесветными*, или *космополитами*.

Ареал вида может быть *сплошным*, если особи вида встречаются во всех подходящих для жизни местообитаниях в пределах ареала, или *прерывистым*, если ареал распадается на несколько разобщенных и удаленных друг от друга территорий, между которыми невозможны миграции животных, обмен спорами или семенами.

Некоторые виды перелетных птиц имеют прерывистый ареал из-за использования разных его частей для размножения и зимовки. Такой ареал у аиста белого, который размножается в Европе, а зимует в Африке и Азии (см. рис. 14.3).

Главными причинами, которые влияют на формирование и особенности структуры ареала, являются экологическая пластичность вида, его способность к расселению и исторический возраст. В формировании ареалов синантропных видов роль человека является определяющей.

Популяция — структурная единица вида. Ареалов, сплошь заселенных тем или иным видом, в природе не существует. В пределах ареала особи данного вида осваивают лишь подходящие для их жизни местообитания. Степень заполнения занимаемого пространства у разных видов различна. Однако в нем всегда выделяются «пустоты» и скопления. Иными словами, ареал состоит из более или менее многочисленных участков, на которых и встречается определенный вид. Например, колонии крота европейского, хорошо заметные по холмикам земли, обитают на лесных опушках и лугах; ель обыкновенная произрастает преимущественно в низинах со значительно увлажненной почвой.

Скопления особей одного вида по численности могут быть большими или малыми, существовать длительно (столетия и более) или на протяжении жизни всего двух-трех поколений, после чего они, как правило, погибают от любых случайностей, погодных условий и др. Для судьбы вида гораздо более важную роль играют те группы особей, которые устойчиво сохраняются на протяжении жизни



Рис. 14.3. Ареал аиста белого

многих поколений. Численность особей в таких группах может значительно увеличиваться при благоприятных условиях и снижаться при неблагоприятных, однако они имеют шансы к длительному существованию на данной территории. Такие группировки (совокупности) особей одного вида, длительно населяющих определенную часть ареала, свободно скрещивающихся друг с другом и дающих плодовитое потомство, относительно обособленные от других совокупностей этого же вида, называются *популяцией* (лат. *populus* — народ, население). Благодаря пространственной разобщенности популяций вид приспособлен к существованию в разнообразных условиях среды. Таким образом, популяция является внутривидовой группировкой и, следовательно, конкретной формой существования вида, а сам вид — сложной биологической системой.

Структурная организация популяций. Каждая популяция любого вида как биологическая система обладает определенной структурой. Под *структурой популяции* понимается конкретное количественное соотношение особей, отличающихся по морфологическим и физиологическим признакам, возрасту, полу, характеру распределения в пространстве и другим свойствам.

Основными параметрами популяции являются прежде всего ее численность и плотность.

Численность — общее количество особей в популяции. Она не бывает постоянной, так как изменчивы условия среды обитания популяции. Численность популяции зависит от соотношения интенсивности размножения (плодовитости) и смертности. В процессе размножения происходит рост популяции, смертность же приводит к сокращению ее численности. Для каждой популяции есть верхний и нижний пределы численности, которые можно измерить, изучив ее сезонные и межгодовые изменения.

Плотность популяции — это количество особей или их биомасса на единице площади или объема (например, 150 растений сосны на 1 га; 3 циклопа на 1 м³ воды). Плотность популяции также изменчива и зависит от численности. При возрастании численности плотность не увеличивается лишь в том случае, если возможно расселение популяции, расширение ее ареала.

Повышение плотности сверх оптимальной неблагоприятно сказывается на состоянии популяции, поскольку при этом иссякает кормовая база, сокращается жизненное пространство и т. д.

Уменьшение плотности ниже оптимальной приводит к ослаблению защитных реакций популяции, снижает ее плодовитость, что в конечном итоге может привести к вымиранию популяции.

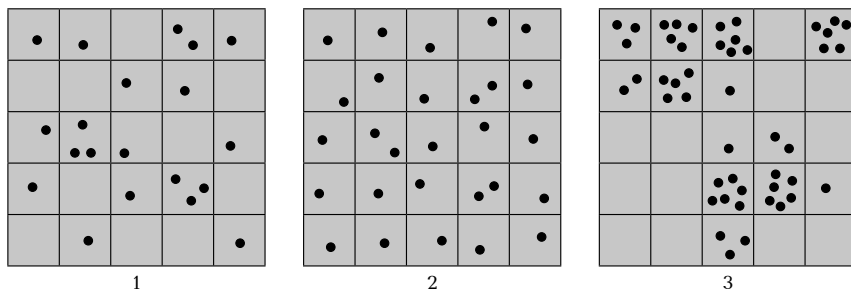
Общую численность популяции оценивают разными методами. Для подсчета особей популяций крупноразмерных организмов, таких как слоны, буйволы, олени, применяют *метод тотального подсчета*, используя фотосъемку территории с самолета или вертолета с последующим просчитыванием на фотографии всех запечатленных на ней особей данного вида. Численность популяций, состоящих из мелких животных, чаще всего определяют *методом выборки*. Для этого подсчитывают плотность организмов в разных участках местообитания популяции и, умножив среднюю величину плотности на площадь или объем, занимаемый популяцией, получают ее общую численность.

Пространственное распределение представляет собой особенности размещения особей популяции на занимаемой территории. Оно определяется степенью однородности среды обитания, наличием пригодных для жизни участков, а также биологическими особенностями вида, поведением его особей. Знание типа распределения организмов позволяет правильно оценить плотность популяции методом выборки.

Природным популяциям свойственны три типа распределения особей: случайное, равномерное (регулярное) и групповое (агрегированное) (рис. 14.4).



Рис. 14.4. Типы пространственного распределения особей в популяции: 1 — случайное; 2 — равномерное; 3 — групповое



Случайное распределение особей наблюдается в однородной среде обитания, при невысокой численности популяции и отсутствии у особей стремления образовывать группы (например, у планарий, гидр). В природе этот тип распределения встречается редко.

Равномерное распределение характерно для видов, отличающихся жесткой конкуренцией между особями за одинаковые ресурсы и сильным территориальным инстинктом (хищные рыбы, млекопитающие, птицы, пауки).

Агрегированное (групповое) распределение встречается в природе наиболее часто. Оно выражается в образовании группировок особей, между которыми остаются значительные незаселенные территории. Причинами агрегированности особей могут быть неоднородность среды и ограниченность пригодных для жизни местообитаний, особенности размножения, стремление к жизни в группе. Жизнь в группе (семье, стаде, стае, колонии) облегчает защиту от хищников, поиск и добывание корма. У растений групповое распределение определяется главным образом способом размножения и расселения семян и плодов. Например, тяжелые плоды, падая рядом с материнским растением и в последующем прорастая, образуют группу рядом растущих дочерних растений.

Возрастная структура отражает соотношение различных возрастных групп в популяции (рис. 14.5), а также сезонную и межгодовую динамику этого соотношения. В популяции обычно выделяют три экологических возраста: предрепродуктивный (до созревания), репродуктивный (в период зрелости) и пострепродуктивный (старческий). При благоприятных условиях в популяции присутствуют все возрастные группы и поддерживается более или менее стабильный уровень численности. Несмотря на присутствие в популяции всех возрастных групп, соотношение между ними меняется и за-

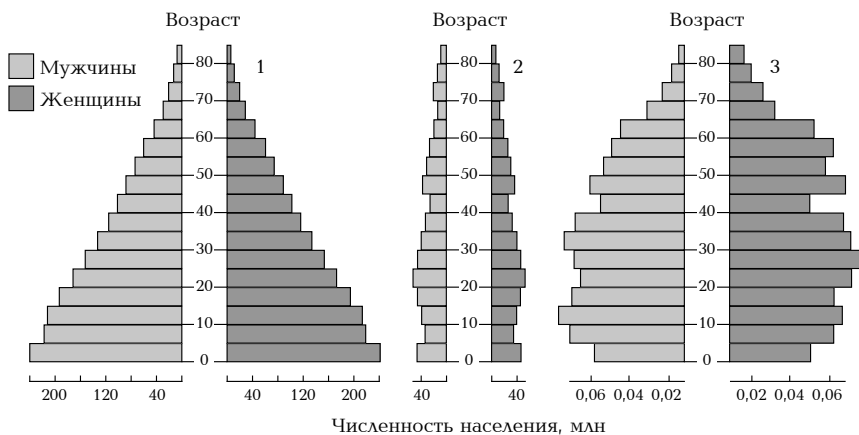


Рис. 14.5. Половозрастные пирамиды населения: 1 — растущая популяция; 2 — стабильная популяция; 3 — стареющая популяция

висит от числа потомков в помете, количества пометов за сезон, времени наступления половозрелости, продолжительности репродуктивного периода особей, продолжительности их жизни и других факторов. Так, например, в популяциях мелких грызунов велика доля особей младших возрастных групп, в то время как для крупных видов (слоны, киты и др.) она мала.

В сокращающихся популяциях преобладают старые особи, уже не способные размножаться. Такая возрастная структура свидетельствует о неблагоприятных условиях существования популяции.

Изучение распределения организмов по возрастам имеет большое значение в прогнозировании численности популяций на протяжении жизни ряда ближайших поколений. Такие исследования позволяют планировать, например, промысел рыб или пушных зверей на ряд лет вперед.

Половую структуру формирует соотношение полов в популяциях с раздельнополыми особями (см. рис. 14.5). К ним относятся большинство животных и все двудомные растения. Изменение половой структуры популяции отражается на ее роли в экосистеме, так как самцы и самки многих видов имеют различия в характере питания, ритме жизни, поведении. Так, самки некоторых видов комаров, клещей и мошек являются кровососущими, в то время как самцы питаются соком растений или нектаром. Повышение доли половозрелых самок приводит к более интенсивному росту популяции за счет рождения большего количества молоди.

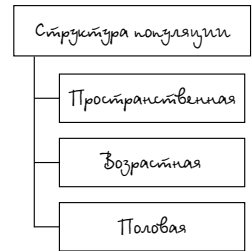
Рождаемость характеризует частоту появления новых особей в популяции за счет размножения. Различают абсолютную и удельную рождаемость.

Абсолютная рождаемость — это количество особей, рожденных в популяции за единицу времени, например за год, месяц, сутки. Однако величина абсолютной рождаемости находится в прямой зависимости от численности популяции, поэтому определяют **удельную рождаемость** — количество особей, рожденных в популяции за единицу времени в расчете на одну особь (или на тысячу особей). Показатель удельной рождаемости удобен тем, что позволяет сравнивать скорость рождаемости в разных популяциях независимо от различий в их численности.

Смертность (абсолютная и удельная) — показатель, противоположный рождаемости.

Величины рождаемости и смертности изменчивы во времени и зависят от возрастной и половой структур популяции, обеспеченности пищей и ряда других факторов.

Соотношение между величинами рождаемости и смертности определяет **динамику численности популяции**. Так, если величина рождаемости выше показателя смертности, то численность популяции будет возрастать и, наоборот, снизится, если смертность превысит рождаемость. В случае равенства величин рождаемости и смертности численность популяции будет поддерживаться на постоянном уровне.



ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ И ЕЕ РЕГУЛЯЦИЯ

Численность популяций не остается постоянной, так как меняются условия их существования. Возникающие изменения численности популяций во времени называются **динамикой численности**. Ее изучение важно для прогноза перспектив дальнейшего существования популяций и оценки их роли в природных сообществах.

Диапазон колебаний численности популяций зависит от степени изменчивости абиотических и биотических факторов, а также от биологических особенностей конкретного вида (плодовитости, скорости смены поколений, возраста достижения половой зрелости особей и др.). Самые большие диапазоны колебаний численности характерны для мелких быстро размножающихся организмов — бактерий, инфузорий, насекомых, грызунов.

Типы динамики численности. Выделяют сезонный, многолетний, периодический и устойчивый типы динамики численности.

Сезонный тип динамики численности характерен для видов с резко изменчивой плотностью популяций в течение одного сезона. Он свойствен небольшим по размеру организмам, которые дают многочисленное и быстро созревающее потомство и поэтому способны в короткий срок резко увеличить свою численность. К таким организмам относятся представители планктона — дафнии, циклопы, коловратки, а среди наземных — многие виды насекомых, грызунов и однолетних травянистых растений. Например, домашние мухи появляются весной после зимовки в небольшом количестве, однако потомство одной их пары при средней плодовитости самки около 100 яиц за 5—6 поколений может быть очень многочисленным. В действительности этого не происходит из-за гибели значительной части отложенных яиц, личинок и куколок. И тем не менее численность мух от поколения к поколению сильно увеличивается.

Многолетний тип динамики численности охватывает период в несколько лет и характеризуется фазой минимума, или депрессии, фазой подъема, или нарастания, и фазой максимума, или массовой вспышки, после которой численность снижается, и многолетний цикл повторяется вновь (рис. 14.6). У разных видов продолжительность полного цикла различна и охватывает период от 2 до 10 лет. Такой тип динамики численности имеют саранча, колорадский жук, обитатели тундры — лемминги. Знание циклов динамики численности видов-вредителей позволяет прогнозировать их массовое появление и рассчитывать время для более эффективной борьбы с ними.

Устойчивый тип динамики численности характерен для видов с более или менее постоянной численностью в течение длительного периода времени. Этот тип динамики свойствен, как правило, крупным животным с большой продолжительностью жизни, поздним наступлением половозрелости, дающим малочисленное с высокой выживаемостью потомство. Примером могут служить копытные, китообразные, крупные орлы, некоторые пресмыкающиеся.

Изменение численности сопровождается перестройкой возрастной структуры. Когда численность увеличивается, что происходит при наличии достаточного количества необходимых ресурсов (пищи, пространства), отмечается возрастание доли молодых особей (т. е. значительно возрастает рождаемость как абсолютная, так и относительная). Рост численности популяции в конечном счете приводит к уменьшению ресурсов, необходимых особям. Спад численности сопровождается уменьшением доли особей младших возрастов и повышением смертности и продолжается вплоть до наступления следующего благоприятного периода, обуславливающего очередное увеличение численности.

Причины динамики численности. Факторы, вызывающие изменение численности, разнообразны. Их подразделяют на две группы: независимые и зависимые от плотности популяции.

К *независимым от плотности популяции* относят преимущественно абиотические факторы. Они действуют на популяцию при любой ее численности. Например, особо суровые зимы вызывают гибель зимующих особей

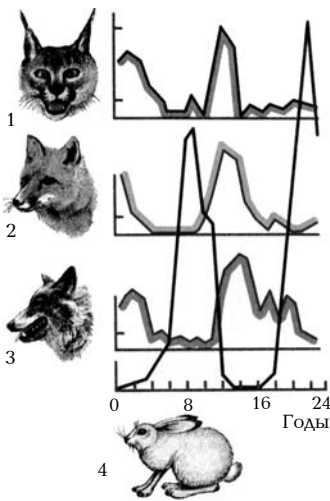


Рис. 14.6. Динамика численности популяций хищника и жертвы: 1 — рысь; 2 — лисица; 3 — волк; 4 — заяц

капустной белянки независимо от того, большое или малое количество особей составляет эту популяцию в данный зимний период, или, наоборот, благоприятные условия зимовки могут способствовать повышению численности особей как в малочисленных популяциях, так и в больших. Следовательно, разнообразные абиотические факторы среды могут вызвать значительные колебания численности популяции.

К *зависимым от плотности популяции* принадлежат биотические факторы — естественные враги (хищники, паразиты, возбудители болезней) и пищевые ресурсы. Их количество изменяется вместе с изменением численности популяции. Установлено, что, как только плотность популяции того или иного вида хищников увеличивается, численность популяции его основной жертвы начинает снижаться (см. рис. 14.6). Такой же эффект на популяцию хозяина оказывают и паразиты. Как правило, чем выше плотность популяции, тем сильнее влияние этих факторов. Без них численность популяции могла бы неограниченно увеличиваться, что привело бы к полному уничтожению источников корма. Таким образом, особенность действия факторов, зависящих от плотности, заключается в сглаживании резких колебаний численности, благодаря чему численность популяции колеблется возле какого-то среднего уровня.

Одним из механизмов регулирования численности является *плодовитость*. Она снижается при уменьшении пищевой обеспеченности, что наблюдается при увеличении численности популяции (рис. 14.7). Снижение плодовитости особей приводит к снижению рождаемости, а следовательно, к замедлению темпов роста популяции.

Важную роль в регуляции плотности популяции играют *поведенческие факторы*. Наличие у особей определенного вида своего индивидуального участка, который обозначается разными способами (моча, секрет пахучих желез, царапины на деревьях, звуки и др.), ограничивает рост численности их популяций, так как особи, не имеющие собственного участка, не участвуют в размножении.

Таким образом, популяции подвержены воздействию комплекса абиотических и биотических факторов, которые приводят в действие механизмы регуляции их численности. По этой причине в не нарушенных деятельностью человека природных сообществах редко происходят неудержимый рост численности, истощение ресурсов и гибель популяций.

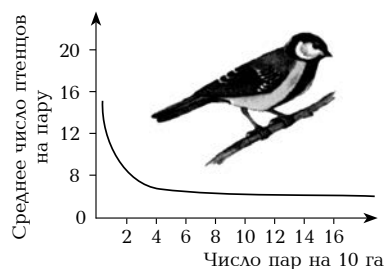


Рис. 14.7. Зависимость рождаемости от плотности популяции большой синицы

ГЛАВА 15

Экосистема — основная структурная единица биосферы

БИОЦЕНОЗ И БИОТОП — ВЗАИМОСВЯЗАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭКОСИСТЕМЫ

Биоценоз. Известные каждому из нас моря, озера, реки, болота, степи, пустыни, сосновые и еловые леса и многие другие природные комплексы отличаются друг от друга характерным для них набором живых организмов, обитающих совместно. Впервые на эту особенность обратил внимание немецкий биолог Карл Август Мебиус (1825—1908), изучая жизнь устричных поселений на мелководьях Северного моря, и в 1877 г. дал им название биоценоз (гр. *bios* — жизнь и *koinos* — общий). **Биоценоз** — это исторически сложившаяся группировка растений, животных, грибов и микроорганизмов, взаимодействующих между собой и приспособленных

к совместному обитанию на относительно однородном жизненном пространстве (участке суши или водоема).

Составными частями биоценоза являются относительно постоянная на определенном пространстве совокупность растений — **фитоценоз** (гр. *phyton* — растение), животных (гр. *zoon* — животное) — **зооценоз**, грибов — **микоценоз** (гр. *mykes* — гриб) и микроорганизмов — **микробоценоз** (рис. 15.1).

Связь между организмами разных видов необходима для осуществления важнейших процессов жизнедеятельности — питания, размножения, сохранения потомства, расселения и др.

Биотоп. Никакой биоценоз не может развиваться сам по себе, независимо от среды и вне ее. Каждый биоценоз развивается в пределах однородного пространства, которое характеризуется определенным сочетанием физико-химических условий среды, таких как количество приходящей солнечной радиации, температура, влажность, состав почвы, ее кислотность, рельеф местности и др. Участок пространства (суши или водоема) с однородными условиями обитания,

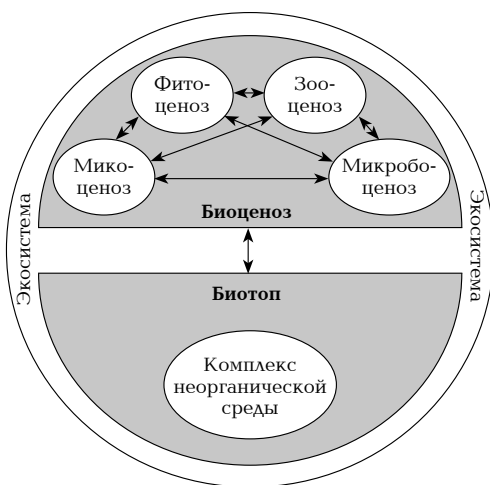


Рис. 15.1. Биоценоз в экосистеме

занимаемый тем или иным биоценозом, называется **биотопом** (гр. *bios* — жизнь и *topos* — место). Это может быть участок суши или водоема, берег моря или склон горы. Биотоп — неорганическая среда, которая является необходимым условием существования биоценоза. Значит, между биоценозом и биотопом существует тесное взаимодействие. Именно особенности условий в биотопе определяют возможности заселения его определенной группировкой живых организмов, т. е. биоценозом. Например, разные зоны водоема: открытые илистые или песчаные грунты, приливно-отливные участки побережья, глубинные области дна или толщи воды — будут населены свойственными только им комплексами живых организмов. Так, в прибрежной зоне озера произрастают крупные полупогруженные растения — камыш, тростник, а также погруженные растения, например рдесты. На больших глубинах они отсутствуют из-за недостатка света. Комплекс животных — зооценоз, обитающих в этих разных зонах озера, также будет различаться между собой. Дно прибрежных зон будет заселено беззубками, перловицами, личинками стрекоз, поденок, ручейников, а на дне глубинных биотопов, где содержание кислорода невелико, будут преобладать малочетинковые черви трубочники, личинки комаров — мотыли.

Масштабы биоценозов могут быть различны — от мелких сообществ, например моховых кочек на болоте, разлагающегося пня, до крупных — ковыльной степи, соснового леса, верхового или низинного болота, реки, озера, моря.

Связи организмов в биоценозах. Формирование биоценозов происходит за счет образования сложных многообразных связей между организмами разных видов. Эти связи определяют отличительные особенности биоценоза: видовой состав и соотношение между видами, распределение особей в пространстве, специфику питания организмов и участие их в биологическом круговороте веществ. Взаимосвязи между организмами в биоценозе могут быть **прямыми** и **косвенными**.

Выделяют четыре типа **прямых** связей: трофические, топические, форические и фабрические.

Трофические (гр. *tropho* — питание) **отношения** возникают тогда, когда организмы одного вида в биоценозе питаются другими, либо мертвыми остатками особей этих видов, либо продуктами их жизнедеятельности. Например, божьи коровки, питающиеся тлей, сумчатый медведь коала, поедающий листья эвкалиптов, лев, убивающий антилопу, жук-навозник, потребляющий навоз копытных животных, клещ-пухоед, питающийся перьями птиц.

Топические (лат. *topos* — место) **отношения** формируются, когда организмы создают местообитания для жизни других видов или меняют условия их обитания. Например, деревья в лесу служат местом кормежки и постройки гнезд для многих птиц; на листьях живут тли и гусеницы, под корой — личинки жуков короедов; обвивают стволы деревьев лианы, вынося свои листья к свету. Задерживая часть солнечных лучей, влияя на температуру и влажность, деревья меняют условия обитания живущих под их пологом травянистых растений.

Фабрические (лат. *fabrikatio* — изготовление) **отношения** образуются тогда, когда организмы одного вида используют для построения своих сооружений (фабрикаций) продукты выделения либо мертвые остатки организмов другого вида. Так, птицы применяют для постройки гнезд сухие веточки, шерсть млекопитающих, траву и листья растений, пух и перья своего и других видов птиц и т. п. Личинки ручейников строят свои домики из кусочков коры, листьев растений, стеблей тростника, пустых раковин мелких видов моллюсков.

Форические (гр. *phora* — ношение) **отношения** выражаются в участии организмов одного вида в распространении другого вида или отдельных стадий его развития (спор, семян, плодов). Если в роли транспортировщиков спор, семян, плодов выступают различные животные, то такой вид форических

отношений называется **зоохория** (гр. *zoon* — животное и *choreo* — передвижение). Семена и плоды могут переноситься животными активно при их поедании с последующим выделением в неперевааренном виде с пометом. Пассивно переносятся соплодия, плоды или семена, прикрепленные к животному с помощью специальных и разнообразных зацепок, крючков, выростов либо с комочками почвы, ила, прилипшими к животному. Плоды и семена распространяются также животными, делающими запасы корма.

Перенос одними животными других, более мелких, называется **форезия**. Этот вид расселения распространен преимущественно среди членистоногих, для которых собственные возможности к расселению ограничены и преодоление значительных расстояний невозможно (перенос жуками-навозниками клещей, мухами — круглых червей и т. п.). Рыбы-прилипалы перемещаются, прикрепившись к более крупным водным животным.

Примерами **косвенных** межвидовых отношений могут служить следующие. Насекомоядные птицы не питаются растениями, но поедают многих мелких насекомых, которые кормятся листьями или опыляют цветки. Поедая насекомых-опылителей, птицы косвенно воздействуют на число производимых деревом плодов. Этим они влияют на количество пищи, доступной животным, которые питаются плодами и проростками, на хищников и паразитов этих животных и т. д.

Все перечисленные типы взаимоотношений между организмами разных видов важны для биоценоза, однако трофические и топические связи имеют наибольшее значение и составляют основу его существования. Именно эти отношения удерживают организмы разных видов друг возле друга, объединяя их в достаточно стабильные сообщества разного масштаба, способные противостоять различным внешним воздействиям.

ВИДОВАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Под видовой структурой **биоценоза** понимают разнообразие составляющих его видов и соотношение между ними по числу особей или биомассе.

Организмы разных видов имеют неодинаковые требования к среде, поэтому формирование видового состава и его структуры в биоценозах происходит за счет наиболее приспособленных из них к конкретным условиям биотопа. Вследствие этого разные биоценозы насыщены жизнью в разной степени.

Для оценки видовой структуры биоценоза используют такие показатели, как **видовое богатство** (общее число видов в биоценозе), **обилие** (количество особей каждого вида на единицу площади или объема занимаемого пространства), **биомасса** (сухая масса организмов вида в расчете на единицу площади или объема), **частота встречаемости** (процентное отношение числа проб или учетных площадок, где встречается вид, к общему числу отобранных проб или учетных площадок) и ряд других показателей.

Характерный набор видов является отличительным признаком биоценоза. В его состав входят как высокоспециализированные виды, способные существовать только в условиях данного биоценоза, так и виды с более широким спектром потребностей, которые могут быть членами и других биоценозов. Наличие общих видов в разных биоценозах создает некоторую степень сходства между ними, которую экологи оценивают специальными методами. Большая или меньшая степень видового сходства разных биоценозов основана на сходстве условий биотопа, на котором обитает биоценоз. Большее

сходство наблюдается между биоценозами, расположенными в сходных широтных зонах планеты.

Анализ видовой структуры биоценозов разных географических зон планеты показал, что они образованы разным числом видов. Так, видовой состав биоценозов приполярных регионов беден из-за значительного недостатка тепла и короткого вегетационного сезона. Бедны видами также биоценозы жарких пустынь из-за дефицита влаги. Невелик видовой состав и в тех биоценозах, которые часто находятся под воздействием ежегодного затопления при разливе рек, при осушении болот либо регулярном применении химических средств защиты растений и т. п. Очень ограничены числом видов искусственные биоценозы — фруктовые сады, поля, засеянные культурными растениями, парки.

Напротив, биоценозы, где условия абиотической среды близки к оптимальным для жизни, имеют в своем составе большое число видов. Примерами могут служить биоценозы влажных тропических лесов, в которых на 1 га только древесных пород можно насчитать до 200 видов. Биоценоз же соснового леса в условиях Беларуси может включать максимум до 10 видов деревьев на 1 га. Огромным видовым разнообразием обладают биоценозы коралловых рифов.

Богатство видového состава зависит также и от возраста биоценоза. Так, молодые, формирующиеся биоценозы, значительно беднее числом видов, чем уже сложившиеся, зрелые. Каждый из вас мог наблюдать, что в молодых посадках сосны, в отличие от сложившегося соснового леса, встречаются буквально единичные экземпляры других видов растений, грибов, животных. В дальнейшем по мере увеличения возраста биоценозов их видовое богатство возрастает.

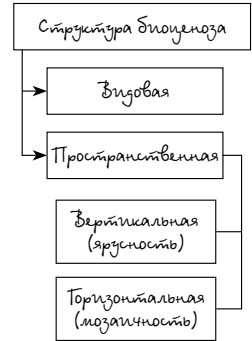
Изучение частоты встречаемости организмов разных видов в биоценозах выявило важную закономерность: наибольшей частотой встречаемости обладает небольшое число видов. Такие преобладающие по числу особей или биомассе виды называются **доминантными** (лат. *dominantis* — господствующий), или **доминирующими**. Так, например, в видовой структуре растительности высокотравной степи Оклахомы 84 % травостоя занято 9 видами, в то время как на долю остальных 20 видов приходится всего 16 %.

Доминантные виды есть практически в любом биоценозе, кроме влажных тропических лесов. Так, в средней полосе Европы в еловых лесах по численности среди пород деревьев преобладает ель, в травяном покрове — кислица, зеленый мох, среди мышевидных грызунов — полевки. Эти виды занимают большую часть пространства, оставляя меньше места для других видов.

Однако не у всех доминантных видов одинаковое влияние на биоценоз. Среди них выделяются те, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают особую среду для других организмов всего сообщества. Такие виды называются **эдификаторами**, т. е. создателями, строителями сообщества. Примерами эдификаторов в биоценозах являются растения: в лесах — ель, дуб; в степях — ковыль, типчак; на низинных болотах — осоки; верховых болотах — сфагновый мох.

Рассмотрим на примере елового леса воздействие эдификатора — ели на изменение условий среды в биоценозе. В ясные летние дни под пологом елового леса освещенность в 1,5—2,0 раза, а температура воздуха на 0,2—0,6 °C ниже, чем под широколиственными деревьями. Под густые кроны ели проникает в 2,0—2,5 раза меньше атмосферных осадков, чем под кроны дуба, осины, березы. При этом дождевые воды, стекающие с крон ели, имеют кислую реакцию (pH 3,5—4,0). Опад под елью состоит из хвои, которая очень медленно разлагается, в результате чего под елью формируется мощная подстилка с очень низким содержанием необходимого для произрастания всех растений гумуса.

Следовательно, в процессе своей жизнедеятельности ель настолько изменяет условия среды, что данный биотоп становится непригодным для существования многих видов живых организмов. Здесь поселяются только



те виды (например, кислица, майник двулистный, зеленый мох), которые приспособлены к жизни в таких условиях.

Эдификаторами могут быть и животные. Например, на территориях, занятых колониями сурков, именно их деятельность определяет в основном характер ландшафта, микроклимат почвы и условия произрастания травянистых растений.

Кроме относительно небольшого числа видов-доминантов, в состав биоценоза входит обычно множество малочисленных и редких форм, которые создают его видовое богатство, увеличивают разнообразие связей между организмами и служат резервом для пополнения и замещения доминантных видов, при условии смены среды. Эти виды придают биоценозу устойчивость и обеспечивают его функционирование в разных условиях. Следовательно, чем больше видовое разнообразие, тем полнее используются ресурсы среды обитания и тем стабильнее биоценоз.

Богатый видами, сложно организованный биоценоз успешно противостоит вселению в него чужих видов, входящих в состав других биоценозов, так как для них нет свободных «вакансий». Насыщенные жизнью биоценозы более успешно справляются и с различными токсическими воздействиями по сравнению с обедненными биоценозами, так как чувствительность организмов разных видов к токсикантам различная. За счет увеличения доли видов, менее чувствительных к токсическим воздействиям, в биоценозе перестраивается видовая структура и соотношение их численностей, что повышает возможность к выживанию. Аналогичная перестройка происходит и в случае возникновения засушливых периодов, которые биоценоз переносит с помощью возрастания доли организмов более засухоустойчивых видов. Таким образом, прослеживается прямая зависимость между видовой насыщенностью биоценоза и его способностью противостоять различным внешним влияниям.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Распределение организмов разных видов в биоценозе не случайно. Они размещаются там, где находят наилучшее сочетание необходимых для их жизни условий. В биотопе, на котором обитают организмы биоценоза, условия не могут быть абсолютно одинаковыми. Разные его участки в большей или меньшей степени различаются элементами минерального питания и их доступностью, режимом влажности и освещения, силой ветра и рядом других факторов, в создании которых не последнюю роль играют сами растения биоценоза. Благодаря их совместному воздействию формируется закономерное распределение организмов разных видов в пространстве, называемое *пространственной структурой*.

В биоценозе выделяют вертикальную и горизонтальную структуры распределения организмов.

Вертикальная структура биоценоза образована отдельными его особыми слоями, называемыми ярусами. Определяющую роль в формировании ярусности играют растения. **Ярусы** — отдельные слои растительного сообщества, выделенные по высоте входящих в них растений (или по глубине проникновения корней в почву) и положению ассимилирующих (листья, стебли) и запасающих подземных органов (клубни, корневища, луковицы и т. п.). Как правило, разные ярусы образованы разными жизненными формами растений — деревьями, кустарниками, кустарничками, травами, мхами. Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах, в состав которых входят растения всех жизненных форм.

Основной фактор, определяющий вертикальное распределение растений в биоценозе, — количество света, обуславливающее различия в световом, температурном режимах, а также в обеспеченности влагой организмов, живущих на разных уровнях от поверхности почвы.

Высокие растения верхних ярусов более светолюбивы, чем низкорослые, и лучше них приспособлены к значительным колебаниям температуры и влажности воздуха; нижние ярусы образуют менее требовательные к свету растения.

Ярусы особенно хорошо выражены в лесах умеренного пояса (рис. 15.2). Например, в широколиственном лесу можно выделить 5—6 ярусов: первый (верхний) ярус образуют деревья первой величины (дуб черешчатый, липа сердцевидная, вяз гладкий и др.); второй — деревья второй величины (рябина обыкновенная, дикие яблоня и груша, черемуха и др.); третий — подлесок, представленный кустарниками (лещина обыкновенная, крушина ломкая, бересклет европейский и др.); четвертый — высокими травами (чистец лесной, крапива и др.) и кустарничками (черника); пятый — низкими травами (осока волосистая, копытень европейский); в шестом ярусе царствуют мхи и лишайники.

В нижнем ярусе, куда проникает всего 7—10 % солнечного света, могут произрастать только теневыносливые кустарнички и травы. Для многих из них характерна такая адаптивная морфологическая особенность «теневых» растений, как широкая и тонкая листовая пластинка, позволяющая растениям увеличить освещаемую поверхность и тем самым в известной мере компенсировать недостаток света. Облегчает проникновение света внутрь листа и анатомическое строение «теневых» растений: отсутствие столбчатой паренхимы, рыхлое расположение клеток губчатой паренхимы, наличие крупных межклетников. Увеличить поглощение света растениям нижних ярусов помогает также темная окраска их листьев, обусловленная большим содержанием хлорофилла. Так, в хлоропластах копытня, сныти, медуницы его содержится в 5—10 раз больше, чем у травянистых растений открытых местообитаний.

Выживанию лесных трав в нижнем пологе способствует также своеобразный сезонный ритм фотосинтеза. Основная фотосинтезирующая работа совершается у них в ранневесенний период, когда листья на деревьях только начинают распускаться, в лесу еще достаточно света, в почве велики запасы влаги, а температурный фон уже вполне летний. В это время одно- и многолетние растения с коротким временем вегетации (30—50 дней) образуют основные запасы органических веществ в подземных органах, за счет которых затем живут остальную часть года. Таковы растения рода хохлатка, лук медвежий (черемша), чистяк, ветреница лютиковая и др. Следовательно, весенний пик фотосинтезирующей деятельности растений представляет собой сезонную адаптацию, обеспечивающую им возможность жить в самых затененных участках леса.

Животные также распределяются в соответствии с тем либо другим ярусом (рис. 15.3). В почве живут почвенные круглые и кольчатые черви, личинки многих видов насекомых, землеройные

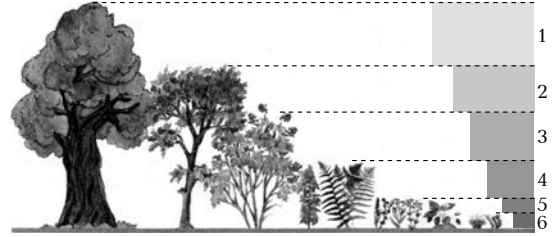


Рис. 15.2. Схема ярусности в биоценозе лиственного леса



Рис. 15.3. Распределение животных по ярусам

животные. В листовом опаде, на поверхности почвы обитают различные виды многоножек, жукелиц, клещей и других мелких животных. Среди птиц есть виды, гнездящиеся только на земле (фазановые, тетеревиные, трясогузки, коньки, овсянки), в кустарниковом ярусе (дрозды, славки, снегири) или в кронах деревьев (зяблики, щеглы, королики, крупные хищники). Есть и четкая приуроченность к определенным ярусам у разных видов птиц в отыскании корма (рис. 15.4).

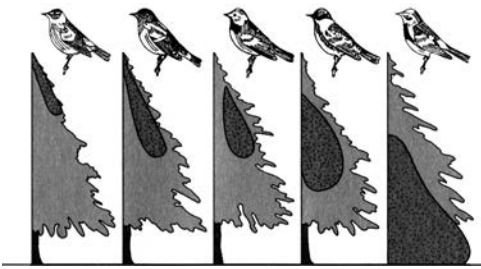


Рис. 15.4. Питание разных видов славков в различных ярусах древостоя

Ярусность наблюдается также и в водных биоценозах. Разные виды планктона держатся на разной глубине, в зависимости от освещенности, а разные виды рыб — в зависимости от того, где они находят для себя корм.

Горизонтальная структура биоценоза, или мозаичность, свойственна практически всем биоценозам. Мозаичность выражается в неравномерном распределении организмов биоценоза и наличии в нем группировок (сгущений) разного масштаба, различающихся видовым составом, количественным соотношением видов и другими свойствами.

Мозаичность обусловлена рядом причин: неоднородностью микрорельефа, почв, средообразующим влиянием растений и их биологическими особенностями. Она может возникать в результате деятельности животных (образование выбросов почвы и их последующее зарастание, образование муравейников, вытаптывание и стравливание травостоя копытными и др.) или человека (выборочная рубка, кострища и др.), вследствие вывалов деревьев во время ураганов и т. п.

Наличие мозаичности играет значимую роль в жизни биоценоза. Мозаичность позволяет организмам более полно использовать малейшие различия местообитаний, заселить их разными видами, делает их взаимозависимыми, повышает эффективность использования пищевых и пространственных ресурсов. Это ведет к возрастанию как разнообразия видов, так и их численности, что отражается на устойчивости биоценоза и его жизнеспособности.

ЭКОСИСТЕМА. БИОГЕОЦЕНОЗ. СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМЫ

Экосистема представляет собой совокупность живых организмов (биоценоз) и среды их обитания (биотоп), в которой осуществляется круговорот веществ и поддерживается устойчивость в течение определенного времени. Термин «экосистема» предложил английский ботаник Артур Тенсли в 1935 г. Он считал экосистемы основными природными единицами на Земле. Примером экосистем является любое отчетливое объединение растений, животных, грибов, микроорганизмов с общим участком среды обитания, функционирующее как единое целое за счет обмена веществом и энергией. В экосистеме обе ее части — биоценоз и биотоп — влияют друг на друга и необходимы для поддержания жизни в том виде, в каком она существует на Земле.

Понятие «экосистема» можно применять к группировкам разной сложности и размера. Экосистемы по размерам могут быть небольшими (гниющий пень или дерево в лесу, прибрежные заросли водных растений, аквариум),

средними (болото, сосновый лес) и большими (океан, море, пустыня, тундра, тайга). Для всех них характерны три признака:

1) экосистема обязательно представляет собой совокупность живых и неживых компонентов;

2) в границах экосистемы осуществляется более или менее полный цикл круговорота веществ, начиная чаще всего с создания органического вещества и заканчивая его разложением на минеральные составляющие;

3) экосистема сохраняет устойчивость в течение определенного времени.

Биогеоценоз. Параллельно с развитием понятия «экосистема» в первой половине XX в. развивалось учение о биогеоценозах. Термин **биогеоценоз** (гр. *bios* — жизнь, *ge* — земля, *koinos* — общий) предложил в 1940 г. советский ученый академик Владимир Николаевич Сукачев (1880—1967).

Биогеоценоз — это совокупность растений, животных, грибов и микроорганизмов, почвы и атмосферы на однородном участке суши, которые объединены обменом веществ в единый природный комплекс. Как и экосистема, биогеоценоз включает живую часть, или биоценоз, и неживую составляющую, которую слагают факторы данного биотопа. Однако, несмотря на сходство понятий «биогеоценоз» и «экосистема», они не имеют абсолютного тождества между собой.

Основная отличительная особенность биогеоценоза заключается в том, что его протяженность четко определяется границами наземного растительного сообщества — фитоценоза. Например, легко различимы между собой биогеоценозы соснового и елового или широколиственного леса. Там, где нет четко выраженного фитоценоза, нет и биогеоценоза. Понятия «экосистема» и «биогеоценоз» тождественны только для таких природных образований, как луг, лес, поле и др. (лесной биогеоценоз = лесная экосистема, луговой биогеоценоз = луговая экосистема), четко очерченных границами фитоценоза. Для природных образований, меньших или больших по размерам, чем фитоценоз, либо там, где выделить фитоценоз невозможно, применяется понятие «экосистема». Как экосистему, а не как биогеоценоз рассматривают, например, гниющий пень в лесу. Экосистемами являются озеро, море, океан, тундра, влажный тропический лес, так как они представляют собой более крупные образования, чем биогеоценоз. Биогеоценоз — это экосистема в границах фитоценоза, поэтому любой биогеоценоз является экосистемой, но не любая экосистема будет биогеоценозом.

Таким образом, экосистема — образование безранговое, более общее, а биогеоценоз является частным случаем экосистемы. Именно поэтому экосистемы, а не биогеоценозы рассматривают в качестве основных кирпичиков, слагающих живой покров нашей планеты, ее миниатюрными моделями. Совокупность всех экосистем нашей планеты создает гигантскую глобальную экосистему, называемую биосферой.

Экосистемы формируются на любом участке земной поверхности, сухопутном и водном как естественным образом, так и искусственно с помощью человека, например агроэкосистемы (фруктовые сады, поля зерновых культур, парки и т. п.).

Структура экосистемы. Рассмотрим компоненты экосистемы на примере пруда.

1. **Абиотическое окружение (биотоп)**, т. е. весь комплекс факторов неживой природы, откуда организмы биоценоза черпают ресурсы для существования и куда выделяют продукты обмена.

В пруду абиотическое окружение — это вода, ее плотность и давление на разных глубинах, перемешиваемость, растворенные в ней кислород, углекислый газ и различные минеральные соли, тепловое состояние воды и атмосферы над водой и ее перепады в разное время суток и времен года и др.

2. Биотический компонент (биоценоз). В него входят:

а) **продуценты (производители)** — комплекс автотрофных организмов, который образует первичное органическое вещество и снабжает им все остальные организмы биоценоза. Это фотоавтотрофные растения, протисты, цианобактерии и хемоавтотрофные бактерии.

В пруду продуценты представлены крупными полупогруженными и погруженными растениями мелководий, мелкими планктонными протистами и цианобактериями — фитопланктоном. При изобилии фитопланктона вода приобретает зеленый цвет («цветение»);

б) **консументы (потребители)** — совокупность гетеротрофных организмов, питающихся готовыми органическими веществами, произведенными другими организмами. К ним относятся все животные, которые извлекают необходимую энергию из готовой пищи, поедая растения или других животных. К консументам относятся и бесхлорофильные растения-паразиты, которые питаются за счет органических веществ растений-хозяев. В наших лесах произрастают такие растения-паразиты, как Петров крест, заразиха полевая, повилка.

В пруду консументами являются гетеротрофные протисты, гидры, личинки насекомых, планарии, малощетинковые и круглые черви, планктонные и донные ракообразные, моллюски, рыбы;

в) **редуценты (консументы-разрушители)** — комплекс организмов, разлагающих мертвое органическое вещество растительного, животного или иного происхождения до простых неорганических соединений. Они представлены разнообразными видами сапротрофных бактерий и грибов.

Между всеми четырьмя элементами экосистемы прослеживается закономерная связь (рис. 15.5).

Наиболее разнообразной по видам трофических связей является группа консументов. Среди них есть **биофаги** (организмы, которые питаются живым органическим веществом) и **сапрофаги** (использующие для питания органические вещества отмерших организмов). Среди биофагов, в свою очередь,

есть **фитофаги** — растительноядные виды животных (первичные консументы), **хищники** (вторичные консументы) и конечные потребители — **сверххищники** (третичные консументы).

Каждый живой организм или их совокупность выполняет определенную биологическую функцию, которая либо начинает какой-то процесс, либо является его промежуточным звеном, либо завершает его, т. е. формируется своеобразный биологический конвейер. Такая последовательная, согласованная и взаимосвязанная деятельность живых организмов Земли, находящаяся в самой тесной связи с ее основными факторами физического, химического, биологического характера, и создает сложную организацию жизни — экологическую систему.

Устойчивость экосистем. Экосистемы являются чрезвычайно сложными динамичными природными образованиями, которые состоят из многих сотен и даже тысяч видов продуцентов, консументов и редуцентов, объединенных пищевыми связями и непищевыми взаимодействиями. Длительное существование



Рис. 15.5. Связи в экосистеме

экосистем поддерживается за счет притока солнечной энергии и круговорота веществ. Экосистемы обладают **устойчивостью**, т. е. способностью выдерживать внешние воздействия с последующим восстановлением свойственной им структуры. Степень устойчивости напрямую связана со степенью давления внешних факторов, а также с биологическим разнообразием и сложностью пищевых и разнообразием других видов связей.

ЦЕПИ И СЕТИ ПИТАНИЯ. ТРОФИЧЕСКИЕ УРОВНИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПИРАМИДЫ

В развитых, сложившихся экосистемах существуют сложные пищевые взаимодействия между авто- и гетеротрофными организмами, в результате которых одни организмы поедаются другими. Таким образом осуществляется цепной процесс переноса вещества и энергии в экосистемах, лежащий в основе круговорота веществ в природе. Перенос вещества и энергии от ее источника — автотрофов — к потребителям-гетеротрофам, происходящий в результате последовательного поедания одними организмами других, называется **пищевой цепью**.

Простейшая пищевая цепь в водной экосистеме может начинаться с усваивающего солнечную энергию фитопланктона, который поедают мелкие первичные консументы — планктонные ракообразные, например дафнии, потребляемые, в свою очередь, вторичными консументами — хищными рачками циклопами, а циклопы — третичными консументами — рыбами, например плотвой, которая может служить пищей более крупному хищнику — щуке или судаку — четвертичному консументу.

Однако такие пищевые цепи в чистом виде в природе встречаются редко. Например, дафнию может съесть плотва, а плотва может быть съедена выдрой или хищной рыбоядной птицей скопой. Следовательно, одни и те же организмы могут входить в состав разных пищевых цепей. Это объясняется тем, что большинство животных питается организмами не одного какого-либо вида, а многими. В результате в экосистеме образуются сложные **пищевые сети**. Сложность их значительно возрастает, если принять во внимание наличие у членов цепей питания — организмов-хозяев — своих специфических паразитов, которые, в свою очередь, являются звеньями других цепей.

Пастбищные и детритные пищевые цепи. Пищевые цепи, которые начинаются с автотрофных фотосинтезирующих организмов, называются **пастбищными**, или **цепями выедания** (рис. 15.6, 15.7). Примером может служить пастбищная пищевая цепь луга. Предположим, что она начинается с цветкового растения. Бабочка, питающаяся нектаром цветка, представляет собой второе звено в этой цепи. Стрекоза — хищное летающее насекомое — нападает на бабочку. Спрятавшаяся среди зеленой травы

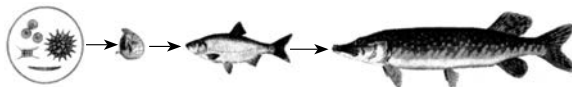


Рис. 15.6. Пастбищная пищевая цепь пресного водоема

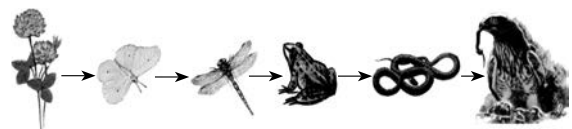


Рис. 15.7. Пастбищная пищевая цепь луга

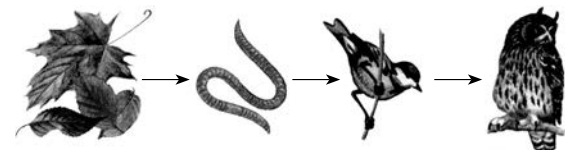


Рис. 15.8. Детритная пищевая цепь

лягушка ловит севшую стрекозу, но сама служит добычей для такого хищника, как уж. В конце дня сам уж был съеден хищной птицей змееедом.

Пищевая цепь, идущая от растения через бабочку, стрекозу, лягушку, ужа к змеееду, указывает путь направления движения органических веществ, а также содержащейся в них энергии.

Если пищевая цепь начинается с отмерших остатков растений, трупов и экскрементов животных, т. е. с детрита, она называется **детритной**, или **цепью разложения** (рис. 15.8). Детритные цепи характерны для экосистем дна глубоких озер, морей, где жизнь поддерживается за счет оседания детрита — трупного «дождя», образованного организмами, населяющими освещенные верхние слои водоема. Распространены детритные цепи также в лесах, где большая часть (свыше 90 %) ежегодного прироста живой массы растений не потребляется непосредственно растительноядными животными. Отмершая масса образует опад, который разлагается затем сапротрофными организмами с последующей минерализацией редуцентами.

Типичным примером детритной пищевой цепи наших лесов является следующая: листовая подстилка — многоножки — черный дрозд — ястреб-перепелятник. Кроме многоножек, детритофагами являются дождевые черви, мокрицы, круглые черви и др.

Таким образом, поток энергии, входящий в экосистему, разделяется на два основных русла, поступая к консументам либо через живые ткани растений, либо через запасы детрита. При этом в разных экосистемах соотношение величин двух потоков различно. В водных экосистемах через пастбищные пищевые цепи проходит в среднем до 40 % первичного органического вещества, в то время как в наземных экосистемах эта величина составляет всего около 7 %. Это означает, что роль детритофагов в наземных экосистемах гораздо большая, чем в водных.

Трофические уровни. Экологические пирамиды. Организмы, составляющие пищевые цепи и получающие пищу через равное количество звеньев этой цепи, принадлежат к одному **трофическому уровню**. Например, первый трофический уровень экосистемы образуют все автотрофные организмы (продуценты) независимо от их таксономической принадлежности, второй — все консументы 1-го порядка, питающиеся организмами автотрофного звена. Третий трофический уровень образуют организмы, которые питаются консументами 1-го порядка, и т. д.

Такая последовательность и соподчиненность связанных в форме трофических уровней групп организмов представляет собой поток вещества и энергии в экосистеме, основу ее функциональной организации.

В результате последовательной передачи вещества и энергии по трофическим уровням в каждой экосистеме устанавливается свойственная ей определенная **трофическая структура** (рис. 15.9). Ее обычно изображают в виде **экологической пирамиды**, графическую модель которой предложил в 1927 г. американский эколог Чарльз Элтон. Основанием пирамиды служит первый трофический уровень — уровень продуцентов, а следующие этажи пирамиды образованы последующими уровнями — консументами разных порядков (рис. 15.10).

Различают три способа построения экологических пирамид.

1. Пирамида **чисел** (**численностей**) отражает соотношение численностей организмов каждого трофического уровня экосистемы. Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо по крайней мере несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться. Чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных растений.

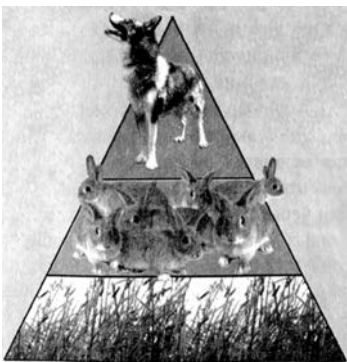


Рис. 15.9. Пищевая пирамида

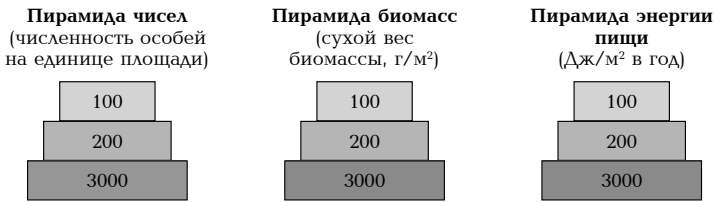


Рис. 15.10. Типы экологических пирамид

Пирамида численностей не дает истинных соотношений между трофическими уровнями, если относящиеся к ним организмы сильно различаются по размерам. Например, если продуценты представлены крупными формами, например деревьями, то численность их в экосистеме будет меньшей, чем в случае, если бы продуценты были травянистыми растениями. Соотношения между количеством гусениц жуков-листоедов, питающихся листьями деревьев, и крупных копытных млекопитающих, поедающих травянистые растения, будут совершенно разными. В первом случае пирамида численностей будет перевернутой: численность гусениц будет большей, чем численность деревьев.

2. Пирамида *биомасс* отражает соотношение между трофическими уровнями, выраженное в биологической массе, имеющейся на данный момент в экосистеме. Биомассу выражают в граммах, килограммах, тоннах сырого или сухого вещества на единицу пространства — квадратные метр, километр, гектар, метр кубический и т. п. Найденная величина биомассы при необходимости затем переводится на все пространство экосистемы.

Рассчитанные этим способом величины соотношений между трофическими уровнями также зависят от размеров входящих в них организмов, как и в пирамиде чисел. Если продуценты представлены организмами мелких размеров, то пирамида будет перевернутой, т. е. биомасса продуцентов будет меньше биомассы консументов.

3. Пирамида *энергии пищи*, или *рациона*, является наиболее правильным способом нахождения истинных соотношений между трофическими уровнями, так как в ее основе лежат функциональные показатели. На структуру экосистемы в большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи. Эта форма выражения соотношений между трофическими уровнями не зависит от размеров организмов, и пирамида всегда будет иметь широкое основание внизу и узкое вверх.

Закономерность количественных соотношений между организмами разных трофических уровней установил в 1942 г. американский эколог Р. Линдеман. Он сформулировал *правило пирамиды энергии (правило 10 %)*, согласно которому с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10 % энергии предыдущего уровня. Остальная часть энергии теряется в виде теплового излучения, затрат на движение и т. д. Организмы в результате поддержания процесса жизнедеятельности в каждом звене пищевой цепи теряют около 90 % всей энергии.

Приведем упрощенный пример действия правила 10 %. Если на первом автотрофном звене трофической пирамиды растениями образовано, допустим, 1000 Дж энергии, то при полном поедании ее травоядными животными (консументами 1-го порядка) в теле последних останется только 100 Дж, в теле хищника (консумента 2-го порядка) — лишь 10 Дж, а если этот хищник будет съеден другим (консументом 3-го порядка), то на его долю придется только 1 Дж. Таким образом, запас энергии, накопленный зелеными растениями, в цепях питания стремительно иссякает.

Другой пример. Если заяц съел 10 кг растительной массы, то его собственная масса может увеличиться на 1 кг. Лисица или волк, поедая 1 кг зайчатины, увеличивают свою массу уже только на 100 г. У древесных растений эта доля ниже из-за того, что древесина плохо усваивается организмами, ее потребляющими. Для трав и водорослей эта величина значительно больше, поскольку у них отсутствуют трудно усваиваемые ткани. Однако общая закономерность процесса передачи энергии сохраняется: через верхние трофические уровни ее проходит значительно меньше, чем через нижние.

Вот почему цепи питания обычно не могут иметь более 3—5 (редко 6) звеньев, а экологические пирамиды не могут состоять из большого числа этажей. К конечному звену пищевой цепи, как и к верхнему этажу экологической пирамиды, будет поступать так мало энергии, что ее не хватит на осуществление процессов жизнедеятельности большого числа организмов.

Эту закономерность легко объяснить, проследив, куда тратится энергия потребленной пищи (*C*). Часть ее идет на построение новых клеток, рост тканей, т. е. на прирост (*P*). Часть энергии пищи расходуется на обеспечение энергетического обмена или на дыхание (*R*). Поскольку усвояемость пищи не может быть полной, т. е. 100 %, часть неусвоенной пищи в виде экскрементов удаляется из организма (*F*). Балансовое равенство будет выражаться следующим образом:

$$C = P + R + F.$$

С учетом того, что энергия, затраченная на дыхание, не передается на следующий трофический уровень и уходит из экосистемы, становится понятным, почему каждый последующий уровень всегда будет меньше предыдущего.

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

Одним из основных свойств живых организмов является способность к размножению и росту, в результате которых создается новая биомасса в биоценозах. Это свойство лежит в основе понятия продуктивности экосистем.

Биомасса и продукция. Для характеристики экосистемы и происходящих в ней процессов важнейшими показателями являются биомасса и продукция.

Биомасса — выраженное в единицах массы количество живых организмов, приходящихся на единицу пространства (например, г/м², г/м³, кг/га, т/км² и др.). Для сопоставимости биомасс разных организмов ее чаще всего выражают в сухой массе.

Различают растительную массу — **фитомассу**, животную — **зоомассу**, **бактериомассу** либо биомассу каких-либо конкретных групп или организмов отдельных видов.

Биомассы разных экосистем значительно различаются. Наибольшую величину они имеют в экосистемах влажных тропических лесов и наименьшую — в пустынях и тундре.

Биомасса не остается постоянной, ее величина меняется в зависимости от сезона года, степени выедания ее консументами разных порядков, миграции животных и других причин. Например, в условиях Республики Беларусь самая низкая величина биомассы травянистых многолетних растений бывает ранней весной, поздней осенью и зимой, так как она в это время представлена только их подземными органами. В период с мая по сентябрь ее величина будет значительно большей за счет развития надземных частей растения.

Примером изменчивости зоомассы донных сообществ водных экосистем может служить ее резкое уменьшение в период массового вылета взрослых комаров из водоемов в конце мая — начале июня, а затем медленное ее возрастание к осени за счет выхода личинок из яиц, отложенных самками комаров в водоем, и их последующего роста.

Прирост биомассы за определенный период времени на единице пространства называется **биологической продукцией**. Она выражается в тех же единицах, что и биомасса, но с указанием времени, за которое она создана (например, 10 кг сухой массы/га за месяц).

Различают два вида продукции — первичную и вторичную.

Первичная продукция — прирост биомассы автотрофных организмов на единице пространства за единицу времени. Первичной она называется потому, что образована из неорганических веществ в процессе фото- или хемосинтеза. Это важный параметр, так как им определяется общее количество органического вещества, за счет которого могут существовать и создавать продукцию все гетеротрофные звенья экосистемы.

Основными первичными продуцентами на планете Земля являются зеленые растения и цианобактерии, образующие суммарно около 98 % всего органического вещества. Эффективность, с которой солнечная энергия преобразуется ими в энергию химических связей органических молекул в процессе фотосинтеза, составляет около 1 %.

Общее количество продуктов фотосинтеза, образованных за определенный отрезок времени на единице пространства, называется **валовой первичной продукцией (ВПП)**. Значительная ее часть (примерно 20—60 %) используется самим фотоавтотрофным организмом на дыхание, транспирацию и другие нужды (**R**). Разница между **ВПП** и **R** называется **чистой первичной продукцией**. Ее можно легко учесть. Для этого необходимо собрать, высушить и взвесить растительную массу, например, при уборке урожая. Только чистая первичная продукция доступна для использования в пищевых цепях консументами.

Ежегодно на планете в процессе фотосинтеза создается около 150 млрд т сухой органической массы. Это верхний предел органической пищи, которым могут располагать гетеротрофные организмы.

Разные экосистемы различаются по скорости образования первичной продукции. Наиболее продуктивными являются экосистемы влажных тропических лесов с ежегодной продукцией сухой массы до 3 кг/м², а также субтропических лесов — до 2,5 кг/м². Леса средних широт продуцируют около 1 кг/м² сухой массы в год. Невысока продукция зон открытого океана, равная примерно 0,5 кг/м². Самую низкую продукцию, около 0,1 кг/м² в год, имеют пустыни и тундры.

Вторичная продукция — это биомасса, созданная гетеротрофными организмами за единицу времени на единице пространства. Расчет прироста биомассы производят отдельно для каждого трофического уровня. Это обосновано тем, что при движении вещества и энергии от одного трофического уровня к другому вторичная продукция образуется за счет поступления органического вещества с предыдущего уровня. На прирост биомассы гетеротрофы, как и автотрофы, используют не всю энергию потребленной пищи, поскольку часть ее они расходуют на энергетический обмен и выводят из организма с экскрементами. При усилении физической нагрузки (например, во время миграции птиц, млекопитающих) значительная часть энергии потребленной пищи затрачивается на возросший энергетический обмен. Доля использованной пищи на прирост зависит также и от возрастного состава организмов в популяции: чем больше доля младших возрастных групп, способных к росту, тем выше полезная продукция (прирост) сообщества. Повышение доли особей старших возрастов, не способных к росту, увеличивает

расходы потребленной пищи на энергетический обмен, снижая этим чистую вторичную продукцию сообщества.

Вторичная продукция в экосистемах значительно меньше первичной, что объясняется потерями энергии при передаче ее с одного уровня на другой, а также неполным потреблением растительноядными организмами продукции растений. Уже указывалось, что в наземных экосистемах в пастбищных пищевых цепях потребляется только около 7 % продукции растений, а в водных — примерно 40 %. Оставшаяся несъеденная часть продукции растений после отмирания поступает в детритные цепи разложения.

Общую продуктивность экосистемы нельзя вычислять как простую арифметическую сумму первичной и вторичной продукции, потому что прирост вторичной продукции всегда происходит за счет потребления какой-то части как первичной, так и вторичной. С учетом этого оценку продуктивности экосистем всегда производят только по величинам первичной продукции.

БИОТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ОРГАНИЗМОВ В ЭКОСИСТЕМАХ

Конкуренция

Конкуренция. Особи одного или разных видов могут иметь сходные потребности, удовлетворение которых необходимо для их жизни. Однако их суммарные потребности в каком-то ресурсе могут в данный момент времени превышать его запас. В таком случае возникает **конкуренция** — взаимодействие (соревнование) между особями, вызванное сходными потребностями в ограниченном ресурсе и приводящее к снижению выживаемости, скорости роста и размножения конкурирующих особей.

В качестве ресурса для животных могут выступать различные пищевые объекты, пространство для закрепления на субстрате, удобные для устройства гнезд места, норы, половой партнер. Для жизни растений ими являются элементы минерального питания, влага, свет, тепло и т. п.

Если конкурирующие особи принадлежат к одному виду, то взаимоотношения между ними называют **внутривидовой конкуренцией**, если же они относятся к разным видам — **межвидовой**.

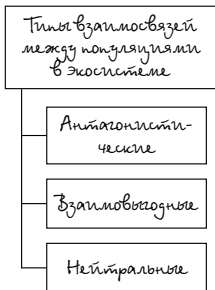
Различают две формы внутривидовой и межвидовой конкуренции: прямую и косвенную.

Прямая конкуренция — непосредственное отрицательное влияние, подавление, вытеснение одних особей другими. Оно может выражаться в разных формах взаимного угнетения: драки, перекрытие доступа к ресурсу, химическое подавление конкурента и т. п.

Примерами прямой конкуренции могут служить обостренные отношения в водоемах между двумя видами раков — узкопалым и широкопалым. Чаще всего узкопалый рак, как более плодовитый и приспособленный к разнообразным условиям водной среды, вытесняет широкопалого.

Аналогичный результат вытеснения европейской норки американской наблюдается в настоящее время в лесах Европы, куда она была вселена (акклиматизирована). Обладая большими размерами тела, плодовитостью и скоростью роста, она быстрее, чем европейская, увеличивает свою численность, что приводит к сокращению ареала распространения европейской норки.

Формой конкуренции среди растений является химическая атака разнообразными выделяемыми токсическими веществами, подавляющими рост



растений других видов. Так, например, разлагающиеся листья каштана выделяют в почву токсические соединения, подавляющие рост сеянцев многих видов деревьев. Лещина и дуб своими корневыми выделениями часто угнетают рост травянистых растений под их кроной.

Некоторые виды растений, нетребовательные к высокому содержанию азота в почве, способны подавлять корневыми выделениями деятельность азотфиксирующих бактерий и таким образом «закреплять» за собой бедные азотом почвы, вытесняя со своей территории азотлюбивые растения.

Размножаясь в массе в водоемах, цианобактерии своими токсическими выделениями подавляют рост планктонных протист и нередко становятся единственной доминирующей группой фотоавтотрофных организмов толщи воды. Биологически активные вещества — *фитонциды*, выделяемые растениями, и *антибиотики*, вырабатываемые микроорганизмами, направлены на подавление жизнедеятельности многих видов микроорганизмов. Человек научился использовать эту форму взаимодействия для лечения антибиотиками ряда свойственных ему бактериальных заболеваний.

Среди подвижных животных конкуренция нередко принимает такую форму, когда одна особь непосредственно препятствует захвату другой особью части местообитания и использованию находящихся на ней ресурсов. Эта форма внутривидовой конкуренции проявляется в охране особью своей *индивидуальной территории*. У некоторых животных защита своего участка включает жестокие конфликты между конкурентами. У организмов других видов существует более тонкое взаимное распознавание конкурирующими особями запрещающих сигналов. Так, птицы в гнездовой период в качестве маркировки территории используют характерную песню. Хищные млекопитающие семейства псовых метят границы своего участка мочой, а представители семейства кошачьих — секретом пахучих желез и царапинами на деревьях. Зубр маркирует свой индивидуальный участок, сдирая с деревьев кору, а самец антилопы оставляет на дереве метку с помощью секрета пахучей железы, расположенной перед глазом. В борьбе за территорию побеждают сильнейшие особи, которые и оставляют потомство.

Косвенная конкуренция наблюдается в том случае, если конкурирующие особи непосредственно не взаимодействуют друг с другом, но реагируют на снижение необходимого ресурса из-за присутствия и жизнедеятельности других особей. Так, на карпов, конкурирующих за пищу в рыбноводном пруду, другие карпы влияют не прямо, а через уменьшение количества пищи, приходящейся на каждую особь.

Любой из вас знает, что если семена, допустим, моркови, посеять густо и не прорвать ее вовремя, не удалить отставших в росте и не разредить ее, то к осени корнеплоды моркови вырастут мелкими. Полученный результат выращивания моркови является примером действия косвенной внутривидовой конкуренции за сходные ресурсы: влагу, минеральное питание, свет.

Внутривидовые конкурентные отношения у позвоночных животных, имеющих сложные формы поведения, позволяют выявить разнокачественность ее особей и на этой основе выстроить их социальную соподчиненность (иерархию). В жесткой конкурентной борьбе претендентов выявляется сильнейший — вождь, а каждая особь занимает свое, отвоеванное ею место. Такая социальная структура позволяет поддерживать порядок в группе, ее единство, успешно размножаться и совместно защищаться, подчиняясь воле вождя.

Конкурентные отношения являются одним из важнейших механизмов формирования видового состава биоценозов и пространственного распределения его особей. Конкурентное исключение и эволюционная дивергенция, снижая межвидовую конкуренцию, способствуют более полному использованию ресурсов в биоценозах.

Взаимодействие хищник — жертва

Хищничество — способ добывания пищи и питания животных, при котором они ловят, умерщвляют и поедают других животных — жертву. Оно встречается среди организмов большинства типов животных, а также среди насекомоядных растений и грибов. Хищничество представляет собой главный способ, обеспечивающий передвижение вещества и энергии в экосистемах.

Известно около 500 видов насекомоядных растений. На территории Беларуси произрастают три из них — росянка круглолистная, пузырчатка и жирянка обыкновенные. С помощью разнообразных приспособлений они ловят мелких насекомых, переваривают их и всасывают. Животная пища им нужна главным образом как источник азотистых соединений.

Хищные грибы в процессе эволюции также выработали особые приспособления для захвата мелких животных. Микроскопические хищные виды грибов известны уже давно, а вот способность некоторых пластинчатых грибов к хищничеству выявлена недавно. Например, известная всем вешенка обыкновенная, растущая на гниющей древесине, выделяет обездвиживающее мелких круглых червей (нематод) вещество. После этого гифы гриба опутывают этих крошечных червей, проникают в них, переваривают и всасывают. Видимо, как и насекомоядные растения, хищные грибы поедают мелких животных как источник концентрированного белка.

Наиболее разнообразны и сложны взаимодействия хищников и жертвы среди животных.

Степень воздействия хищных животных на своих жертв различна и во многом определяется наличием или отсутствием предпочтения к определенному виду жертвы — **избирательностью питания**.

Животные, у которых полностью или частично отсутствует избирательность в потреблении пищевых объектов, называются **неспециализированными хищниками**. Например, волки питаются разнообразными как крупными видами жертв (лось, олень, косуля), так и мелкими (заяц, мышевидные грызуны и др.). Многие виды жертв потребляют окунь, щука, судак. Рачки циклопы также нападают на различных более мелких, чем они сами, планктонных животных — дафний, коловраток.

Неспециализированные хищники, изымая какое-то количество жертвы, снижают ее численность до уровня, когда охота на нее хищника становится нецелесообразной. Тогда хищники переключаются на питание другим видом жертвы, что способствует поддержанию видового разнообразия. Это объясняется тем, что снижение численности жертв разных видов приводит к соответствующему ослаблению между ними как межвидовой, так и внутривидовой конкуренции за сходные ресурсы.

Экологи не раз отмечали, что полное уничтожение хищников нередко приводило сначала к резкому увеличению численности жертвы, а затем к ее резкому снижению из-за быстро передающихся болезней или подрыва собственной кормовой базы.

Специализированные хищники питаются одним или немногими видами жертв. Выбор конкретной жертвы у них определяется ее возможной доступностью. В первую очередь они отлавливают больных, слабых, травмированных, более уязвимых старых или совсем молодых либо незащищенных особей низшего ранга. Такого рода избирательный отбор повышает жизнеспособность популяции жертвы. Эту роль хищников оценивают как **санитарную**.

Поскольку наличие пищевой специализации ограничивает возможность переключения на другие виды пищи, вследствие этого могут возникать циклические взаимосвязанные колебания численности хищника и жертвы.

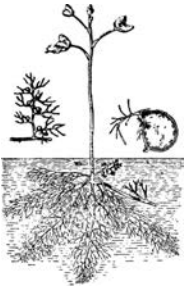
Примеры
хищничества



Щука и плотва



Росянка и муха



Пузырчатка обыкновенная
(справа — отдельный
пузырек — увеличено)
и рачки



Жирянка обыкновенная —
насекомоядное растение

Классический пример таких циклов — колебания численности зайца-беляка и рыси в Канаде (рис. 15.11). Легко заметить, что численность зайца-беляка достаточно регулярно изменяется с периодом в 8—11 лет. Примерно с таким же периодом меняется и численность рысей, причем максимум численности наступает на год—два позднее, чем у зайцев.

На рис. 15.11 видим, что при низкой численности как хищника, так и жертвы численность жертвы возрастает быстрее. Это объясняется более высокой плодовитостью и скоростью роста зайца по сравнению с рысью. По мере возрастания численности зайца с некоторым отставанием начинает увеличиваться и численность рыси. Возросшая численность рыси приводит к сокращению численности зайца. До последней особи жертва не истребляется, так как это энергетически невыгодно хищнику. Кроме того, уровень снижения численности жертвы напрямую зависит и от наличия убежищ. Численность хищника снижается с некоторым опозданием после уменьшения численности жертвы.

Такие же, но более короткие, 3—4-годовые циклы характерны для обитающих в северных широтах леммингов, мышей и полевок. Соответственно меняется и численность питающихся ими песцов, лис и полярных сов.

Так устанавливается динамическое равновесие между численностью хищника и жертвы, что способствует поддержанию стабильности в экосистеме.

Симбиоз — форма тесных взаимоотношений между организмами разных видов, выгодных для обоих (**мутуализм**) или хотя бы для одного из них (**комменсализм**, **синойкия**, **паразитизм**). Симбиотические отношения широко распространены в природе.

Комменсализм (нахлебничество, сотрапезничество) (лат. *com* — совместно, *mensa* — трапеза, стол) — форма отношений между организмами разных видов, при которой один из них (комменсал) питается остатками или избытками пищи другого, не причиняя ему вреда. Выгоду от совместного существования извлекает только комменсал, присутствие которого для партнера остается фактически безразличным.

Таковы отношения белых медведей и песцов, поедающих остатки пищи, добытой медведем и оставленной им недоеденной. Комменсалами крупных рыб, например акул, являются рыбы-прилипалы. С помощью присоски они прикрепляются к брюху акулы, передвигаясь вместе с ней и при случае деля с ней добычу. Присоска образована первым спинным плавником. Акуле они не приносят ни вреда, ни пользы. Некоторые виды морских кольчатых червей поселяются на раковине, занимаемой раком-отшельником, и питаются остатками его пищи.

Синойкия (сожительство) (гр. *syn* — вместе и *oikos* — дом, жилище) — наименее тесное симбиотическое сожительство организмов разных видов, ограничивающееся совместным местообитанием, безразличным для одного, но с пользой для другого. Так, в гнездах птиц, норах грызунов, расщелинах коры деревьев поселяются разнообразные виды членистоногих, находящих в них подходящий для жизни микроклимат. Некоторые виды рыб на коралловых рифах живут среди щупалец актиний и медуз.

К синойкии относят также поселения лиан, плюща, лишайников, мхов на стволах деревьев.

Паразитизм (гр. *parasitos* — нахлебник, *para* — возле, около и *sitos* — хлеб, пища) — форма межвидовых взаимоотношений, носящая антагонистический характер, когда один из видов (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания и источника пищи.

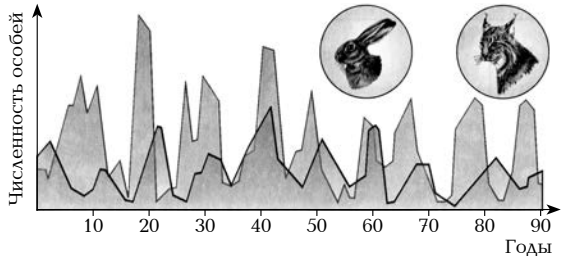
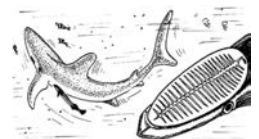
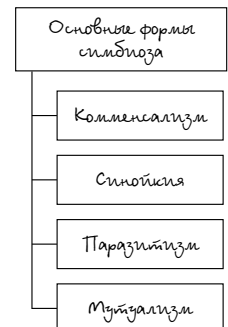


Рис. 15.11. Динамика численности зайцев и рысей



Рыба-прилипала

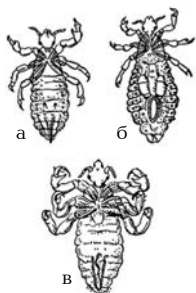
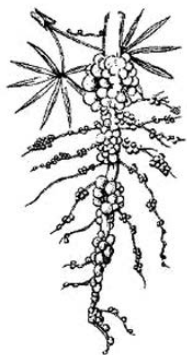


Рис. 15.12. Вши: а, б — головная (самец и самка соответственно); в — платяная



Миксовый клещ



Клубеньковые бактерии на корнях люпина

Среди паразитов различают эндо- и эктопаразитов.

Эндопаразиты живут в теле хозяина и питаются его тканями или содержимым кишечника. К ним принадлежат плоские черви (печеночный сосальщик, бычий и свиной цепни, эхинококк), круглые черви (аскарида, трихина, власоглав, острица детская), протисты (малярийный паразит, лямблия, трихомонас), бактерии (туберкулезная, дифтерийная и столбнячная палочки, холерный вибрион и др.), вирусы, вызывающие опасные заболевания человека: грипп, корь, СПИД, полиомиелит, свинку, бешенство и др.

Эктопаразиты живут в основном на кожных покровах хозяина. Они сосут его кровь, поедают шерсть млекопитающих, перья птиц. Обладая некоторой подвижностью, они могут переходить от одного хозяина к другому. Эктопаразитами являются вши, блохи, клещи и др. (рис. 15.12).

Паразиты имеют специализированные покровы, защищающие их от воздействия пищеварительных соков хозяина, органы прикрепления (присоски, крючья) к его телу. Многим эндопаразитам свойственны сложные циклы развития со сменой хозяев, большая плодовитость.

Мутуализм (лат. *mutuus* — взаимный) — форма обязательного сожительства организмов двух или более видов, при которой каждый извлекает пользу друг от друга и ни один из них не может существовать самостоятельно.

Примером мутуалистических взаимоотношений является сожительство клубеньковых бактерий рода Ризобиум с корнями растений семейства бобовых, мимозовых и др. Внедрение бактерий в растение происходит через корневые волоски. Ткани корня под влиянием ростового вещества, выделяемого бактериями, усиленно разрастаются и образуют клубеньки. Бактерии в клубеньках быстро размножаются, заполняя клетки клубеньков. В результате такого тесного сожительства растение обеспечивает бактерий питательными веществами (главным образом сахарами) и создает оптимальные условия для их жизни. Бактерии, в свою очередь, связывают атмосферный молекулярный азот в соединения, которых достаточно и для бактерий, и для растений. После отмирания корней растений почва обогащается азотистыми соединениями, что повышает ее плодородие.

Взаимовыгодное сожительство существует также между корнями большинства групп голосеменных и цветковых растений и грибами, называемое **микоризой (грибокорнем)**. При этом мицелий гриба оплетает корни растений и проникает под эпидермис или даже в клетки parenхимных корня, где может образовывать скопления в виде клубков. Микоризный гриб увеличивает всасывающую поверхность корня в 10—14 раз. Он выделяет витамины, ростовые вещества, стимулирующие развитие корня, повышает всасывание из почвы фосфора. От растения гриб получает сахара и другие органические соединения, корневые выделения, способствующие прорастанию его спор.

Лишайники также представляют собой мутуалистическое сожительство гриба с фотоавтотрофными организмами — цианобактериями и протистами. Фотоавтотрофный компонент снабжает гриб органическими веществами. Большинство видов цианобактерий, входящих в состав лишайников, способны фиксировать атмосферный азот. Такие лишайники могут расти там, где азота мало, не испытывая его дефицита. В свою очередь, гриб предоставляет своему партнеру воду с растворенными минеральными солями, защищает его от высыхания. Такая комплексная природа лишайников позволяет им получать питание из воздуха, атмосферных осадков, влаги росы и туманов, частиц пыли, оседающей на слоевище. В силу этого лишайники широко распространены в природе. Они обитают по всему миру — от безводных пустынь до Арктики: на голой почве, стволах деревьев, раскаленных солнцем скалах, на крышах, заборах и т. п.

В пищеварительном тракте жвачных парнокопытных животных, термитов и тараканов обитают симбионты — бактерии, инфузории и жгутиковые. Они

вырабатывают специальные ферменты, помогающие животному-хозяину переваривать клеточные стенки растений. Животное-хозяин предоставляет организмам-симбионтам место для их обитания и пищу.

Таким образом, многообразие форм взаимоотношений между организмами разных видов создает ту необходимую биотическую среду, в которой возможно нормальное их существование.

ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

Экосистемы изменчивы во времени, так как меняются условия внешней среды. Так, например, в течение суток не остаются постоянными освещенность, влажность, температура и т. п. Изменчивы условия жизни для организмов по сезонам года. В ответ на эти изменения динамична и живая составляющая экосистемы — биоценоз. Динамичность — одно из основных свойств экосистем, отражающее не только зависимость их от комплекса факторов, но и адаптивный ответ экосистемы в целом на их воздействие.

В зависимости от масштабов времени, в которых выражается динамика экосистем, различают суточную, сезонную и многолетнюю динамику.

Суточная динамика. В любой экосистеме имеются группы организмов, активность которых связана с разным временем суток. Например, дневные бабочки наиболее активны в послеполуденное время, когда температура воздуха в суточном цикле наиболее высокая. В сумеречное и ночное время активными становятся ночные бабочки, например бражники, а также комары.

Среди птиц имеются дневные хищники (сокол, орел, ястреб-тетеревятник), обнаруживающие жертву с помощью зрения, и ночные хищники — совы, филины, которые находят жертву с помощью чуткого слуха.

Пресмыкающиеся средних широт наиболее активны в дневное время, а в пустыне, наоборот, их активность возрастает в сумерки и ночью, когда спадает жара и основной объект их питания — грызуны выходят из своих нор отыскивать растительную пищу.

Суточная динамика жизнедеятельности наблюдается и у растений. Так, фотосинтез и выделение при этом кислорода осуществляются в дневное время суток, а ночью все растения, как и животные, потребляют кислород и выделяют углекислый газ. Цветки некоторых видов растений раскрываются только в ночное время и своим ароматом привлекают ночных насекомых-опылителей. Большинство же покрытосеменных растений раскрывают свои цветки в дневное время.

Чрезвычайно интересные и грандиозные по своим масштабам суточные вертикальные миграции животного планктона (зоопланктона) в морях и пресных водоемах. Днем зоопланктеры держатся в более глубоких зонах, а ночью поднимаются в поверхностные слои водоемов.

Сезонная динамика экосистем определяется сменой времен года. Она выражается в изменении не только состояния и активности организмов отдельных видов, но и в соотношении между организмами разных видов.

Большинство видов деревьев и кустарников к зиме сбрасывают листву, предварительно осуществив отток от них питательных веществ в ткани стебля и корня. Приостанавливается активное деление клеток образовательной ткани. У однолетних растений к этому неблагоприятному периоду года успевают созреть семена, а вегетативные органы отмереть. У многолетних трав остаются жизнеспособными лишь корневая система и зимующие почки, прикрытые от замерзания почвой и снежным покровом. Животные некоторых видов, способные обеспечить себя пищей, остаются зимовать в экосистеме,



Филин

ведя активный образ жизни. Животные других видов впадают в спячку, предварительно накопив запасы энергетического сырья — жира. Третьи, те, кто не в состоянии прокормиться в зимний период из-за отсутствия традиционных видов корма (насекомых, земноводных, травянистых растений), мигрируют в более южные районы, где могут их добыть. Такое явление хорошо известно для перелетных птиц, ряда видов копытных млекопитающих и др. Оседлые виды составляют ядро биоценоза, тогда как сезонные определяют его облик в отдельные периоды года.

С наступлением весны жизнь в экосистеме активизируется. Раньше других растений на проталинах расцветают первоцветы (сон-трава, мать-и-мачеха), происходит опыление ольхи, орешника. Из мест зимовок возвращаются перелетные птицы (серые гуси, скворцы, аисты и др.) и, как и зимующие виды, строят гнезда, откладывают и насиживают яйца, кормят птенцов.

В летнее время происходит активный рост, цветение, плодоношение большинства покрытосеменных растений. У животных появляется потомство, которое также в этот период года активно растет и питается, готовясь к осеннему похолоданию и зиме.

Сезонная динамика лучше всего выражена в ландшафтно-климатических зонах, различающихся резкими изменениями физико-химических параметров среды летом и зимой. В частности, они хорошо выражены в тундре, для которой в летнее время характерен большой набор видов птиц, насекомых и других животных. На зиму большая часть из них мигрирует на юг (большинство птиц, северные олени), а другие впадают в оцепенение и выключаются из активной жизни (насекомые и другие беспозвоночные).

В тропиках сезонность в биоценозах выражена не столь ритмично, но все же имеется. Наиболее распространенная ее форма — смена засушливых и влажных периодов.

Таковы сезонные изменения в экосистемах. К условиям разных сезонов года растения и животные адаптировались не сразу, а в течение длительного периода их эволюционного развития. Все они направлены на выживание организмов в меняющейся среде обитания.

Многолетняя динамика. Это явление, свойственное в большей или меньшей степени разным группам живых организмов. Оно заключается в значительном, иногда очень резком изменении численности популяций разных видов, входящих в состав живой компоненты экосистемы — биоценоза.

Например, известно межгодовое различие в продуктивности растений, что сказывается, в свою очередь, на продуктивности животных, питающихся их вегетативными частями, семенами и плодами. Так, в богатые кормами годы взрослые самки белок имеют в среднем три помета по 4—6 бельчат в каждом, а при недостатке корма — по 2—3 бельчонка в каждом (рис. 15.13). Поэтому в урожайные на орехи годы численность белок может возрасти в 7—10 раз по сравнению с неурожайными. Такие же резкие межгодовые колебания численности свойственны другим видам грызунов (например, тундровым леммингам), хищным млекопитающим (например, песцам).

Описаны значительные межгодовые колебания численности мелких грызунов, которые в годы заметного ее повышения называются «мышинными напастями». Нередко отмечаются годы сильного размножения болезнетворных микроорганизмов, вызывающих массовые заболевания растений и животных и снижающих их численность и продуктивность.

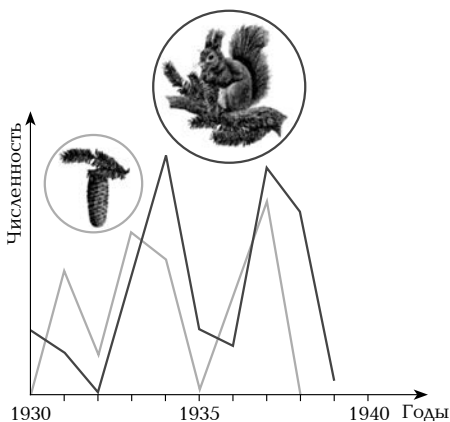


Рис. 15.13. Зависимость численности белок от урожая семян ели

Причиной межгодовых колебаний численности являются изменения по годам климатических условий и других внешних факторов, обычно воздействующих на организмы экосистемы.

Описанные суточные, сезонные, межгодовые аспекты динамики биоценозов связаны с изменением активности разных видов и их соотношением. При этом резкого изменения параметров данного типа биоценоза не наблюдается, так как происходит лишь его пульсация с последующим восстановлением. Принципиально иной характер динамики биоценозов наблюдается в случае, если сменяются серии одних сообществ другими.

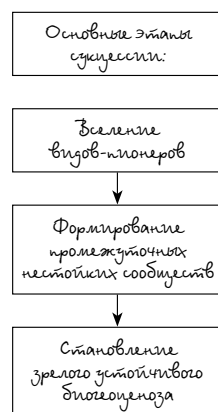
СМЕНА БИОЦЕНОЗОВ ВО ВРЕМЕНИ

Ни одна экосистема не существует вечно; раньше или позже она сменяется другой. Способность к смене — одно из важнейших естественных свойств экосистем. Длительное существование популяций на одном местообитании так изменяет условия существования организмов — биотоп, что он постепенно становится малопригодным для одних видов, но пригодным для других. В результате на этом местообитании развивается другой, более приспособленный к новым условиям среды биоценоз. Такая последовательная, направленная, необратимая смена одного биоценоза другим называется **экологической сукцессией**.

Давайте проследим, как будет развиваться биоценоз на новом местообитании, лишенном почвы и еще ни разу не заселенном живыми организмами. Примером такого местообитания может быть остывшая после извержения вулкана лава. Семенные растения не способны заселить столь малопригодное для жизни место. Даже если их семена и прорастут, то всходы быстро погибнут из-за недостатка воды и элементов минерального питания, а также под прямым воздействием ветра и солнца. Однако такие условия выдержат мхи и лишайники. Споры мхов способны прорасти в трещинах лавы. В случае засухи мхи могут переходить в малоактивное состояние, сохраняя жизнеспособность. При малейшем увлажнении их способность к росту будет восстанавливаться. Закрепляются на лаве и лишайники, поскольку при отсутствии осадков они могут использовать влагу и азот атмосферы. Выделяемые ими лишайниковые кислоты постепенно разрушают и растворяют лаву, а отмершие части лишайников и мхов идут на образование гумуса. Этот процесс происходит чрезвычайно медленно, однако постепенно лава покрывается мхами и лишайниками.

В условиях формирующейся почвы, пусть и небольшого ее слоя, открываются возможности для жизни семенных растений. Мхи и лишайники, удерживая влагу, создают условия для прорастания семян и закрепления проростков. Крупные растения, укрепившись на преобразованной лаве, продолжают участвовать в почвообразовательном процессе, кроша лаву своими корнями. Наконец, образовавшейся за длительный период времени почвы становится достаточно для развития кустарниковой и древесной растительности. Под ее пологом уже могут найти условия для роста и теневыносливые растения. Одновременно происходит заселение развивающегося растительного сообщества животными, грибами и микроорганизмами. Так постепенно на безжизненной вулканической породе развивается многовидовая экосистема леса.

Описанная последовательная смена биоценозов, происходящая на вновь образовавшемся и ранее не заселенном пространстве, представляет собой пример **первичной сукцессии**.



Аналогичный процесс развития биоценозов и их смена идет на вновь образовавшихся песчаных дюнах, наносах рек, породах, обнажившихся в результате эрозии почвы или отступления ледников, на голых скалах.

Первичные сукцессии — процесс медленный, идущий на протяжении сотен и даже тысяч лет, так как он начинается на местах, где нет запасов органического вещества и почвы.

Вторичные сукцессии происходят на месте сформировавшихся экосистем после их нарушения в результате эрозии, засухи, пожара. В таких местах обычно сохраняются запасы органического вещества, почвы, что влечет за собой быструю сукцессию восстановительного типа. Иногда подобные смены протекают на глазах одного поколения людей. Это зарастание водоемов (рис. 15.14), восстановление лугов после пожара, восстановление лесов после их вырубки и др.

Примером вторичных сукцессий может служить восстановление лесной экосистемы после вырубки (пожара) елового леса. На появившихся открытых пространствах резко меняется режим освещения, температуры, влажности и других факторов. На освещенных, относительно сухих и хорошо прогреваемых местах формируется временное одноярусное сообщество из светолюбивых трав. Первыми здесь развиваются виды с легко распространяемыми семенами: вейник, иван-чай и др. — это стадия открытой вырубки. Позднее начинают поселяться кустарники. Одновременно формируется связанный с лугово-кустарниковой растительностью комплекс животного населения: многочисленные и разнообразные насекомые и другие беспозвоночные, грызуны, связанные в своей жизни с лугами и лесными полянами. Развитие ягодных кустарников привлекает большое число видов птиц, наличие хорошо прогреваемых мест — рептилий и т. п. Формируется богатое и разнообразное сообщество заростающей вырубки.

Эта стадия занимает 3—5 лет, после которой начинается интенсивное развитие светолюбивых мелколиственных древесных пород (осина, береза, ива и др.). Постепенно эти подростные деревья вытесняют кустарники и наиболее светолюбивые виды трав: кустарниково-луговое сообщество сменяется лиственным молодым лесом с сомкнутыми кронами. Это влечет за собой и изменение животного населения, которое обедняется в связи с исчезновением богатого разнотравья и кустарниковой растительности. После смыкания крон и перехода сообщества от стадии молодого с сомкнутой кроной леса в фазу более зрелого лиственного леса с сомкнутой кроной (через 15—20 лет от начала сукцессии) биоценоз вновь несколько усложняется. В нем формируется более или менее полный комплекс растительности и животного населения, характерный для спелых лиственных лесов.

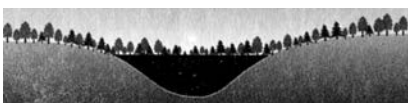
Под древесным пологом, в условиях затенения и повышенной влажности, начинается интенсивное прорастание семян ели. Постепенно хвойный молодняк окончательно заглушает луговую травянистую растительность, ее сменяют мхи и лесное разнотравье. Улучшение условий для роста ели подавляет развитие мелколиственных лесных пород. Старые лиственные деревья затеняются выходящими в первый (верхний) ярус елями. Смыкание еловых крон еще больше угнетает рост березы и осины, которые становятся с этого момента второстепенными членами древостоя. В конце концов лиственные деревья полностью выпадают и восстанавливается исходный тип лесной экосистемы с господством ели. Весь процесс от вырубки (пожара) до формирования устойчивого елового биоценоза занимает в среднем 90—150 лет.



Растения распространяются от берегов к центру



Озеро постепенно заполняется торфом



На месте озера вырастает лес

Рис. 15.14. Превращение озера в лес

Как вы могли убедиться на приведенных примерах, определяющую роль в ходе сукцессий играют зеленые растения. Смена одних растительных сообществ другими неизбежно приводит к изменению видового состава зависящего от него животного мира и организмов других царств. По мере усложнения сообщества усложняются и связи между его организмами. Менее приспособленные к новым условиям замещаются более приспособленными. Эта замена происходит до тех пор, пока не появятся виды, полностью соответствующие новым условиям среды и способные длительно жить в данном биоценозе. С этого периода устанавливается **зрелое, стабильное состояние** экосистемы, в которой организмы разных видов имеют относительно постоянное соотношение численностей, и дальнейшей смены ее видового состава практически не происходит. Такая экосистема характеризуется наибольшей устойчивостью по сравнению с более ранними стадиями сукцессии.

Зрелая экосистема может существовать длительное время, иногда сотни лет, пока какие-либо серьезные нарушения (изменение климата, отступление ледников, антропогенное воздействие и др.) не повлияют на ее стабильность. Смены флоры и фауны, протекающие в геологических масштабах времени, отличаются от типичных, описанных экологических сукцессий тем, что они начинаются не с заселения не занятых жизнью мест, а с перестройки внутренних связей уже сложившихся и функционирующих экосистем. Виды, приспособленные к прежним условиям среды, в новых изменившихся условиях замещаются другими видами, адаптированными к новым условиям. Такие вековые смены экосистем происходили уже в истории нашей планеты неоднократно (например, по мере отступления ледников после крупных оледенений).

Таким образом, в ходе экологической сукцессии изменяется не только видовой состав, но и многие другие параметры экосистемы. Так, видовое разнообразие организмов разных царств на начальных стадиях сукцессии становится наибольшим в ее поздней стадии. Быстрорастущие виды организмов ранних стадий сукцессии сменяются медленно растущими, но более конкурентоспособными. Общая биомасса растений, животных, грибов и микроорганизмов увеличивается и становится максимальной в зрелой стадии. Эта же закономерность наблюдается и с ростом общей продуктивности экосистемы.

Ход сукцессии сопровождается изменением величин влажности, освещенности, движения ветра. Почвообразовательные процессы идут быстрее, накапливаются элементы минерального питания, возрастает доля детрита, круговорот веществ становится все более замкнутым.

В отличие от описанных типов, смена биоценозов может происходить несколько иными путями. Например, вторичная сукцессия восстановительного типа может не достичь исходного биоценоза. Например, выпас скота на вырубках и пожарищах может повернуть ход сукцессии в сторону формирования суходольного леса. Избыточное увлажнение может привести к заболачиванию вырубки, что препятствует восстановлению древесной растительности. В определенных условиях процесс может остановиться на стадии березово-осинового леса. Иногда наблюдается выпадение отдельных стадий развития, частичное совмещение или, наоборот, растянутость их во времени. Однако тенденции описанных выше процессов являются наиболее типичными для разных стадий сукцессии.

АГРОЭКОСИСТЕМЫ

Кроме естественных экосистем (леса, тундры, степи, пустыни, реки, моря и др.), существуют **агроэкосистемы** (гр. *agros* — поле) — сообщества растений, животных, грибов и микроорганизмов, созданные человеком для получения сельскохозяйственной продукции или рекреации.

Примерами таких экосистем являются поля, огороды, сады, парки, луга, зеленые насаждения, наземные и морские пастбища. В таких агроэкосистемах человек создает благоприятные условия для выращиваемых организмов, осуществляет полный контроль за всеми этапами производства полезной для него продукции и развития самой системы. Для этого он применяет специально разработанные агротехнические приемы: посев (посадка) высокопродуктивных сортов растений, при необходимости искусственное орошение, внесение удобрений, различные способы обработки почвы (вспашка, боронование, дискование и др.), ведет борьбу с сорняками, вредителями и болезнями растений.

Структура агроэкосистемы. Как и любая природная экосистема, агроэкосистема обладает определенным составом организмов (культурные растения, сорняки, насекомые, дождевые черви и др.) и характерными взаимоотношениями между ними и средой обитания. Эти взаимоотношения наиболее четко проявляются на уровне трофических связей между организмами, в которые вмешивается человек, регулируя их с пользой для выращиваемых организмов.

В агроценозе (например, пшеничного поля) складываются те же пищевые цепи, что и в природной экосистеме. Продуцентами являются пшеница и сорняки, консументами — насекомые, птицы, полевки, лисы, редуцентами — грибы и бактерии. В функционирование каждого звена пищевой цепи вмешивается человек, создавая с помощью агротехнических приемов благоприятную среду для получения высоких урожаев выращиваемых растений.

Отличия агроэкосистем от естественных экосистем. Между естественными и искусственными экосистемами наряду со сходством имеются и большие различия, которые следует учитывать в сельскохозяйственной практике.

Первое отличие заключается в разной приспособленности и конкурентоспособности культурных и диких организмов. В природных экосистемах в результате длительной эволюции организмы приобрели полезные адаптации для жизни в конкретных типах экосистем. Все неконкурентоспособные виды организмов были исключены из состава биоценоза в ходе отбора самой природой — естественного отбора, поэтому естественный биоценоз характеризуется устойчивостью и приспособленностью к условиям среды обитания.

В агроэкосистемах выращиваются организмы с нужными для человека признаками, свойствами, которые он создал искусственным отбором, поэтому выведенные сорта растений, породы животных, обладающие рядом полезных для него признаков, не могут конкурировать с представителями дикой флоры и фауны. Вот почему человек берет на себя обязанность оберегать, защищать, создавать оптимальные условия для выращиваемых организмов. По этой причине устойчивость агроценозов невелика. Они не способны к самоподдержанию, подвержены угрозе гибели от массового размножения сорняков, вредителей и возбудителей болезней. Вы хорошо представляете, каков будет осенью урожай картофеля, если человек не примет меры по защите посевов этой культуры от истребления ее колорадским жуком и его личинками. Сомнительно получить высокий урожай яблوك, если не бороться с опасными вредителями этой культуры — яблонной плодовой ложкой и яблонным цветоедом. Без подавления развития фитопатогенных грибов



Агроэкосистема

(ржавчинных, мучнисторосяных, фузариума и др.) невозможно вырастить высокий урожай зерновых культур, плодов и овощей. Без участия человека, его неустанного внимания и активного вмешательства в жизнь агроэкосистемы через какое-то время она разрушается под натиском более приспособленных организмов естественной флоры и фауны.

Другое отличие заключается в разных источниках используемой энергии. Так, для естественных экосистем основным источником является солнечная энергия. Для поддержания жизни агроэкосистемы помимо солнечной необходима дополнительная энергия, которую человек затрачивает на производство удобрений, препаратов для борьбы с сорной растительностью, насекомыми-вредителями, грибковыми и бактериальными болезнями, на орошение или осушение земель, вспашку, боронование почв, прополку растений и т. п. Без такой дополнительной затраты энергии существование агроценозов практически невозможно.

В агроэкосистемах по сравнению с естественными сообществами резко **снижено видовое разнообразие живых организмов**. На сельскохозяйственных полях обычно выращивают один или несколько видов (сортов) растений, что приводит к значительному обеднению видового состава естественной фауны, грибов и микроорганизмов. Более того, биологическое однообразие выращиваемых культурных растений, занимающих огромные площади, является основной причиной возникновения массового размножения («экологический взрыв») их вредителей и возбудителей болезней.

Существенным различием между естественной экосистемой и агроэкосистемой является **разный баланс питательных элементов**. В природных экосистемах образуемая продуцентами первичная и консументами вторичная продукция потребляется и преобразуется в ее пределах, т. е. в замкнутом круговороте веществ.

В агроценозе круговорот веществ нарушается, он становится отрицательным, поскольку значительная часть вещества забирается человеком с урожаем и покидает экосистему. С учетом этого для дальнейшего поддержания урожайности выращиваемых культур необходимо постоянное возмещение потерь вещества путем внесения в почву удобрений (азотных, фосфорных, калийных, микроэлементов).

Таким образом, по сравнению с естественными природными системами агроэкосистемы имеют ограниченный состав растительных и животных компонентов, не способны к саморегуляции, подвержены угрозе гибели от массового размножения вредителей или возбудителей болезней, поэтому они требуют неустанной поддержки со стороны человека.

Агроэкосистемы занимают примерно 10 % всей поверхности суши (1,2 млрд га) и дают человечеству около 90 % пищевой энергии. Их неоспоримые преимущества перед естественными экосистемами заключаются в больших потенциальных возможностях увеличения продуктивности. Этого можно достичь только при постоянном, научно обоснованном уходе за почвой, обеспечении растений влагой и элементами минерального питания, защиты выращиваемых организмов от действия неблагоприятных факторов среды.



Агроэкосистема
(плодовый сад)

ГЛАВА 16

Эволюция органического мира

Жизнь заполняет все уголки нашей планеты. Океаны, моря, реки, озера, горы, равнины, пустыни, даже воздух населены живыми существами. Жизнь на Земле существует миллиарды лет. Она знала периоды расцвета, исторических испытаний и тяжелых кризисов, прежде чем достигла в наши дни своего великолепного богатства. Что же такое жизнь? Как возникли первые живые организмы? Как возникли организмы разной сложности? Под действием каких сил сформировались их приспособительные признаки? Во все ли эпохи истории Земли живой мир был таким, как сейчас? Откуда такое разнообразие органического мира и как оно сохраняется? Какое место в природе занимает человек и кто его предки? На эти и многие другие вопросы отвечает *эволюционное учение*. Предметом изучения эволюционного учения является биологическая эволюция. Под *биологической эволюцией* понимают историческое развитие живой природы с момента возникновения жизни на Земле до сегодняшнего дня.

ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Сущность жизни. В самом общем смысле жизнь можно определить как активное, идущее с затратой энергии, полученной извне, поддержание и самовоспроизведение специфических структур, состоящих из белков, нуклеиновых кислот и других органических и неорганических веществ. Ни нуклеиновые кислоты, ни белки, ни другие вещества в отдельности не являются субстратом жизни. По определению российского биолога В. М. Волькенштейна, «живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот».

Гипотезы происхождения жизни. С незапамятных времен происхождение жизни было загадкой для человечества. С момента своего появления благодаря труду человек начинает выделяться среди остальных живых существ. Но способность задавать себе вопрос «Откуда мы? Как и когда появились живые организмы?» он получил сравнительно недавно — 7—8 тыс. лет назад, в начале нового каменного века (неолита). С этого времени выдвигалось множество гипотез и предположений о происхождении жизни.

Креационизм. Приверженцы религиозных взглядов считали (и считают) жизнь духовным, нематериальным началом. Согласно этой гипотезе, имеющей древние корни, все существующее во Вселенной, в том числе жизнь,

было создано единой Силой — Творцом в результате нескольких актов сверхъестественного творения в прошлом.

Организмы, населяющие сегодня Землю, происходят от сотворенных по отдельности основных типов живых существ. Сотворенные виды были с самого начала превосходно организованы и наделены способностью к некоторой изменчивости в определенных границах. Эти взгляды получили название *креационизм* (лат. *creatio* — сотворение). Этой гипотезы придерживаются последователи почти всех наиболее распространенных религиозных учений. Гипотезу божественного происхождения жизни можно принять на веру, так как ее нельзя экспериментально ни проверить, ни опровергнуть. В связи с этим гипотеза будет существовать всегда наряду с научными гипотезами происхождения жизни.

Научные гипотезы происхождения жизни базируются на двух разных подходах. В основе одной группы гипотез лежит представление о том, что живые существа образовались из неживой материи (гипотезы абиогенеза). Другие гипотезы основываются на представлениях о возможности появления живых существ только от других живых организмов (гипотезы биогенеза).

Гипотезы самозарождения. На протяжении тысячелетий люди верили в самопроизвольное зарождение жизни, считая его обычным способом появления живых существ из неживой материи. Полагали, что источником самозарождения служат либо неорганические соединения, либо гниющие органические остатки. Эти гипотезы были распространены в Древнем Китае, Вавилоне, Египте, Древней Греции в качестве альтернативы креационизму. Древнегреческий ученый и мыслитель Аристотель, которого часто провозглашают основателем биологии, писал, что лягушки и насекомые заводятся в сырой почве. В средние века многим «удавалось» наблюдать зарождение разнообразных живых существ — насекомых, червей, угрей, мышей в разлагающихся или гниющих остатках организмов. Эти «факты» считались весьма убедительными до тех пор, пока итальянский врач Франческо Реди (1626—1697) не подверг сомнению теорию самозарождения. В 1668 г. Реди проделал следующий опыт. Он поместил мертвых змей в сосуды, причем одни сосуды накрыл кисеей, а другие оставил открытыми. Налетевшие мухи отложили яйца на мертвых змеях в открытых сосудах; вскоре из яиц вывелись личинки. В закрытых сосудах личинок не оказалось. Этим опытом Ф. Реди доказал, что белые черви, появляющиеся в мясе змей, — личинки флорентийской мухи и если мясо закрыть и предотвратить доступ мух, то оно не «произведет» червей. Опровергнув таким образом концепцию самозарождения, Ф. Реди высказал мысль о том, что жизнь может возникнуть только от других живых существ.

Почти через 200 лет после опытов Ф. Реди французский ученый-микробиолог Луи Пастер (1822—1895) и английский физик Дж. Тиндаль (1820—1893) экспериментально доказали невозможность самозарождения жизни. Пастер установил, что если в колбу поместить питательный мясной бульон, то через некоторое время в нем начинают активно развиваться микроорганизмы. Это происходит потому, что бактерии распространяются по воздуху и, попадая в бульон, начинают быстро размножаться — бульон портится. Но если бульон прокипятить (простерилизовать) и поместить его в колбу с S-образно изогнутым горлышком (рис. 16.1), которое служит ловушкой для бактерий, бульон остается

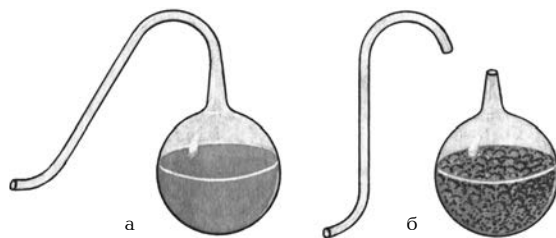


Рис. 16.1. Колбы с S-образным горлышком, использованные в опытах Л. Пастера: а — в колбе с изогнутым горлышком бульон долгое время остается прозрачным (стерильным); б — после удаления S-образного горлышка в колбе наблюдается бурный рост микроорганизмов (бульон мутнеет)

чистым — самозарождения не происходит. Дж. Тиндаль стерилизовал воздух, поступающий в колбы, пропуская его сквозь пламя или через вату.

К концу 70-х гг. XIX в. практически все ученые признали, что живые организмы происходят только от других живых организмов, что означало возвращение к первоначальному вопросу: откуда же взялись первые организмы?

Гипотеза панспермии. Доказанность невозможности самозарождения жизни породила другую проблему. Если для возникновения живого организма необходим другой живой организм, то откуда взялся первый живой организм? Поиск ответа на этот вопрос привел некоторых известных ученых к мысли, что жизнь никогда не возникала, а, как материя и энергия, существовала вечно. Приверженцы этой гипотезы считают, что впервые жизнь возникла не на Земле, а была занесена каким-то образом на нашу планету. Согласно этому представлению «зародыши жизни» блуждают в космическом пространстве до тех пор, пока не попадут на подходящую по своим условиям планету — там они и дают начало биологической эволюции. Эту идею поддерживали Герман Гельмгольц (1821—1894) и Уильям Томсон (1824—1907).

Эта идея была тщательно разработана в 1908 г. шведским химиком Сванте Аррениусом (1839—1927), который назвал свою теорию *панспермией* (гр. *pan* — весь, всякий и *spërma* — семя).

Современные приверженцы гипотезы панспермии (в числе которых английский биофизик Ф. Крик, американские биохимики Л. Орджел, Дж. Оро и др.) также считают, что жизнь на Землю занесена из космоса. Например, лауреат Нобелевской премии Ф. Крик полагает, что жизнь на Землю случайно или преднамеренно занесена космическими пришельцами.

Таким образом, гипотеза панспермии пытается лишь объяснить появление жизни на Земле, но она не отвечает на вопрос, как возникла жизнь.

Гипотеза стационарного состояния. Согласно этой гипотезе Земля никогда не возникала, а существовала вечно; она всегда была способна поддерживать жизнь, а если и изменялась, то очень мало; виды также существовали всегда. Эту гипотезу называют иногда гипотезой *этернизма* (лат. *eternus* — вечный). Гипотеза этернизма была выдвинута немецким ученым В. Прейером в 1880 г. Взгляды В. Прейера поддерживал академик В. И. Вернадский, автор учения о биосфере.

Биохимические гипотезы. С развитием знаний об историческом развитии оболочек Земли и молекулярной биологии гипотезы абиогенеза вновь получили развитие в XX в. Их особенности состоят в том, что, исключая возможность самозарождения жизни в наше время, ученые считают возможным ее возникновение из химических соединений в прошлом. Впервые подобные взгляды высказал французский биолог Ж. Б. Ламарк в 1820 г. Позже их поддерживали немецкий ученый Э. Геккель и российский ученый К. А. Тимирязев. Они считали, что в первичном океане в результате определенных химических процессов возникли вначале органические вещества, затем доклеточные формы жизни, которые постепенно превратились в клеточные организмы. Дальнейшее развитие эти идеи получили в работах А. И. Опарина, Дж. Б. Холдейна и других ученых.

Одной из наиболее известных биохимических гипотез является коацерватная гипотеза Опарина — Холдейна. В 20-е гг. XX в. русский ученый А. И. Опарин и англичанин Дж. Б. Холдейн высказали гипотезу о возникновении жизни в процессе биохимической эволюции углеродных соединений (эволюция — лат. *evolutio* — развертывание — процесс изменения, развития), которая легла в основу современных представлений. В 1924 г. А. И. Опарин опубликовал основные положения своей гипотезы происхождения жизни на Земле. Он исходил из того, что в современных условиях возникновение живых существ из неживой природы невозможно. Абиогенное (т. е. без

участия живых организмов) возникновение живой материи возможно было только в условиях древней атмосферы и отсутствия живых организмов.

А. И. Опарин высказал мысль, что атмосфера первичной Земли была не такой, как сейчас, и носила строго восстановительный характер. По его мнению, в первичной атмосфере планеты, насыщенной различными газами, при мощных электрических разрядах, а также под действием высокого радиоактивного и ультрафиолетового излучения (кислород в атмосфере отсутствовал, и, следовательно, не было защитного озонового экрана) могли образовываться органические соединения. Органические вещества накапливались в океане, образуя «первичный бульон».

Опарин полагал, что решающая роль в превращении неживого в живое принадлежит белкам. Благодаря своим свойствам белковые молекулы способны притягивать к себе молекулы воды, которые создают вокруг них оболочку. Эти комплексы могут обособляться от всей массы воды и сливаться друг с другом, приводя к образованию сгустков, называемых коацерватными каплями, или *коацерватами* (лат. *coacervus* — сгусток, куча). Коацерваты в условиях восстановительной атмосферы не разрушались. Из раствора в них поступали химические вещества, в коацерватах шел синтез новых соединений, в результате чего они росли и усложнялись.

На границе между коацерватами и внешней средой выстраивались молекулы липидов, что привело к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивающей коацерватам стабильность. Поглощение из «первичного бульона» новых веществ способствовало увеличению размеров коацерватов и их фрагментации, что приводило, возможно, к образованию идентичных коацерватов, т. е. к их «размножению».

Коацерваты уже напоминали живые организмы, однако таковыми еще не были, так как не имели упорядоченной внутренней структуры, присущей живым организмам. Белковые коацерваты рассматривались А. И. Опариним как *пробионты* — предшественники живого организма. Он предполагал, что на определенном этапе белковые пробионты включили в себя нуклеиновые кислоты, создав единые комплексы. Включение в их состав ионов металлов привело к образованию ферментов. В результате включения в свой состав нуклеиновой кислоты, а также благодаря появлению ферментов из покрытого липидной оболочкой коацервата могла возникнуть примитивная клетка, обладающая свойствами живого. В ходе такой предположительной последовательности событий и должен был возникнуть примитивный самовоспроизводящийся гетеротрофный организм, питавшийся органическими веществами «первичного бульона».

Взаимодействие белков и нуклеиновых кислот привело к возникновению таких свойств живого, как самовоспроизведение, сохранение наследственной информации и ее передача последующим поколениям.

Пробионты, у которых обмен веществ сочетался со способностью к самовоспроизведению, можно уже рассматривать как примитивные проклетки.

Система взглядов А. И. Опарина получила название *коацерватной гипотезы*.

К аналогичным рассуждениям и выводам независимо от Опарина пришел в 1929 г. английский ученый Дж. Б. Холдейн. В связи с этим в настоящее время эта гипотеза называется коацерватной гипотезой Опарина — Холдейна.

Гипотеза Опарина — Холдейна приобрела много сторонников, так как в дальнейшем получила экспериментальное подтверждение возможности абиогенного синтеза органических биополимеров. Однако она имеет и слабую сторону. В рамках данной гипотезы не удается объяснить главную проблему: как произошел качественный скачок от неживого к живому.

Таким образом, до настоящего времени проблема происхождения жизни не решена. Ученые продолжают искать наиболее перспективные пути ее решения.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Вместе с поиском путей возникновения жизни на Земле встают и другие, не менее важные вопросы. Как возникло многообразие живых организмов? Почему одновременно живут организмы разного уровня сложности? Возникли ли они такими, как мы их видим сейчас, или они менялись? Каковы причины и механизмы этих изменений? Появляются ли новые виды в наше время? Иными словами, как происходит биологическая эволюция? Ответы на эти вопросы пытаются дать теории эволюции.

Эволюционная теория Ламарка. Первая относительно целостная эволюционная теория была разработана французским ученым Жаном Батистом Ламарком в 1809 г. По мнению ученого, жизнь возникла из неживой материи под стимулирующим воздействием света, тепла и электрических разрядов. Первопричиной этого процесса Ж. Б. Ламарк считал Творца, который однажды запустил процесс движения всего мироздания. Дальнейшее развитие жизни, по мнению Ламарка, происходило по естественным законам.

Ж. Б. Ламарк создал естественную систему животных, основанную на принципе родства между организмами. Он считал, что большее или меньшее сходство организмов может служить мерой родства между ними. Все известные в то время виды животных по уровню их организации Ламарк разделил на 14 классов. Классы животных ученый разместил в восходящем порядке — от инфузорий и кишечнополостных до птиц и млекопитающих. Классы разделил на 6 последовательных ступеней усложнения их организации (градаций) (рис. 16.2).

Ж. Б. Ламарк пришел к выводу, что виды не остаются постоянными: организмы каждого вида медленно и непрерывно усложняются. Это усложнение носит как бы ступенчатый характер и поэтому названо Ламарком *градацией*. В факте градации ученый увидел отражение хода исторического развития органического мира и впервые в истории биологии сформулировал положение

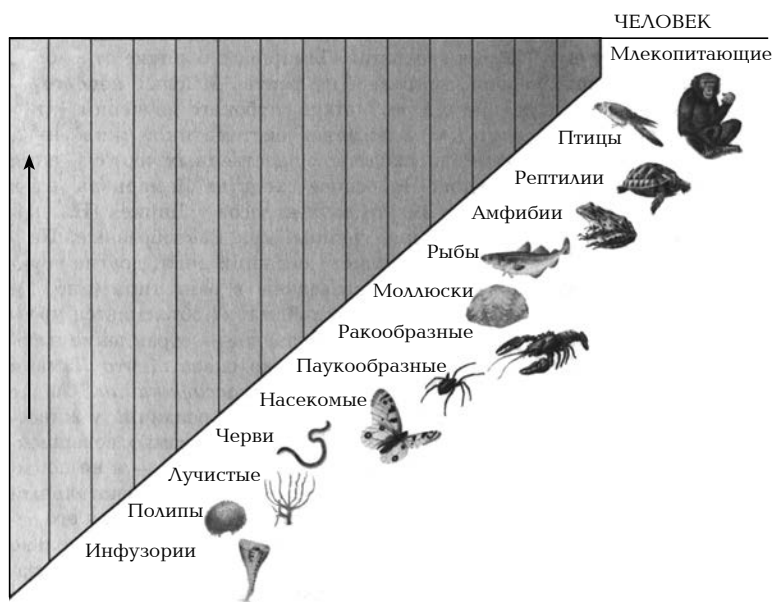


Рис. 16.2. Принцип градации в зоологической системе Ж. Б. Ламарка. Стрелка указывает направление эволюции

об эволюционном развитии живой природы: жизнь возникает путем самозарождения простейших живых тел из веществ неживой природы. Дальнейшее развитие идет по пути прогрессивного усложнения организмов, т. е. путем эволюции. Постепенно ученый пришел к выводу о плавной эволюции организмов: особи каждого вида очень медленно изменяются. Следовательно, каждое последующее поколение пусть незначительно, но отличается от родительского.

Ж. Б. Ламарк пришел к выводу, что главной движущей силой эволюции является присущее каждой особи *внутреннее стремление к совершенствованию*. Согласно ему, все живое, начиная с самозародившихся инфузорий, стремится к усложнению своей организации. Это приводит к превращению одних форм живых существ в другие (например, инфузории постепенно превращаются в полипов, полипы — в лучистых и т. д.). Инфузории не исчезают из природы, поскольку постоянно происходит их самозарождение. Превращение одних форм в другие идет крайне медленно, поэтому непосредственному наблюдению этот процесс не поддается.

Многообразие же форм в пределах каждой ступени организации ученый объясняет влиянием окружающей среды. Поскольку внешняя среда в разных областях Земли неодинакова и переменчива (изменяются климат, пищевые ресурсы и т. д.), вслед за изменением среды изменяются и особи разных видов, что приводит к многообразию видов в пределах каждой ступени организации.

Влияние внешней среды на изменение живых организмов Ж. Б. Ламарк выразил в виде трех законов. У организмов, лишенных центральной нервной системы (растения, низшие животные), изменения возникают прямым путем. Так, у лютика жестколистного (рис. 16.3) подводные листья сильно рассечены и имеют вид нитей (прямое влияние водной среды), а надводные листья лопастные (прямое влияние воздушной среды) (*закон прямого приспособления*).

У животных, имеющих центральную нервную систему, влияние среды на организм, по Ламарку, осуществляется косвенным путем: условия жизни определяют потребности животного, а значит, действия, привычки и поведение. Вследствие этого одни органы больше и чаще употребляются в работе (упражняются), а другие меньше и реже (не упражняются). При этом при упражнении органы развиваются (длинная шея и передние ноги у жирафа, широкие плавательные перепонки между пальцами у водоплавающих птиц, длинный язык у муравьеда и дятла и др.), а при неупражнении — недоразвиваются (недоразвитие глаз у крота, крыльев у страуса и др.). Этот механизм изменения органов Ламарк назвал *законом упражнения и неупражнения органов*.

С точки зрения Ламарка, длинные шея и ноги у жирафа — результат того, что многие поколения его коротконогих и короткошеих предков питались листьями деревьев, за которыми им приходилось тянуться все выше и выше. Перепонки между пальцами у водоплавающих птиц возникли в результате постоянного раздвигания пальцев и растягивания кожи между ними при плавании в поисках пищи или при спасении от хищников. Некоторые органы при постоянном неупражнении их в ряду поколений постепенно исчезают (конечности у змей).

Изменения органов, возникающие как прямым, так и косвенным путем, становятся, по Ламарку, сразу полезными, приспособительными. Если изменения организмов, вызванные прямым или косвенным воздействием условий среды, повторяются в целом ряду поколений, то они наследуются и становятся признаками новых видов (*закон наследования приобретенных признаков*). Например, незначительное удлинение шеи и ног у жирафа, происходившее в каждом поколении, передавалось следующему поколению, пока эти части тела не достигли своей нынешней длины.

Таким образом, основным фактором изменчивости организмов Ламарк считал влияние внешней среды.



Рис. 16.3. Лютик жестколистный



Теория Ламарка не получила признания современников. Наука не была еще готова к принятию идей эволюционных преобразований. Сроки эволюции, о которых говорил Ламарк, — миллионы лет — казались невообразимыми. Доказательства причин изменчивости видов не были достаточно убедительны. Отводя решающую роль в эволюции прямому влиянию внешней среды, упражнению и неупражнению органов и наследованию приобретенных признаков, Ламарк не смог объяснить возникновение таких приспособлений, как длина волосяного покрова, густота шерсти, жирность молока, окраска покровов животных, окраска скорлупы птичьих яиц, которые не могут упражняться. Кроме того, как теперь известно, не все изменения, возникающие у организмов под влиянием окружающей среды, наследуются.

Спорам приверженцев неизменности видов и стихийных эволюционистов положила конец глубоко продуманная и фундаментально обоснованная эволюционная теория Ч. Дарвина.

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ТЕОРИЯ Ч. ДАРВИНА

В 1859 г. была обнародована эволюционная теория Ч. Дарвина, которая по-новому объясняла эволюцию видов живых организмов. Эволюционная теория Ч. Дарвина была изложена им в книге «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь». Она в корне изменила представление о живой природе. Этому событию предшествовала более чем двадцатилетняя работа по изучению и осмыслению богатого фактического материала, собранного как самим Дарвином, так и другими учеными.

Учение Ч. Дарвина об искусственном отборе. При создании эволюционной теории Ч. Дарвин в первую очередь обращает внимание на изменение животных и растений в ходе выведения новых пород и сортов. На основе наблюдений Ч. Дарвин приходит к выводу, что человек не только отбирал из дикой природы интересные его виды, но и изменял их в нужном направлении. Например, из дикой капусты человеком созданы сорта цветной, кочанной, брюссельской, савойской, кольраби и др. (рис. 16.4); дикий скалистый голубь дал начало породам с разным оперением, пропорциями тела и формой клюва (рис. 16.5); чрезвычайно разнообразны формы гребня у петухов (рис. 16.6).

Формы изменчивости. Анализируя изменчивость организмов, Ч. Дарвин выделяет три ее формы: определенную, неопределенную и коррелятивную.

Определенная, или групповая, изменчивость возникает под влиянием какого-либо фактора среды, действующего одинаково на всех особей сорта (породы) и изменяющего их в определенном направлении. Например, лошади, помещенные в условия с малопитательной травой, становятся низкорослыми. Определенная изменчивость является массовой. Она не наследуется, т. е. при изменении условий среды у потомков не проявляются признаки, приобретенные родителями.

Неопределенная, или индивидуальная, изменчивость проявляется специфично у каждой особи и индивидуальна

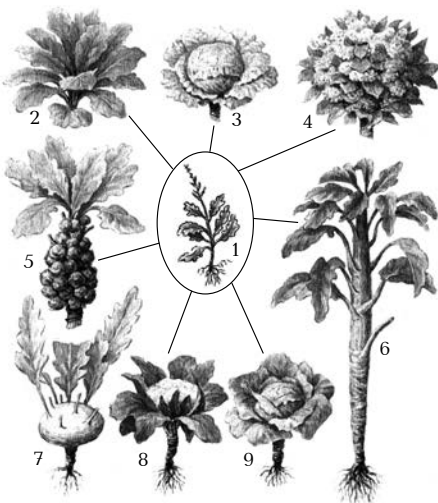


Рис. 16.4. Различные сорта капусты и их дикий предок: 1 — дикая капуста; 2 — листовая; 3 — савойская; 4 — брокколи; 5 — брюссельская; 6 — кормовая; 7 — кольраби; 8 — цветная; 9 — кочанная

по своему характеру. Например, число рулевых перьев у павлиньих голубей колеблется от 14 до 42; у одного сорта растений встречаются экземпляры с разной окраской цветков. Причина такого явления Ч. Дарвину была неизвестна, но, учитывая наследственный характер этой формы изменчивости, ученый придавал ей важное значение.

Ч. Дарвин установил, что многие признаки организмов взаимосвязаны между собой, и изменения одних органов неизбежно повлекут за собой изменение других. Так, для ряда копытных характерны длинные ноги и длинная шея, белые коты с голубыми глазами обычно глухи, у голубей с оперенными ногами имеются перепонки между пальцами. Ч. Дарвин сделал важный вывод: человек, отбирая какую-либо особенность строения, на основе законов корреляции будет неумышленно изменять другие части организма. Такую форму изменчивости Ч. Дарвин назвал *коррелятивной*, или *соотносительной*.

Далее Ч. Дарвин, используя понятие наследственности как способности организмов передавать свои признаки и свойства потомкам, делает вывод о том, что наследственность и изменчивость — всеобщие свойства организмов.

Ч. Дарвин обратил внимание на то, что домашние породы и сорта исключительно приспособлены к нуждам человека. Человек в ходе выведения пород и сортов накапливает различные изменения особей путем отбора организмов со строго определенными признаками. В ряду поколений такие изменения накапливаются и закрепляются. Значит, силой, формирующей новые устойчивые признаки породы (сорта), является искусственный отбор. *Искусственный отбор* — это процесс создания новых пород животных и сортов культурных растений путем систематического сохранения и размножения особей с определенными ценными для человека свойствами.

Для отбора важное значение имеет индивидуальная, неопределенная изменчивость. Особи с резко измененными признаками обычно сохраняются и используются человеком для создания новой породы. Так появилась анконская порода коротконогих овец, порода собак — такса, низкорослые сорта злаков.

Ч. Дарвин выделил две формы отбора — бессознательный и методический.

Бессознательный отбор проводился человеком на протяжении тысячелетий и существует до сих пор. Суть этого отбора заключается в том, что человек не ставит перед собой определенную цель по выведению породы (сорта). Он оставляет лучших особей для размножения, не задумываясь о конечном результате. Ч. Дарвин приводит такой пример: жители Огненной Земли

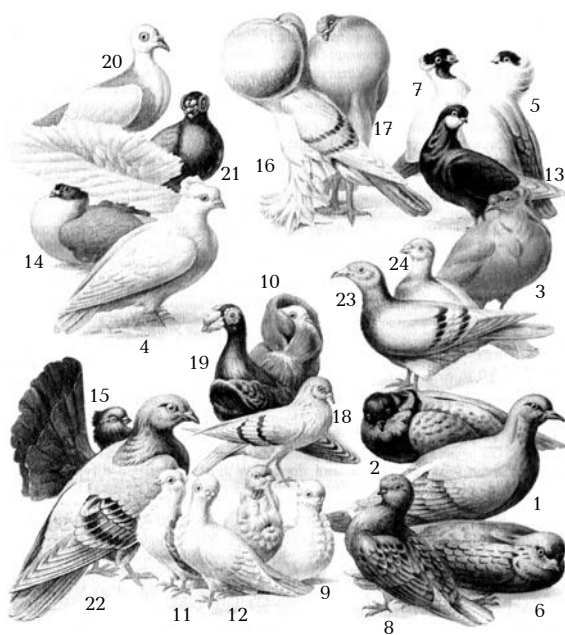


Рис. 16.5. Породы голубей: 1 — сизый скалистый голубь (исходная форма); 2 — бухарский голубь-барабанщик; 3 — немецкий голубь-барабанщик; 4 — кудрявый голубь; 5 — каллот («круглая шапочка»); 6 — берлинский турман; 7 — монах; 8 — «миндальный»; 9 — борохатый турман; 10 — «парниковый» голубь; 11 — египетский голубь; 12 — китайский чайкообразный; 13 — немецкий чайкообразный; 14, 15 — павлиньи; 16 — английский зобатый (дутыш); 17 — французский зобатый; 18 — брюннский зобатый; 19 — гонец; 20 — немецкий; 21 — кипрский; 22 — римский; 23 — антверпенский почтовый; 24 — малый почтовый

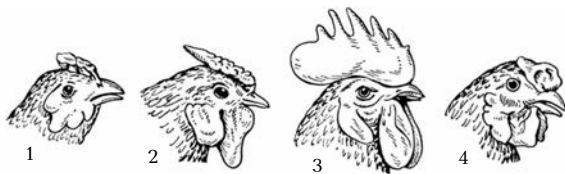


Рис. 16.6. Гребни петухов разных пород: 1 — гороховидный; 2 — розовидный; 3 — листовидный; 4 — ореховидный

поедали собак и кошек, которые хуже других отлавливали выдр. Действие этого отбора медленное.

Методический отбор человек проводит по одному-двум признакам в соответствии с определенной целью. Например, порода петуха испанского со стоячим гребнем была выведена путем отбора изменяющихся мужских особей породы со свисающим гребнем.

Условие успеха методического отбора — большое число исходных особей, так как чем больше особей, тем шире проявляется изменчивость и появляются лучшие возможности для отбора.

Человек, проводя методический отбор, накапливает интересные его наследственные признаки из поколения в поколение. Эти признаки влекут за собой появление других признаков (по законам корреляции), т. е. отбор не только усиливает тот или иной признак, но и может привести к перестройке организма в целом.

В механизме действия искусственного отбора по накоплению различий в ряду поколений Ч. Дарвин увидел прообраз основного механизма эволюционного процесса в природе — естественного отбора.

Учение Ч. Дарвина о естественном отборе. Определив факторы эволюции домашних животных и культурных растений, Ч. Дарвин ставит перед собой вопрос: применим ли принцип отбора в природе? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно было выяснить, подвержены ли изменчивости организмы, живущие в естественных условиях, и существуют ли в природе причины, вызывающие отбор.

Ученый доказывает существование изменчивости в природе множеством фактов. Например, муравьи хорошо отличаются друг друга от муравьев того же вида из чужого муравейника. Растения мака, выросшие из семян одной и той же коробочки, различаются мельчайшими особенностями. Все это доказывает существование индивидуальной изменчивости в природе. А поскольку существует изменчивость, есть и материал для отбора. Если породы домашних животных, выведенные человеком с помощью искусственного отбора, целесообразно приспособлены к потребностям человека, то любые виды организмов в природе приспособлены к жизни в определенных условиях внешней среды, так как особенности строения и функций организмов способствуют их выживанию.

Размышляя об этом, Ч. Дарвин пришел к представлению о *борьбе за существование*. Сущность этой идеи такова. Каждый вид стремится к размножению в геометрической прогрессии. Например, одна самка сельди выметывает в среднем 40 000 икринок, осетра — 2 000 000, лягушки — 10 000. На одном растении мака созревает 40 000 семян. Вместе с тем самки слонов за 60 лет рожают в среднем всего по 6 слонят. По расчетам Ч. Дарвина, даже при такой низкой интенсивности размножения через 750 лет потомство одной пары слонов составило бы 19 000 000 особей. Однако этого не происходит. Число особей каждого вида остается относительно постоянным. Значит, часть потомства гибнет, не достигнув половой зрелости. Причины гибели могут быть разными: враги, недостаток корма, действие неблагоприятных факторов среды и др. Ч. Дарвин заключает: «Так как производится более особей, чем может выжить, в каждом случае должна возникнуть борьба за существование...»

Другой важной причиной борьбы за существование (кроме перенаселения) Ч. Дарвин считал относительную приспособленность любого организма к окружающей среде.

Формы борьбы за существование. Понятие «борьба за существование» Ч. Дарвин рассматривал в «широком и метафорическом смысле». Во-первых, в термин «существование» ученый вкладывал не только жизнь данной особи, но и успех ее в оставлении потомства. Во-вторых, словом «борьба» обозначалась не столько борьба как таковая (т. е. как прямое «столкновение»), сколько конкуренция, соревнование между особями. Ч. Дарвин под

борьбой за существование подразумевал совокупность всех сложных взаимоотношений между организмом и внешней средой, определяющих успех или неудачу какой-либо особи в ее выживании и оставлении потомства. Когда лев отнимает добычу у гиены, подразумевается борьба за пищу. О растении на окраине пустыни можно сказать, что оно ведет борьбу против засухи, но точно так же предполагается, что оно зависит от влажности.

Ч. Дарвин выделил три формы борьбы за существование: меж- и внутривидовую и борьбу с неблагоприятными условиями среды.

Внутривидовая борьба происходит между особями одного вида. Подчеркивая роль перенаселения как фактора, который обуславливает борьбу за существование, Ч. Дарвин сделал вывод о том, что наиболее напряженной должна быть внутривидовая борьба. Это объясняется тем, что у особей одного вида потребности в пище, территории и других условиях существования одинаковые. Например, птицы одного вида конкурируют за места для устройства гнезд. Самцы многих видов млекопитающих и птиц в период размножения вступают в борьбу за право обзавестись семьей.

Межвидовая борьба происходит между особями разных видов, прежде всего в виде конкуренции за пищевые ресурсы и территорию. Один вид из-за своей лучшей приспособленности нередко вызывает снижение численности или исчезновение другого вида. Так, в Шотландии дрозд-деряба явился причиной уменьшения численности певчего дрозда, а американская норка, завезенная в Европу, вытесняет местную, европейскую норку. Травоядные животные смогут выжить и оставить потомство, если сумеют избежать хищников и будут обеспечены пищей. Однако растительной пищей питаются разные виды млекопитающих, насекомые, моллюски, птицы: что досталось одному, не достанется другому. Кроме того, существование трав зависит не только от поедания их животными, но и от условий произрастания, опыления и т. д.

Помимо конкуренции, к межвидовой борьбе относятся такие типы межвидовых взаимоотношений, как хищник — жертва, паразит — хозяин и др. (см. с. 420—425).

Борьба с неблагоприятными условиями внешней среды.

На выживаемость организмов заметное влияние оказывают факторы неживой природы. Например, в сильные морозы увеличивается смертность животных, обитающих в почве (кротов, дождевых червей). Семена растений, попадая в неблагоприятные условия, не прорастают. Эта форма борьбы является основной, когда один из факторов среды оказывается в дефиците. Так, при дефиците влаги в пустыне борьба за существование среди растений сводится к экономному расходованию воды. Формируются приспособления в виде листьев-колючек, длинных корней и др. Все формы борьбы за существование сопровождаются гибелью (элиминацией) одной части особей, которые не оставят потомства, поэтому борьба за существование является элиминирующим фактором. Другая часть особей оказывается способной преодолеть неблагоприятные условия и дает потомство.

Естественный отбор. Почему же одни особи гибнут, а другие выживают? В результате изменчивости особей в каждом поколении любого вида возникает неоднородность, следствием которой является неравноценность особей по отношению к среде, т. е. их биологическая разнокачественность. В борьбе за существование выживают и оставляют потомство организмы, обладающие комплексом свойств и признаков, которые позволяют наиболее успешно конкурировать с другими организмами.

Схема действия естественного отбора в системе вида по Ч. Дарвину

1. Изменчивость свойственна любой форме животных и растений, и организмы отличаются друг от друга по многим признакам.
2. Число организмов каждого вида, рождающихся на свет, больше того числа, которое может выжить, поэтому большая часть потомства гибнет.
3. Поскольку рождаются больше особей, чем может выжить, происходит борьба за существование, конкуренция за пищу и место обитания.
4. Из многих типов изменений, наблюдающихся у живых существ, одни способствуют их выживанию в борьбе за существование, другие — наоборот. Конкуренция «выживания» наиболее приспособленных — ядро теории естественного отбора.
5. Выживающие особи дают начало следующему поколению, и таким образом значительные изменения наследуются. Если естественный отбор действует на протяжении многих лет, то последние потомки могут настолько отличаться от предков, что их можно выделить в самостоятельный вид.

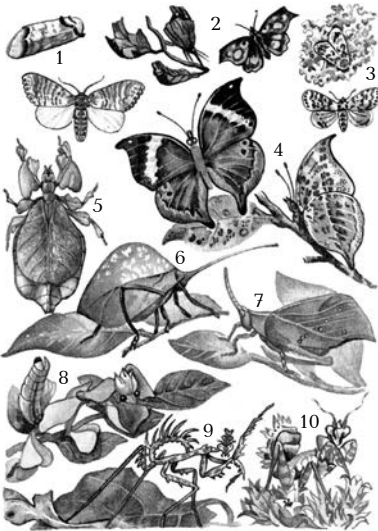


Рис. 16.7. Покровительственная окраска и форма тела у насекомых: 1 — лунка серебристая; 2 — бабочка-носачка; 3 — совка-лишайница; 4 — каллима; 5 — листовидка «бродячий лист»; 6 — южноамериканский кузнечик; 7 — южноазиатский кузнечик; 8 — личинка южноамериканского богомола; 9 — лишайниковый богомол; 10 — африканский богомол



Рис. 16.8. Покровительственная и расклевывающая окраска рыб: 1 — саргассова рыба; 2 — рыба-лист; 3 — черноморская скорпена; 4 — рыба-бабочка; 5 — возничий; 6 — хирург; 7 — хромис; 8 — плеткоринхус; 9 — малый рыцарь

Таким образом, в природе постоянно происходит процесс избирательного уничтожения одних особей и преимущественного размножения других — явление, названное Ч. Дарвином естественным отбором, или выживанием наиболее приспособленных.

Суть естественного отбора сводится к постепенному накоплению и сохранению мелких полезных уклонений. Например, даже незначительное удлинение хоботка у пчелы позволяет ей добыть нектар из цветков, недоступных для других пчел. Пчелы с более длинным хоботком будут иметь преимущество перед теми, у которых сохраняется в поколениях нормальная длина хоботка.

Отбор происходит непрерывно на протяжении бесконечного ряда следующих друг за другом поколений, в каждом из них будут сохраняться те формы, которые соответствуют данным условиям среды.

Возможно, что от одного предкового вида при условии изоляции могут возникнуть два разных вида и более. Это произойдет в том случае, если разные группы особей приобретут неодинаковые изменения, дающие им возможность приспособиться к разным условиям среды.

Следовательно, естественный отбор включает в себя два взаимосвязанных, хотя и противоположных процесса: 1) выживание и обеспечение большого потомства форм с полезными уклонениями; 2) устранение форм с неблагоприятными уклонениями. Взаимодействие этих двух процессов естественного отбора совершенствует организмы и создает наибольшую приспособленность их к среде обитания.

Основные результаты эволюции по Ч. Дарвину. Важнейшим результатом эволюции по Ч. Дарвину является *приспособление организмов разных видов к условиям существования*. Ч. Дарвин приводит множество доказательств приспособленности организмов, появившейся благодаря действию естественного отбора. Так, защитная, или покровительственная, окраска наблюдается у представителей разных групп животного мира, в особенности у насекомых и позвоночных (рис. 16.7, 16.8). У них вырабатывается окраска, соответствующая основному фону окружающей среды. С такой окраской животное менее заметно для врагов, а хищник легче найдет себе добычу. Прозрачность тела медуз, некоторых ракообразных, ланцетника служит для них прекрасной защитой в толще воды. Покровы обитателей пустыни, как правило, окрашены под цвет песка, а на Крайнем Севере куропатки, совы, песцы, медведи имеют белый цвет.

Многие животные обладают *предупреждающей и угрожающей окраской* (рис. 16.9). Обычно они снабжены специальными защитными приспособлениями от поедания их другими животными или являются несъедобными (например, божья коровка). Многие животные, не имеющие специальных средств защиты, подражают защищенным видам. Это явление называется *мимикрия* (рис. 16.10). Ч. Дарвин доказал, что любые самые сложные приспособления (для перекрестного опыления у растений, органы полета у птиц и летучих мышей, инстинкты у животных) выработаны естественным отбором путем накопления и усиления полезных уклонений.

Вместе с тем ученый установил, что приспособления относительны. Любое приспособление хорошо только в тех условиях среды, в которых оно формировалось. Например, стриж, имея длинные крылья, прекрасно летает и ловит добычу на лету, но совершенно беспомощен на земле. К тому же любое приспособление не бывает абсолютно совершенным. Так, жгучие волоски крапивы защищают ее от поедания улитками, однако не спасают от гусениц бабочки-крапивницы. Ядовитые железы змей не защищают их от ежей и змееедов. Благодаря относительному характеру приспособлений для естественного отбора всегда есть неограниченное поле деятельности. Однако среда жизни изменчива, и приспособления, которые полезны в прежних условиях, оказываются менее полезными в новой обстановке. Это изменяет направление отбора и приводит к появлению новых приспособлений.

Вскрывая причины возникновения адаптации, Ч. Дарвин объясняет тем самым путь образования новых видов. Он показал, что в основе видообразования лежит *дивергенция* (расхождение) признаков как результат естественного отбора.

Многообразие видов живых организмов — другой важный результат эволюции. Благодаря разнообразию органических форм усложняются взаимоотношения между организмами в природе. Преимущества получают наиболее высокоорганизованные формы, что обеспечивает развитие органического мира от низших форм к высшим. Ч. Дарвин не отрицал возможности упрощения организации организмов, а также такого направления, которое не приводит ни к усложнению, ни к упрощению.

Эволюционная теория Дарвина представляет собой целостное учение об историческом развитии органического мира. Она охватывает широкий круг проблем, важнейшими из которых являются доказательства эволюции, выявление движущих сил эволюции, определение путей и закономерностей эволюционного процесса и др.

Основные положения эволюционного учения Ч. Дарвина:

1. Все виды живых существ, населяющих Землю, никогда не были кем-то созданы.

2. Возникнув естественным путем, органические формы медленно и постепенно преобразовывались и совершенствовались в соответствии с окружающими условиями.

3. В основе преобразования видов в природе лежат такие свойства организмов, как наследственность и изменчивость, а также постоянно происходящий в природе естественный отбор. Естественный отбор осуществляется через сложное взаимодействие организмов друг с другом и с факторами неживой природы; эти взаимоотношения Дарвин назвал борьбой за существование.

4. Результатом эволюции являются приспособленность организмов к условиям их обитания и многообразие видов в природе.



Рис. 16.9. Угрожающая окраска и поза угрозы: а — глазчатый бражник; б — тарантул

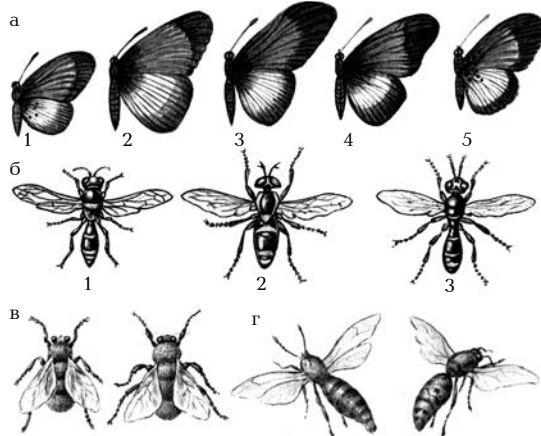


Рис. 16.10. Защитное сходство у насекомых: а — три несъедобных вида африканских бабочек (1—3) и два незатраченных вида (4—5); б — хорошо защищенная оса-одиночка (1) и подражающие ей муха сирфидка (2) и муха большеголовка (3); в — муха шмелевидка (слева), похожая на шмеля (справа); г — бабочка осовидка (слева), похожая на осу (справа)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭВОЛЮЦИИ

Развитие эволюционной теории в последарвиновский период. Книга Ч. Дарвина «Происхождение видов» менее чем за год была трижды переиздана, что свидетельствует о назревшем к тому времени интересе к эволюционной идее. Распространению и признанию эволюционной идеи способствовала дальнейшая работа самого Ч. Дарвина, а также популяризация этой идеи многочисленными учеными.

Наиболее яркими и последовательными защитниками теории Ч. Дарвина были Т. Гексли (Англия), Э. Геккель (Германия), А. Грей (США). В одной из работ Т. Гексли назвал эволюционную теорию Ч. Дарвина дарвинизмом. Это название нового направления прочно укрепилось в науке. В России активно выступали за дарвинизм братья Александр Онуфриевич (эмбриолог) и Владимир Онуфриевич (палеонтолог) Ковалевские, известные физиологи И. М. Сеченов, М. И. Мечников и И. П. Павлов. Всю жизнь посвятил творческому развитию эволюционной идеи и защите ее от противников К. А. Тимирязев.

Под влиянием эволюционной теории Ч. Дарвина многие биологические науки, такие как эмбриология, сравнительная морфология, физиология, систематика, палеонтология и др., начали рассматривать результаты исследований с позиций теории эволюции.

Несмотря на переворот, произведенный эволюционной теорией в биологии, сама теория Ч. Дарвина принималась далеко не всеми. Многие ученые принимали ее с оговорками либо подвергали серьезной критике.

Природа неопределенной изменчивости оставалась неизвестной. Большинство исследователей считало, что гибриды имеют черты промежуточного характера по сравнению с родительскими: например, мул — гибрид осла и лошади — имеет черты обоих видов. Английский натуралист Ф. Дженкин высказал мысль, что случайно появившийся у отдельной особи полезный признак в группе организмов постепенно будет нивелирован скрещиванием с обычными особями и через несколько поколений сойдет на нет. Поэтому постепенное образование новых биологических видов путем сохранения благоприятных признаков естественным отбором невозможно. Дарвин не смог опровергнуть это утверждение и назвал его «кошмар Дженкина».

Кризис эволюционной теории в начале XX в. В 1900 г. трем ботаникам — Г. де Фризом (Голландия), К. Корренсом (Германия) и Э. Чермаком (Австрия) независимо друг от друга были переоткрыты законы Менделя. После этого начинает интенсивно развиваться генетика. Первые открытия генетики — материальная природа наследственности и выявление мутационной изменчивости — вызвали кризис эволюционной теории. Открытие мутаций навело на мысль о том, что наследственные изменения фенотипа происходят внезапно, а не формируются длительное время, как считали последователи учения Ч. Дарвина. Многие генетики того времени не сумели правильно оценить значение этих открытий для развития эволюционной теории. Они абсолютизировали постоянство генов, отрицали творческую роль естественного отбора, приписывая ему роль браковщика неудачных комбинаций генов.

Датский ученый В. Иоганнсен (1857—1927), работая с семенами фасоли в течение семи лет, пришел к выводу, что из одного чистого сорта нельзя получить два новых. По мнению Иоганнсена, отбор не способен создавать приспособительные особенности, а является лишь механическим ситом, группирующим готовые различия, имеющиеся в наследственной природе организма (рис. 16.11). Образование новых видов объяснялось перекомбинацией генов либо внезапным, скачкообразным появлением крупных мутаций.

Эти критические взгляды получили название *генетического антидарвинизма*.

Преодоления кризиса эволюционной теории. Кризис продолжался до тех пор, пока не была осознана ошибочность противопоставления генетики дарвинизму.

Первый шаг на пути объединения генетики и дарвинизма был сделан английским математиком Г. Харди и немецким врачом В. Вайнбергом (1909). Они показали, что в условиях свободного скрещивания особой многочисленной изолированной популяции и при отсутствии давления отбора и возникновения мутаций частота гомозиготных и гетерозиготных организмов остается постоянной, т. е. находится в состоянии равновесия. При этом накопленные в генофонде наследственные изменения не исчезают.

Значительный вклад в преодоление кризиса эволюционной теории внес российский ученый С. С. Четвериков. В 1926 г. была опубликована его работа «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики», в которой были заложены основы популяционной генетики. Ученым была установлена связь генетики с теорией эволюции. Он показал, что популяция — это особый уровень организации живого, на котором осуществляются элементарные эволюционные явления. В природе постоянно происходит мутационный процесс, благодаря чему в популяциях накапливаются мутации, являющиеся скрытым резервом наследственной изменчивости.

Примерно в то же время происходит сближение классического дарвинизма с экологией. Экспериментальные исследования, проведенные российским ученым Г. Ф. Гаузе и др., показали, что борьба за существование является реальным фактом в природе. В 20—30-е гг. XX в. наметился комплексный генетико-экологический подход к изучению эволюции, позволивший преодолеть кризисное состояние эволюционной теории и создать синтетическую теорию эволюции, которая развивает и углубляет основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина.

Синтетическая теория эволюции (СТЭ). Синтетическая теория эволюции — это комплекс представлений об эволюционном процессе, возникший в результате объединения положений классического дарвинизма с учением о мутациях и представлением о популяции как элементарной единице эволюции. В отличие от эволюционной теории Ч. Дарвина, СТЭ раскрывает механизм эволюционного процесса.

Основы СТЭ были заложены в ряде научных работ, опубликованных в конце 30-х — начале 40-х гг. XX в.

Название синтетической теории эволюции происходит от названия книги одного из авторов теории английского ученого Дж. Хаксли «Эволюция. Современный синтез» (1942). В этой книге он удачно характеризует две особенности СТЭ: первая — современная теория эволюции сложилась как обобщение результатов, полученных в области различных биологических наук; вторая — слово «синтетическая» соответствует коллективному творчеству ее создателей, поскольку в ее разработку внесли свой вклад более 50 ученых из разных стран. В создании синтетической теории эволюции приняли

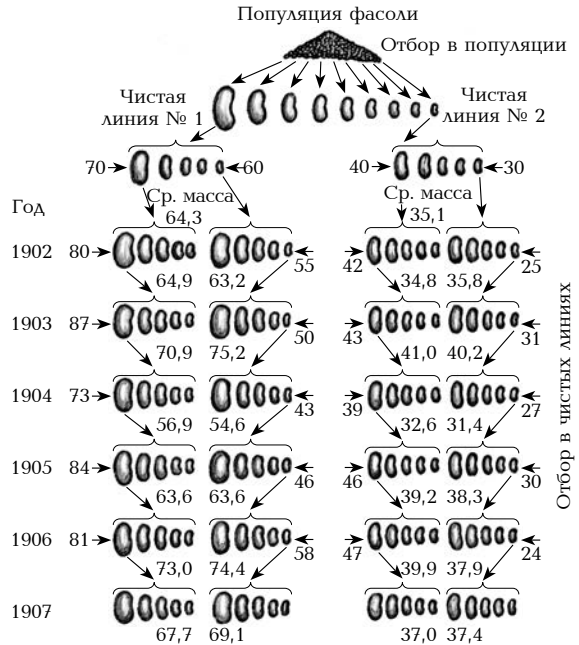


Рис. 16.11. Ход и результаты опытов В. Иогансена

участие такие выдающиеся биологи, как С. С. Четвериков, Н. В. Тимофеев-Ресовский, И. И. Шмальгаузен, Ф. Г. Добржанский и др.

Популяция — элементарная единица эволюции. Эволюционный процесс может осуществляться только в группе особей. В эволюционной теории Ч. Дарвина единицей эволюции признавался вид в целом или отдельные подвиды. Синтетическая теория эволюции такой единицей считает популяцию.

Каждая популяция характеризуется отличительными признаками: однородным по географическим и климатическим условиям ареалом, определенной численностью, возрастным и половым составом и, главное, своим уникальным **генофондом** — совокупностью генов всех особей популяции. В разных популяциях генофонды отличаются набором и количественным соотношением аллелей в силу неодинакового воздействия условий окружающей среды.

Предпосылки (элементарные факторы) эволюции. Стойкие, происходящие на протяжении нескольких поколений изменения генофонда популяции в одном и том же направлении называются **элементарным эволюционным явлением**. События и процессы, способствующие изменению генофонда популяции и делающие разнокачественными ее особей, называются **элементарными факторами эволюции**, или **предпосылками эволюции**. Предпосылками эволюции являются мутации, их комбинации, миграции, популяционные волны, дрейф генов, а также изоляция.

Мутации. Мутационный процесс — постоянно действующий источник наследственной изменчивости в популяции. Генные мутации, затрагивающие доминантные гены, а также хромосомные и геномные мутации чаще всего снижают приспособленность организмов и не так важны для эволюции, хотя известно, что в природе полиплоидные формы растений имеют преимущество перед диплоидными.

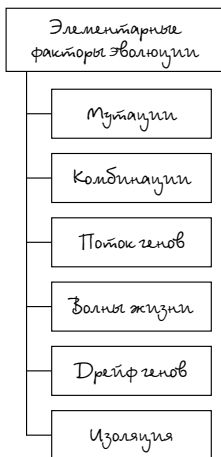
Особая роль в изменении генетической структуры популяции принадлежит генным рецессивным мутациям. Подсчитано, что в популяции, в состав которой входит от 100 тыс. до 1 млн особей (гамет), в среднем одна гамета несет мутацию в определенном локусе. А так как мутируют одновременно многие гены (а у некоторых форм их десятки тысяч), то 10—25 % особей (гамет) несут те или иные мутантные аллели. В связи с этим популяция насыщена самыми разнообразными мутациями, чаще всего снижающими жизнеспособность организмов. Однако мутации, не оказывающие отрицательного воздействия на особь, включаются в генофонд популяций в скрытом рецессивном состоянии. Именно этот вид мутаций играет важную роль в эволюции.

Популяция, как губка, накапливает такие мутации, при этом ее приспособленность не нарушается. Следовательно, рецессивные мутации представляют собой «скрытый резерв наследственной изменчивости», что важно для эволюционного процесса.

Популяции на протяжении многих поколений стабильны и относительно однородны. Это объясняется действием естественного отбора. При распространении мутаций в гетерозиготах (Aa_1) возрастает вероятность проявления гомозиготных форм по рецессивному гену (a_1a_1), и мутация проявится фенотипически. А поскольку отбор идет по фенотипу, возможность сохранения мутанта будет определяться степенью нарушения приспособленности этой особи. Сильно уклонившиеся формы устраняются отбором. Таким образом поддерживается внешняя стабильность популяции.

Следовательно, фенотипически однородная природная популяция является гетерогенной, что обуславливает ее возможность эволюционировать.

Сами по себе мутации лишь создают материал для естественного отбора. Они не определяют направления эволюции, так как возникают случайно и не имеют приспособительного значения.



Материал для эволюционного процесса дает и *комбинативная изменчивость*. При скрещивании особей с разными мутациями и разными признаками возникают новые сочетания генов, что увеличивает разнообразие особей в популяции и создает материал для действия естественного отбора.

Важную роль в изменении генетической структуры популяции играет также *модификационная изменчивость*, которая позволяет мутациям накапливаться в популяции в колеблющихся условиях среды.

Миграции особей из популяции в популяцию также являются важным источником генетического разнообразия популяции. Благодаря свободному скрещиванию при миграции происходит обмен генами между особями популяции одного вида (*поток генов*). При этом гены мигрирующих особей включаются при скрещивании в генофонд популяций. В результате генофонд популяций обновляется.

Популяционные волны (волны жизни) — колебания численности особей в популяции. Их причинами могут быть различные изменения окружающей среды: засуха, наводнения, снежные зимы, болезни, наличие паразитов, врагов, нехватка кормовых ресурсов и др. В урожайные годы численность особей в какой-либо популяции может повыситься, вслед за чем произойдет ее спад. Например, увеличение количества зайцев через некоторое время приводит к возрастанию числа их потребителей — волков и рысей из-за недостаточного количества пищи (зайцев). В последующие годы число хищников снизится, так как за счет истребления уменьшится количество зайцев.

С. С. Четвериков отмечал большое эволюционное значение «волн жизни», поскольку они приводят к изменению концентраций аллелей в генофонде популяций. При снижении особей в популяции из ее генофонда могут выпасть редкие аллели, и при возрастании количества особей, наоборот, такие аллели могут распространяться. Таким образом, популяционные волны случайны и служат поставщиком эволюционного материала.

В малочисленных популяциях (менее 500 особей), просуществовавших на протяжении многих поколений в изоляции от других популяций своего вида, влияние случайных факторов может выйти на первый план по отношению к действию отбора. Случайное изменение концентраций аллелей в популяции называется *дрейфом генов*.

Дрейф генов непредсказуем. Небольшую популяцию он может привести к гибели, а может сделать ее еще более приспособленной к данной среде и усилить ее отличие от других популяций вида.

Важным эволюционным фактором является изоляция. *Изоляция* — возникновение любых барьеров, ограничивающих свободное скрещивание. Различают пространственную (наличие высоких гор, лесных массивов, крупных водоемов и др.) и биологическую изоляцию. Пространственная (географическая) изоляция отдельных популяций вида может привести к существенному различию между особями разных популяций, генетической несовместимости и, следовательно, нескрещиваемости, в итоге, к возникновению новых видов. Биологическая изоляция может возникать на одной территории между группами особей в пределах одной популяции. Причиной биологической изоляции является изменение поведения, морфологических, физиологических и других признаков, различия в которых препятствуют свободному скрещиванию. Например, в озере Севан (Армения) обитает несколько стад форели, которые вместе питаются, однако для размножения особи каждого стада направляются в особые места.

Изоляция как эволюционный фактор не создает новых генотипов или внутривидовых форм. Ее значение в эволюции состоит в том, что при отсутствии обмена генами между популяциями в генофонде каждой из них со временем возникают различные мутации и изменяются частоты встречаемости аллелей, поэтому изолированные популяции адаптируются к внешней среде

независимо одна от другой. Таким образом, изоляция — это необходимое условие возникновения внутривидовой дивергенции.

Таким образом, мутации, их комбинации, миграции, популяционные волны, дрейф генов, изоляция — ненаправленные факторы эволюции. В природе они действуют совместно, однако роль каждого может усиливаться в конкретной обстановке. Все эти факторы обеспечивают генетическую неоднородность популяций.

Движущие силы эволюции. Действие элементарных факторов эволюции, как было показано выше, носит ненаправленный характер. В то же время эволюция не хаотичный процесс. Она связана с выработкой новых приспособлений, образованием новых видов, прогрессивным развитием живой природы. В основе такого направленного эволюционного процесса лежит естественный отбор. Это единственный фактор, который, действуя в гетерогенной популяции, определяет направление эволюционного процесса. Необходимым условием естественного отбора, по Ч. Дарвину, является борьба за существование. С современной точки зрения именно через борьбу за существование осуществляется действие естественного отбора.

Борьба за существование. Ч. Дарвин считал главной причиной борьбы за существование противоречие между способностью организмов к размножению в геометрической прогрессии и ограниченностью средств их существования (пища, территория). Однако углубленное изучение этого процесса показало, что борьба за существование — явление сложное и его невозможно свести только к трем дарвиновским формам борьбы за существование. В современном понимании *борьба за существование* — это любые противоречивые взаимоотношения между особями одного или разных видов.

Ареной борьбы за существование является экосистема, где проявляются все противоречия между организмами: борьба за пищу, воду, территорию, свет, за партнера при спаривании и т. п.

В синтетической теории эволюции выделяют две основные формы борьбы за существование: прямая борьба и конкуренция.

Прямая борьба проявляется в непосредственном столкновении организмов друг с другом. Она может быть внутривидовой и межвидовой, активной и пассивной. Межвидовые взаимоотношения могут быть выражены в форме хищник — жертва, паразит — хозяин (рис. 16.12).

Прямая борьба является причиной появления у растений таких приспособлений, как колючки, плотная кутикула, длинные корни и др. У животных совершенствуются поведенческие реакции (скрытый образ жизни), способность защищаться от паразитов (приобретение иммунитета), морфологическая и физиологическая организация (развивается способность к быстрому бегу, обостряются слух, зрение, обоняние). Важно отметить, что в результате борьбы за существование эволюционируют оба звена. Например, всякое совершенствование жертвы влечет за собой изменение у хищников тех признаков, которые связаны с поиском жертвы, и наоборот.

Конкуренция — это взаимоотношения между живыми организмами, соревнующимися за одни и те же ограниченные жизненные ресурсы, за возможность размножения и т. д. В основе этого процесса лежат различия между особями, дающие им возможность победить в конкурентной борьбе, т. е. в конечном итоге сохранить потомство и собственную жизнь. Конкуренция, как и прямая

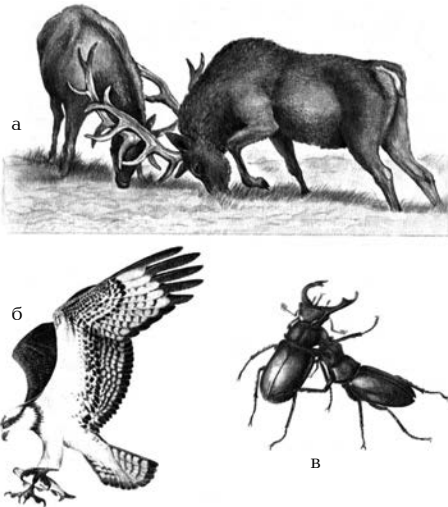


Рис. 16.12. Прямая борьба: а — турнирный бой оленей; б — скопа питается рыбой; в — борьба жуков-оленей

борьба, может быть внутри- и межвидовой. Конкуренция играет важную роль в эволюционном процессе, так как именно в состязаниях проявляются различия между организмами.

Выделяют трофическую, топическую и репродуктивную разновидности конкуренции.

Трофическая конкуренция обусловлена потребностями в одинаковой пище при ее недостатке. Она происходит между особями как одного (например, молодые сосны в лесу), так и разных (например, культурные растения-сорняки, разные виды растений в смешанном лесу) видов (рис. 16.13). У животных внутривидовая конкуренция может завершаться каннибализмом. Трофическая конкуренция является важной причиной совершенствования морфофизиологических признаков и поведенческих реакций, связанных с добычей или использованием пищи. Например, эволюция двух видов хищников, конкурирующих за одинаковую пищу, идет по пути развития способности к быстрому бегу, совершенствованию органов слуха, зрения, обоняния.

Топическая конкуренция происходит между организмами на фоне действия общих абиотических факторов. Например, зимой выживают животные, имеющие более теплый мех или более благоустроенные норы. В жаркую погоду преимущество получают те растения, которые более экономно расходуют влагу или испаряют меньше воды. На приспособленность организмов к неблагоприятным условиям влияют и биотические факторы. Например, белая окраска зайца-беляка или куропатки возникла в процессе эволюции не как приспособление к снежному покрову, а как защита от общих врагов (лисы, совы). Таким образом, в результате топической конкуренции у организмов вырабатывается ряд приспособлений к выживанию в неблагоприятных условиях среды.

Репродуктивная конкуренция выражается в борьбе за воспроизведение потомства. У растений эта форма борьбы ведет к совершенствованию опыления, оплодотворения, распространения семян и плодов, обеспечения зародышей запасом питательных веществ и др. У животных наблюдается усиление вторичных половых признаков (яркое оперение, сильные запахи, брачное поведение и пр.) (рис. 16.14).

Показателем успеха в борьбе за существование служит соотношение между числом родившихся особей и числом особей, которые достигли половой зрелости и приняли участие в размножении.

Естественный отбор. Ч. Дарвин определил естественный отбор как сохранение особей с полезными и гибель особей с вредными индивидуальными отклонениями — «переживание наиболее приспособленных». Однако эта формулировка недостаточно полно отражает некоторые генетические последствия отбора. Первичный отбор, опираясь на фенотипы, обеспечивает воспроизведение одних генотипов и устранение других. В процессе отбора важны не столько выживание или гибель особей, сколько вклад каждой особи в генофонд популяции. Большой вклад внесет та особь, которая оставит более многочисленное потомство. Отсюда под *естественным отбором* следует понимать избирательное воспроизведение разных генотипов.

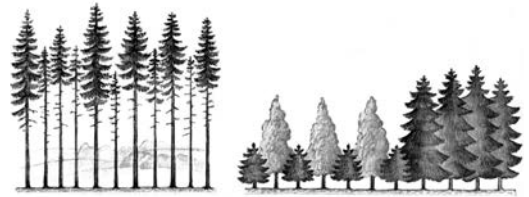


Рис. 16.13. Трофическая конкуренция среди растений

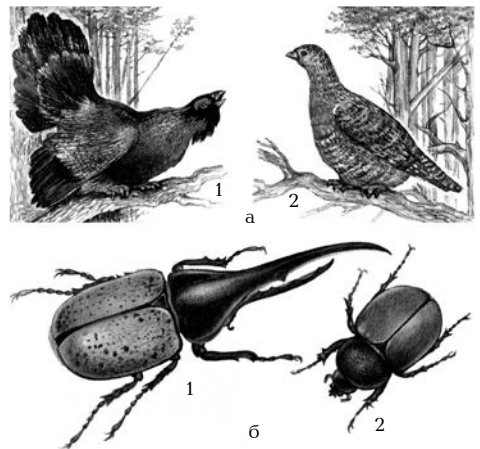


Рис. 16.14. Половой диморфизм (а — глухарь; б — жук-геркулес): 1 — самец; 2 — самка

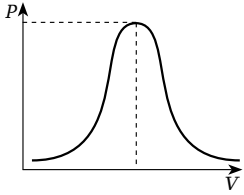


Рис. 16.15. Изменчивость признака в популяции: V — варианты признака; P — частота встречаемости вариантов признака (количество особей с данной выраженностью признака)

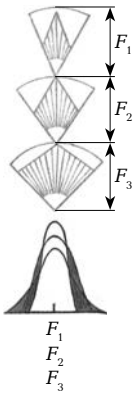


Рис. 16.16. Схема действия стабилизирующего отбора (F — поколения; на популяционных кривых заштрихованы элиминируемые варианты)



Рис. 16.17. Схема действия движущего отбора

Механизм действия естественного отбора, по современным представлениям, можно представить следующим образом.

Любая популяция является гетерогенной по генотипу и фенотипу (рис. 16.15). Это обуславливает неравнозначность организмов в борьбе за существование. В ходе борьбы более конкурентоспособные особи сохраняются и дают потомство. В результате преимущественного размножения одних организмов и гибели других популяция изменяется в сторону более ценных генотипов. Если их фенотипы и в следующем поколении в конкретных условиях окажутся адаптивно полезными, то эти особи снова будут отобраны в процессе естественного отбора. Если же изменения признаков не будут способствовать выживанию особей, то отбор такие формы будет устранять и популяция сохранит старую структуру. В популяциях может возникнуть одновременно несколько полезных признаков. Сохраняя их, отбор приведет к увеличению многообразия особей (генотипов) популяции. Таким образом, естественный отбор дифференцирует размножение определенных организмов (с определенными фенотипами) в популяциях, изменяет соотношение их генотипов.

Выделяют две формы естественного отбора: стабилизирующий и движущий отбор.

Стабилизирующий отбор сохраняет в популяции среднюю ранее сформировавшуюся норму признака. Такой отбор действует в относительно постоянных условиях среды и направлен на устранение крайних вариантов изменчивости в популяциях (рис. 16.16). Показателем эксперимента, проведенного самой природой. После снегопада и сильных ветров в одном из районов Северной Америки было найдено 136 оглушенных домовых воробьев; 72 из них выжили, а 64 погибли. У погибших были очень длинные или очень короткие крылья. Воробьи, имеющие средние размеры крыльев, выжили. Таким образом, при стабилизирующем отборе наблюдается сужение нормы реакции признаков. Действием этой формы отбора можно объяснить существование реликтовых форм (гаттерия, секвойя, латимерия и др.) в регионах, где длительное время сохраняются стабильные условия среды их обитания.

Вторая форма естественного отбора — **движущий отбор**. В противоположность стабилизирующему эта форма отбора способствует изменениям организмов. Его суть заключается в том, что при постоянном изменении в определенном направлении условий среды происходит смещение нормы реакции одного или нескольких признаков организмов (рис. 16.17, 16.18). Такой отбор способствует закреплению новой формы взамен старой, пришедшей в несоответствие с изменившейся средой. Как правило, действие естественного отбора становится заметным через большие промежутки времени, хотя иногда движущий отбор может проявляться очень быстро в ответ на неожиданные и сильные изменения внешних условий.

Классическим примером движущего отбора является «промышленный меланизм» бабочек. В промышленных городах Англии за 100 лет в популяциях ночной бабочки березовой пяденицы изменилось соотношение светло- и темноокрашенных форм. Преимущество получили меланические формы — особи с темной окраской, так как птицы их не замечают на темных закопченных стволах деревьев (рис. 16.19). Значение движущего отбора в эволюции заключается в выработке у живых организмов приспособлений в условиях изменяющейся окружающей среды.

Творческая роль естественного отбора. Роль естественного отбора не сводится только к отсеиванию отдельных нежизнеспособных организмов, так как движущий отбор сохраняет не отдельные признаки организма, а весь их комплекс, все присущие организму комбинации генов. Таким образом отбор создает приспособления и виды, убирая из генофонда неэффективные с точ-

ки зрения выживания генотипы. В этом состоит творческая роль естественного отбора.

Приспособления — основной результат эволюции. В ходе естественного отбора возникают или совершенствуются многообразные биологические адаптации (приспособления) (лат. *adaptatio* — приспособление, прилаживание) организмов к условиям окружающей среды, в которых протекает жизнь популяций. Например, общие адаптации, к которым относится приспособленность организмов к обитанию в воде или приспособленность конечностей позвоночных животных к наземной среде, или частные адаптации: приспособленность к бегу у лошади, антилопы, страуса, рытью у кротов, слепышей или лазанью по деревьям (обезьяны, древесные лягушки, дятлы, поползны и др.).

Яркими примерами приспособлений особей разных видов являются средства пассивной защиты организмов, наличие которых определяет большую вероятность выживания особей. Такими приспособлениями являются: твердые защитные покровы у животных (хитиновый покров членистоногих, раковины моллюсков, роговые чешуи рептилий, панцирь черепах); иглы и колючки (кактус, молочай, шиповник, боярышник, еж, дикобраз); жгучие волоски (крапива, борщевик, шалфей); все типы маскировки (покровительственная окраска, мимикрия, предостерегающая окраска и др.).

В числе адаптаций — способность организмов поддерживать постоянную температуру тела, концентрация солей и глюкозы в крови и т. п., строго упорядоченные процессы синтеза белков в клетках, расщепление веществ с помощью ферментов, образование глюкозы и других органических соединений в ходе фотосинтеза и т. д.

Интересные приспособления выработались у некоторых ныряющих животных, проводящих значительное время под водой. Тюлени, например, ныряют на глубину до 600 м и находятся под водой до 40—60 мин. Обходиться без доступа воздуха в течение такого времени им позволяет наличие в мышцах большого количества сложного белка — миоглобина, который способен связывать кислород в 10 раз больше, чем гемоглобин. Примерами адаптаций являются сложные поведенческие реакции животных (нахождение укрытий от неблагоприятных климатических факторов и врагов, добывание и запасание пищи, поиск партнеров для спаривания, брачные ритуалы), забота о потомстве (строительство гнезд, насиживание яиц, выкармливание потомства, защита его от врагов) и многое другое.

Адаптациями являются также соответствия в строении копулятивных органов самок и самцов, взаимные приспособления у детеныша и матери к вскармливанию молоком, звуковые, зрительные, обонятельные сигналы, способствующие отысканию особей противоположного пола в брачный период, периодические скопления особей на нерестилищах (рыбы, земноводные), токах (птицы), где происходит отбор самок и самцов для образования потомства.

Примером адаптации является временное объединение особей в группы (стада, стаи) для выживания в крайне неблагоприятных климатических условиях. Во время резкого похолодания пингвины сбиваются в тесную группу. Особи в ней постоянно перемещаются, что дает возможность попавшим в ее середину согреться от других. Зимой несколько семей волков могут объединяться в стаи для более успешной охоты.

Относительность приспособленности. Особи разных видов хорошо приспособлены к условиям существования. Однако любые приспособления полезны

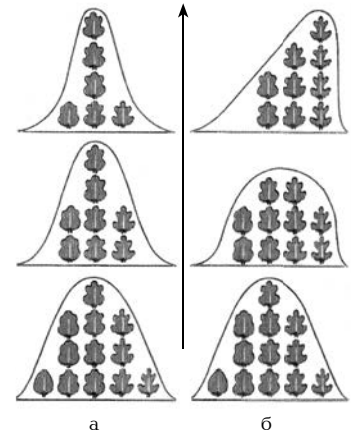


Рис. 16.18. Общая схема действия стабилизирующего (а) и движущего (б) отбора

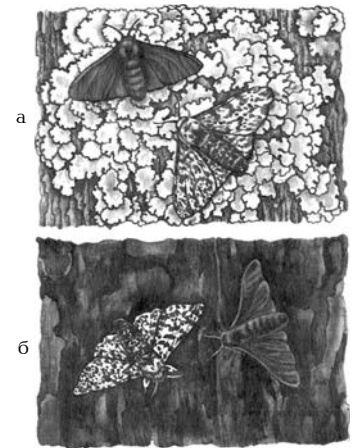


Рис. 16.19. Формы бабочки березовой пяденицы



Рис. 16.20. Заяц, лишенный возможности стачивать непрерывно растущие резцы

(целесообразны) только в обычной для вида обстановке. При изменении условий среды они могут оказаться бесполезными или даже вредными. Например, постоянный рост резцов у грызунов и зайцеобразных — очень важная и полезная адаптация, но лишь при питании твердой пищей. Если же крысу или зайца кормить мягкой пищей, то резцы, не стачиваясь, вырастут до таких размеров, что самостоятельное питание животных станет невозможным (рис. 16.20).

ВИДООБРАЗОВАНИЕ

Факторы видообразования. Видообразование — процесс возникновения одного или нескольких новых видов на основе существовавшего ранее. У организмов, размножающихся половым способом, вид представляет совокупность связанных между собой популяций. Пока особи разных популяций внутри вида хоть изредка могут скрещиваться между собой и давать плодотворное потомство, т. е. пока существует поток генов из одной популяции в другую, вид остается целостной системой. Однако если между отдельными популяциями или группами популяций возникнут какие-либо препятствия, затрудняющие обмен генами, и изоляция, это приведет к расчленению вида. *Изоляция* — это постоянное ограничение свободного скрещивания особей разных популяций или внутри одной популяции. Изолированные группы популяций, отдельные популяции или изолированные части одной и той же популяции могут эволюционировать самостоятельно, что в конечном итоге может привести к возникновению новых видов. Находясь в несколько разных условиях среды и испытывая влияние постоянно действующих элементарных факторов эволюции, изолированные популяции будут все больше и больше различаться по своим генофондам.

Длительное разнонаправленное действие элементарных эволюционных факторов в разобщенных популяциях (или изолированных их частях) будет способствовать возникновению и накоплению новых адаптаций, новых признаков и свойств, отличающих эти группы друг от друга. Это в конечном итоге может привести к возникновению одного или нескольких новых видов.

Факторами видообразования, таким образом, как и эволюции в целом, являются мутации и их комбинации, модификации, поток генов, дрейф генов, динамика численности популяций, т. е. все те элементарные факторы, которые способствуют изменению генофонда популяций. Движущими силами видообразования являются борьба за существование и естественный отбор, которые через гибель части особей любой популяции способствуют избирательному сохранению определенных генофондов и их размножению. Все это, однако, имеет место только в случае возникновения изоляции популяций или части популяции.

Формы изоляции. Выделяют два основных типа изоляции: географическую и биологическую.

Географическая изоляция связана с различными изменениями в ландшафте (возникновение горных хребтов, водных барьеров, лесных массивов и т. п.). Она играет также заметную роль при расселении живых организмов, расчленения популяции на группы и нарушая поток генов между изолированными частями. Такая изоляция оказывает особенно сильное влияние на малоподвижные виды — растения, некоторые виды животных (например, улитки) и т. п. Географическая изоляция встречается и у подвижных видов, например у птиц, в том числе и перелетных (айсты, ласточки), поскольку репродуктивный период их жизни приходится на одни и те же места. Геогра-

фическая изоляция может иметь место и в тех случаях, когда вид занимает достаточно обширный ареал и особи разных популяций в силу большого расстояния между ними не могут встречаться и скрещиваться. Например, ареал соболя в результате активного отстрела человеком был разорван на множество частей, удаленных на значительное расстояние друг от друга (рис. 16.21).

Биологическая, или репродуктивная, изоляция определяется всевозможными различиями индивидуумов внутри вида, препятствующими скрещиванию между особями. Выделяют три основные формы биологической изоляции: экологическую, морфофизиологическую и генетическую.

Экологическая изоляция наблюдается, когда потенциальные партнеры по спариванию не встречаются. Это может быть в тех случаях, когда особи одной популяции имеют разные местообитания в пределах одной и той же территории (**биотопическая изоляция**) либо когда половое созревание у потенциальных партнеров по спариванию наступает не одновременно (сезонная изоляция) (рис. 16.22).

Морфофизиологическая изоляция обусловлена особенностями строения и функционирования органов размножения, когда изменяется вероятность не встреч (как при экологической изоляции), а скрещивания. Скрещиванию препятствуют размеры особей, несоответствие в строении копулятивных аппаратов, гибель половых клеток и т. п.

Генетическая изоляция наступает тогда, когда скрещивающиеся пары имеют существенные генетические различия, в результате чего снижается жизнеспособность зигот и зародышей.

Способы видообразования. Выделяют два основных способа видообразования: аллопатрическое и симпатрическое. Если новые виды возникают в условиях пространственной изоляции популяций, такое видообразование называют **аллопатрическим** (гр. *allos* — разный и *patris* — родина). В результате длительного разобщения популяций между ними может возникнуть генетическая изоляция, сохраняющаяся даже в том случае, если изоляция прекратится. Аллопатрическое видообразование — процесс достаточно длительный. Примером может служить наличие трех подвигов синицы большой: евроазиатского, южноазиатского и восточноазиатского. Эти подвиды занимают хорошо различимые ареалы, хотя по периферии ареалов южноазиатские синицы еще скрещиваются с другими подвидами (это говорит о незавершенном видообразовании).

Подобным образом при изменении растительного покрова в четвертичном периоде произошло разделение ареала ландыша майского на пять самостоятельных географических ареалов, находящихся на значительном расстоянии друг от друга. В этих ареалах сформировались европейская, закавказская, дальневосточная, сахалино-японская и североамериканская расы, различающиеся по ряду существенных признаков. В последующем эти расы образовали самостоятельные виды ландыша. Сохранившийся на юге Европы ландыш майский (европейская раса) вторично расселился по всей Европе. Такой способ видообразования называют еще **географическим**.

Другим способом появления в природе новых видов является **симпатрическое** (гр. *syn* — вместе) **видообразование**, когда новый вид зарождается в пределах одной популяции материнского вида. Примером такого

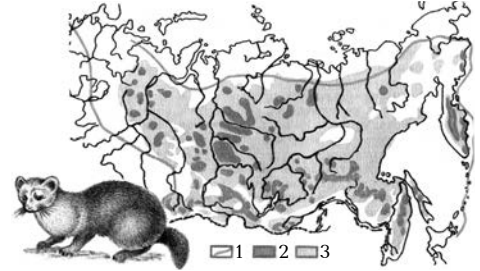


Рис. 16.21. Пространственная структура ареала соболя: 1 — границы ареала; 2 — оставшиеся популяционные островки в 30-е гг. XX в.; 3 — территория, занимаемая соболями в 70-е гг. XX в.

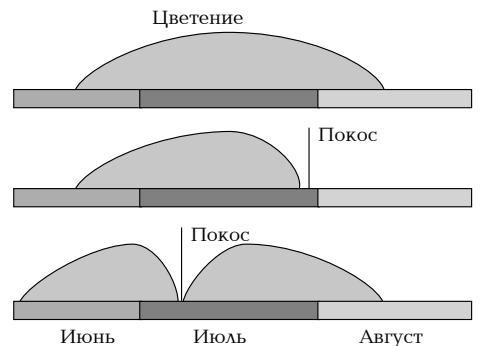


Рис. 16.22. Возникновение сезонной изоляции у погремки большого



Рис. 16.23. Клювы галапагосских вьюрков и их пищевая специализация

видообразования может служить образование сезонных рас погремка большого. На нескосываемых лугах в природе погремком цветет все лето. Но когда регулярно начали косить траву в середине лета, погремки, цветущие в это время, не смогли давать семена. В процессе естественного отбора, связанного с деятельностью человека, сохранились и оставляли семена только те растения, которые цветут либо до, либо после скашивания. Так возникли подвиды погремка большого, изолированные по срокам цветения. Подобное видообразование (с наступлением экологической изоляции) часто называют *экологическим*. Примером экологического видообразования является появление видов вьюрков на Галапагосских островах из одного предкового вида, попавшего сюда с материка.

Впервые виды вьюрков на Галапагосских островах обнаружил Ч. Дарвин, поэтому их часто называют дарвиновскими вьюрками. Дарвин посетил Галапагосские острова в 1835 г. и заметил различия, обусловленные жизнью в разных местах этой цепи вулканических необитаемых островов. Галапагосские

острова удалены от берегов Южной Америки на 700 км. Это расстояние могут преодолеть только хорошо летающие формы. Оказалось, что 15 % видов птиц Галапагоса представлены южноамериканскими видами, а 85 % видов птиц отличны от материковых и нигде, кроме этого архипелага, не встречаются. Именно это с удивлением и наблюдал Ч. Дарвин. Он обнаружил там птиц, которые хотя и напоминали вьюрков, виденных им в Южной Америке, но они были мало похожи друг на друга. Особенно пристальное внимание он обратил на клюв вьюрков: у одних клюв был толстый, дробящий, у других — длинный, у третьих — острый, как ножницы.

Все виды вьюрков сформировались на Галапагосских островах из какого-то южноамериканского вида, приспособившаяся к различным видам пищи, что наложило свой отпечаток на формирование клюва (рис. 16.23). Обособление видов здесь, таким образом, шло по пищевой специализации, что и нашло свое отражение в разнообразии клювов.

К симпатрическому видообразованию относятся также случаи возникновения новых видов на основе *полиплоидии* и *отдаленной гибридизации* (рис. 16.24). Так, разные виды картофеля имеют хромосомные наборы из 24, 48, 72 хромосом; хризантемы — из 18, 27, 36, 45, ..., 90. Это дает основание считать, что эти виды образовались из исходного путем кратного увеличения числа хромосом. Такие процессы хорошо моделируются в лабораторных условиях путем задержки расхождения хромосом в митозе (в результате воздействия колхицином). Полиплоиды, как правило, более жизнеспособны и могут вытеснять родительский вид. Полиплоидия как способ симпатрического видообразования известна и у некоторых животных (иглокожие, членистоногие, кольчатые черви и др.).

В природе может возникать также отдаленная гибридизация между видами с последующим удвоением хромосом в геноме. Например, по берегам реки Алдан растет небольшая популяция растения рябинокизильника, берущего начало от межвидового гибрида рябины и кизильника. Считается, что более 1/3 всех видов цветковых растений имеет гибридогенное происхождение. Экспериментально доказано, что таково происхождение видов сливы, малины, пшеницы, капусты, хлопчатника, мятлика, пикульника, брюквы, табака, полыни, ирисов и др.

Общая схема микроэволюции. Под микроэволюцией понимаются эволюционные процессы, происходящие внутри вида. Это эволюционные изменения отдельных популяций и вида в целом вплоть до образования нового вида.

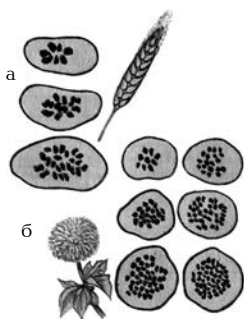


Рис. 16.24. Видообразование на основе полиплоидии: хромосомные наборы в клетках разных видов пшеницы (а) и хризантемы (б)

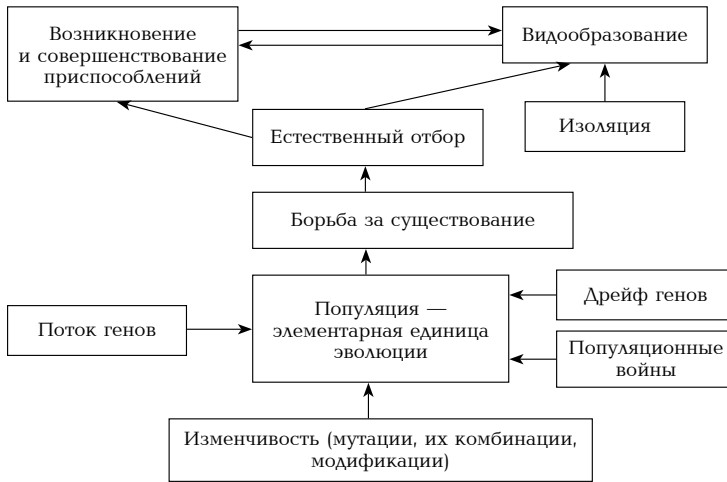


Рис. 16.25. Схема микроэволюции

Ход микроэволюции можно представить в виде схемы (рис. 16.25). Всякое развитие начинается с изменения прежнего состояния объекта, поэтому в основе процесса микроэволюции лежит изменчивость. Изменчивость генофонда популяции может происходить в результате мутаций, их комбинаций (волны жизни), дрейфа генов, а также переноса генетической информации из других популяций (поток генов). Важную роль играет модификационная изменчивость, которая обеспечивает существование особей данного вида в изменяющихся условиях среды и дает возможность мутациям накопиться в популяциях.

В каждом новом поколении популяции появляется большее число потомков, чем было родительских особей. В силу одинаковых потребностей в средствах существования (пища, свет, влага, территория и т. п.) и их ограниченности между особями возникает борьба за существование, которая ведет к естественному отбору наиболее приспособленных.

Закономерным результатом естественного отбора является создание новых и совершенствование ранее приобретенных адаптаций. Развитие адаптаций (при изоляции популяций или внутривидовых групп) ведет к образованию новых видов, что представляет собой заключительный этап микроэволюции.

Таким образом, любая структура и любая функция организма являются приспособлениями к условиям конкретной среды. Эволюционные изменения — возникновение или исчезновение органов, усложнение организации, появление новых популяций и видов — обусловлены развитием адаптаций. Механизм возникновения и совершенствования адаптаций, образования новых видов заключается в накоплении отбором преимущественно мелких полезных изменений признаков, совершенствовании нормы реакции и т. д. Закономерности эволюционного процесса вскрыты синтетической теорией эволюции. Наиболее общие закономерности микроэволюции отражены в основных положениях синтетической теории эволюции.

Основные положения синтетической теории эволюции

1. Материалом для эволюции служат, как правило, очень мелкие наследуемые изменения — мутации. Мутационная изменчивость носит случайный и ненаправленный характер.
2. Основным движущим фактором эволюции является естественный отбор, возникающий на основе борьбы за существование.
3. Наименьшей эволюционной единицей является популяция.
4. Эволюция носит дивергентный характер, т. е. один таксон (например, вид) может стать предком нескольких дочерних таксонов, но каждый вид имеет единственного предкового вид.
5. Эволюция носит постепенный и длительный характер. Видообразование как этап эволюционного процесса представляет собой последовательно смену одной временной популяции чередой последующих временных популяций.
6. Вид состоит из множества соподчиненных, но репродуктивно не изолированных единиц — популяций и популяций.
7. Вид существует как целостное и замкнутое образование. Целостность видов поддерживается миграциями особей из одной популяции в другую, при которых происходит обмен аллелями («поток генов»).

МАКРОЭВОЛЮЦИЯ И ЕЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА

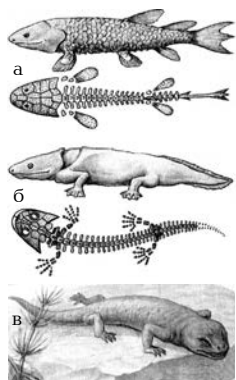


Рис. 16.26. Ископаемые переходные формы: а — кистеперая рыба; б — земноводное (циногнатус); в — брахиозавр (представитель стегоцефалов, живших в каменноугольном и пермском периодах)



Рис. 16.27. Иностранцевия — высшая форма пермских рептилий, близкая к млекопитающим



Рис. 16.28. Археоптерикс: а — остатки археоптерикса в горной породе; б — внешний вид (реконструкция); в — скелеты археоптерикса (слева) и современной птицы

Понятием «макроэволюция» обозначают происхождение надвидовых таксонов (родов, отрядов, классов, типов, отделов). Макроэволюционным событием считается также возникновение человека, по многим признакам отличающегося от других биологических видов.

Между микро- и макроэволюцией нельзя провести резкую грань, потому что процесс микроэволюции, вначале вызывающий дивергенцию популяций (вплоть до видообразования), затем продолжается без какого-либо перерыва и на макроэволюционном уровне внутри вновь возникших форм.

Макроэволюция происходит в исторически огромные промежутки времени, поэтому она недоступна непосредственному изучению. Несмотря на это, наука располагает множеством доказательств, свидетельствующих о реальности макроэволюционных процессов.

Доказательства макроэволюции. Палеонтологические доказательства. Ископаемые останки организмов позволяют узнать об органическом мире прошлого, реконструировать внешний облик вымерших организмов, установить связь между древнейшими и современными представителями разных групп организмов. Палеонтологические находки являются едва ли не самыми убедительными доказательствами протекания длительного эволюционного процесса. К ним относятся окаменелости, отпечатки, ископаемые остатки, ископаемые переходные формы.

Ископаемые переходные формы — формы организмов, сочетающие признаки более древних и молодых групп. Среди растений особый интерес представляют *риниофиты*. Они произошли от водорослей, первыми из растений осуществили выход на сушу и дали начало споровым и семенным растениям. *Семенные папоротники* — переходная форма между папоротниковидными и голосеменными, а *саговниковые* — между голосеменными и покрытосеменными.

Среди ископаемых позвоночных можно выделить формы, являющиеся переходными между всеми классами этого подтипа. Например, древнейшая группа *кистеперых рыб* дала начало первым земноводным — *стегоцефалам* (рис. 16.26). Это стало возможным благодаря появлению в скелете кистеперых рыб парных плавников, имевших анатомические предпосылки для превращения их в пятипалые конечности земноводных. Известны формы, образующие переход между рептилиями и млекопитающими. К ним относятся *звероящеры* (иностранцевия) (рис. 16.27). Связующим звеном между пресмыкающимися и птицами явилась *первоптица* (археоптерикс) (рис. 16.28).

Наличие переходных форм доказывает существование связи между современными и вымершими организмами и помогает в построении естественной системы и родословного древа растительного и животного мира.

Ископаемые формы, связанные друг с другом в процессе эволюции и отражающие ход исторического развития — **филогенеза** (гр. *phylon* — род, племя, *genesis* — происхождение) определенной группы организмов, называются **палеонтологическими рядами**. Классическим примером применения рядов ископаемых форм для выяснения истории отдельной группы животных является эволюция лошади. Русский ученый В. О. Ковалевский (1842—1883) показал постепенность эволюции лошади, установив, что сменяющие друг друга ископаемые формы приобретали все большее сходство с современными (рис. 16.29). Современные однопалые

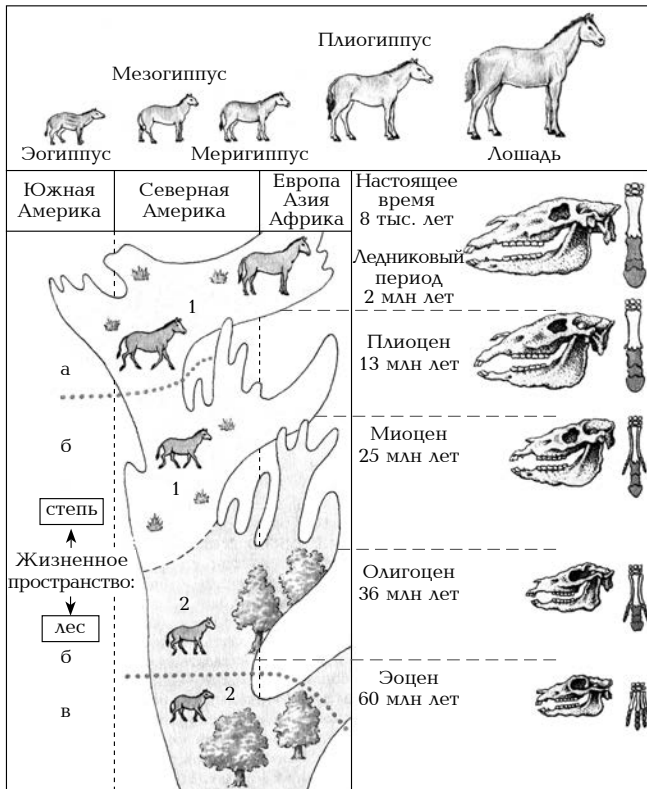


Рис. 16.29. Эволюция в семействе лошадиных: а — однопалые; б — трехпалые; в — четырехпалые; 1 — травоядные; 2 — листоядные

животные берут начало от мелких пятипалых предков, живших в лесах 60—70 млн лет назад. Изменение климата привело к увеличению площади степей и расселению по ним лошадей. Передвижение на большие расстояния в поиске пищи и при защите от хищников способствовало преобразованию конечностей. Параллельно увеличивались размеры тела, челюстей, усложнялось строение зубов и др.

К настоящему времени известно достаточное количество палеонтологических рядов (хоботных, хищных, китообразных, носорогов, некоторых групп беспозвоночных), которые доказывают существование эволюционного процесса и возможность происхождения одного вида от другого.

Эмбриологические доказательства. В первой половине XIX в. русский эмбриолог К. М. Бэр (1792—1876) сформулировал *закон зародышевого сходства*: на ранних этапах развития зародыши разных видов животных в пределах типа сходны между собой. Например, на ранних стадиях развития эмбрионы позвоночных не отличаются друг от друга (рис. 16.30). Только на средних стадиях появляются особенности, характерные для рыб и амфибий, а на более поздних — четко проявляются отличительные особенности развития рептилий, птиц и млекопитающих. Эта закономерность в развитии зародышей указывает на родство и последовательность расхождения в эволюции этих групп животных.

Глубокая связь между индивидуальным и историческим развитием выражается в *биогенетическом законе*, установленном во второй половине XIX в. немецкими учеными Э. Геккелем (1834—1919) и Ф. Мюллером (1821—1897). Согласно этому закону каждая особь в своем индивидуальном развитии (онтогенезе)

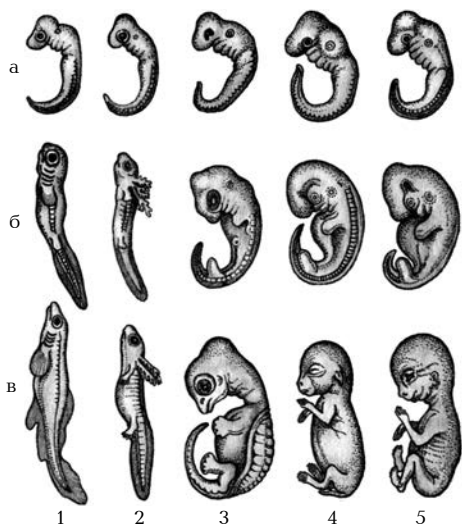


Рис. 16.30. Сходство начальных стадий эмбрионального развития позвоночных: а, б, в — стадии развития рыбы (1); саламандры (2); черепахи (3); крысы (4); человека (5)

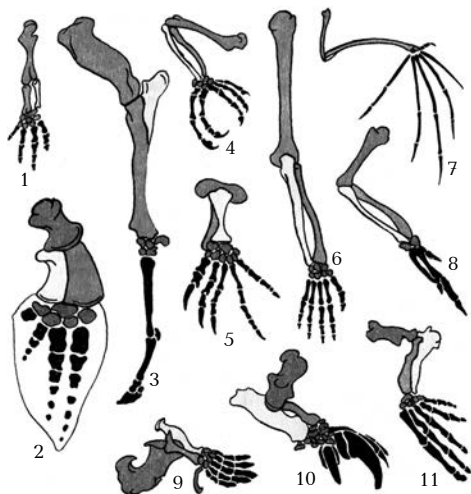


Рис. 16.31. Схема строения скелета передней конечности (гомологичные органы) разных наземных позвоночных: 1 — саламандры; 2 — дельфина; 3 — лошади; 4 — хамелеона; 5 — трехкоготной черепахи; 6 — обезьяны; 7 — летучей мыши; 8 — голубя; 9 — крота; 10 — броненосца; 11 — сивуча

повторяет историю развития своего вида, или *онтогенез есть краткое и быстрое повторение филогенеза*.

Например, у всех позвоночных животных в онтогенезе закладывается хорда — признак, который был свойствен их отдаленным предкам. У головастиков бесхвостых земноводных развивается хвост, что является повторением признаков их хвостатых предков.

Гомологичные и аналогичные органы. Органы, имеющие сходное строение и общее происхождение, называются *гомологичными*. Они занимают одинаковое положение в теле животного, развиваются из сходных зачатков и имеют одинаковый план строения. Типичный пример гомологичных органов — конечности наземных позвоночных животных (рис. 16.31). Так, скелет свободных передних конечностей у них обязательно имеет плечевую кость, предплечье, состоящее из лучевой и локтевой костей, и кисть (запястье, пясть и фаланги пальцев). Такая же картина гомологии отмечается при сравнении скелета задних конечностей.

Доказано, что ядовитые железы змей — гомолог слюнных желез других животных, жало пчелы — гомолог яйцеклада, а сосущий хоботок бабочек — гомолог нижних челюстей других насекомых.

Гомологичные органы есть и у растений. Например, усики гороха, колючки кактуса и барбариса — видоизмененные листья.

Установление гомологии органов позволяет найти степень родства между организмами.

Органы, выполняющие одинаковые функции и имеющие внешнее сходство, но разное происхождение, называются *аналогичными*. Эти органы свидетельствуют лишь о сходном направлении приспособлений организмов, определяемом в процессе эволюции действием естественного отбора. Наружные жабры головастиков, жабры рыб, многощетинковых кольчатых червей и водных личинок насекомых (например, стрекоз) аналогичны. Бивни моржа (видоизмененные клыки) и бивни слона (разросшиеся резцы) — типичные аналогичные органы, так как их функции сходны. У растений аналогичны колючки барбариса (видоизмененные листья), колючки белой акации (видоизмененные прилистники) и шиповника (развиваются из клеток коры).

Рудименты и атавизмы. *Рудиментарными* (лат. *rudimentum* — зачаток, первооснова) называются органы, которые закладываются в ходе эмбрионального развития, но в дальнейшем перестают развиваться и остаются у взрослых форм в недоразвитом состоянии. Другими словами, рудименты — это органы, утратившие свои функции. Рудименты — ценнейшие доказательства исторического развития органического мира и общности происхождения живых форм. Например, у муравьедов рудиментарны зубы, у человека — ушные мышцы, кожная мускулатура, третье веко, у змей — конечности, у китов — задние конечности (рис. 16.32).

Появление у отдельных организмов какого-либо вида признаков, которые существовали у отдаленных предков, но были утрачены в ходе эволюции, называется **атавизмом** (лат. *atavus* — предок). У человека атавизмами являются хвост, волосаянй покров на всей поверхности тела, многососковость (рис. 16.33). Среди тысяч однопалых лошадей встречаются экземпляры с трехпалыми конечностями. Атавизмы не несут каких-либо функций, важных для вида, но показывают историческую взаимосвязь между вымершими и ныне существующими родственными формами.

Все приведенные сведения имеют большое значение для доказательства макроэволюции и для выяснения родственных связей между организмами.

Молекулярно-генетические доказательства макроэволюции. Для доказательства макроэволюции и установления родства между отдельными группами организмов широко используются методы биохимии и молекулярной биологии, генетики, иммунологии.

Так, изучая состав и последовательность нуклеотидов в нуклеиновых кислотах и аминокислот в белках у разных групп организмов и обнаруживая сходство между ними, можно судить об их родстве.

Биохимия располагает методами исследования, с помощью которых можно выяснить «кровное родство» организмов. При сравнении белков крови учитывается способность организмов в ответ на введение в кровь чужих белков вырабатывать антитела. Их можно выделить из сыворотки крови и определить, при каком разведении эта сыворотка будет реагировать с сывороткой сравниваемого организма. Такой анализ показал, что ближайшие родственники человека — высшие человекообразные обезьяны, а наиболее дальние из них — обезьяны.

Направления эволюции: прогресс и регресс. На протяжении всей истории живой природы ее развитие осуществляется в направлении от более простого к более сложному, от менее совершенного к более совершенному, т. е. эволюция носит прогрессивный характер. Таким образом, общий путь развития живой природы — от простого к сложному, от примитивного к более совершенному. Именно этот путь развития живой природы и обозначают термином «*прогресс*». Однако возникает вопрос: почему же в современной фауне и флоре одновременно с высокоорганизованными существуют низкоорганизованные формы? Когда подобная проблема встала перед Ж. Б. Ламарком, он вынужден был прийти к признанию постоянного самозарождения простых организмов из неорганической материи. Ч. Дарвин же считал, что существование высших и низших форм не представляет затруднений для объяснения, так как естественный отбор, или выживание наиболее приспособленных, не предполагает обязательного прогрессивного развития — он только дает преимущество тем изменениям, которые благоприятны для обладающего ими существа в сложных условиях жизни. Если от этого нет никакой пользы, то естественный отбор или не будет вовсе совершенствовать эти формы, или усовершенствует их в очень слабой степени, так что они сохраняются на их современной низкой ступени организации на протяжении длительного времени. Эту проблему в начале 20-х гг. XX в. пытались решить русский ученый А. Н. Северцов и его последователи.

Процесс эволюции идет непрерывно в направлении максимального приспособления живых организмов к условиям окружающей среды (т. е. происходит возрастание приспособленности потомков по сравнению с предками). Такое возрастание приспособленности организмов к окружающей среде

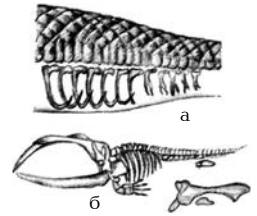


Рис. 16.32. Рудиментарные конечности питона (а), скелет кита с рудиментарными задними конечностями (б)

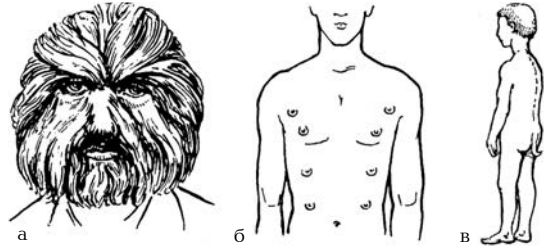


Рис. 16.33. Атавизмы у человека: а — волосатый человек; б — многососковость у человека; в — хвостатый мальчик

Эволюция органического мира на Земле подтверждается множеством фактов из всех областей биологии: палеонтологией (филотенические ряды, переходные формы), морфологией (гомология, аналогия, рудименты, атавизмы), эмбриологией (закон зародышевого сходства, биогенетический закон) и др.

А. Н. Северцов назвал *биологическим прогрессом*. Критериями биологического прогресса являются:

- 1) увеличение численности особей;
- 2) расширение ареала;
- 3) прогрессивная дифференциация — увеличение числа систематических групп, составляющих данный таксон.

Эволюционный смысл выделенных критериев заключается в следующем. Возникновение новых приспособлений снижает гибель особей, в результате средний уровень численности вида возрастает. Стойкое повышение численности потомков по сравнению с предками приводит к увеличению плотности населения, что, в свою очередь, через обострение внутривидовой конкуренции вызывает расширение ареала. Этому же способствует и возрастание приспособленности. Расширение ареала приводит к тому, что вид при расселении сталкивается с новыми факторами среды, к которым необходимо приспособляться. Так происходит дифференциация вида сначала на популяции, затем усиливается дивергенция, что ведет к увеличению дочерних таксонов. Таким образом, биологический прогресс — это наиболее общее направление биологической эволюции.

Регресс и его роль в эволюции. Биологический регресс — явление, противоположное биологическому прогрессу. Он характеризуется снижением численности особей вследствие превышения смертности над рождаемостью, сужением или разрушением целостности ареала, постепенным или быстрым уменьшением видового многообразия группы. Глубоко заходящий биологический

регресс может привести вид к вымиранию. Общая причина биологического регресса — отставание темпов эволюции группы от скорости изменения внешней среды. Эволюционные факторы действуют непрерывно, в результате чего происходит совершенствование приспособлений к изменяющимся условиям среды. Однако, когда условия изменяются очень резко (очень часто из-за непродуманной деятельности человека), виды не успевают сформировать соответствующие приспособления. Это приводит к сокращению численности видов, сужению их ареалов, угрозе вымирания. На современном этапе в состоянии биологического регресса находятся многие виды. Среди животных это, например, крупные млекопитающие, такие как уссурийский тигр, гепард, белый медведь (рис. 16.34), среди растений — гинкговые, представленные в современной флоре одним видом — гинкго двулопастным (рис. 16.35), и др.

Пути достижения биологического прогресса. Биологический прогресс достигается различными путями. А. Н. Северцов назвал их *главными направлениями эволюционного процесса*. В настоящее время выделяют следующие пути биологического прогресса: арогенез, аллогенез и катагенез.

Арогенез (гр. *aíro* — поднимаю и *genesis* — развитие) — путь приобретения группой организмов приспособительных адаптаций, которые ведут к общему подъему организации. Арогенез характеризуется повышением организации, развитием приспособлений широкого значения, расширением среды обитания. Примером арогенеза сравнительно небольшого масштаба является возникновение и расцвет класса птиц.



Рис. 16.34. Виды животных, находящиеся в состоянии биологического регресса: 1 — выхухоль; 2 — черепаха болотная; 3 — вечерница гигантская; 4 — кот лесной средневропейский; 5 — зубр беловежский; 6 — аист черный; 7 — скопа; 8 — змея; 9 — беркут; 10 — орлан-белохвост; 11 — жаба камышовая

Проникнуть в новую адаптивную зону предки современных птиц могли лишь благодаря возникновению крыла как органа полета; четырехкамерного сердца, что значительно повысило интенсивность обменных процессов и обеспечило теплокровность; развитию отделов мозга, координирующих движение в воздухе. Все эти изменения в строении и функциях органов и привели группы триасовых динозавров к арогенезу. В мире растений типичными арогенезами являются выход растений на сушу, возникновение голо- и покрытосеменных растений и др.

Конкретные морфофизиологические изменения, определяющие арогенез той или иной группы, называются *ароморфозами*. К типичным ароморфозам у беспозвоночных относятся половая дифференцировка, появление билатеральной симметрии тела, трахейной системы дыхания, цефализация центральной нервной системы, переход на легочное дыхание; у птиц и млекопитающих — полное разделение сердца на правую и левую половины с дифференцировкой двух кругов кровообращения, увеличение рабочей емкости легких за счет альвеол и др. В результате этих ароморфозов происходит более совершенное окисление крови и обильное снабжение органов кислородом, а значит, и интенсификация функционирования органов. Дифференцировка и специализация органов пищеварения приводят к более полному использованию пищевых веществ, что способствует повышению интенсивности процессов метаболизма, возникновению теплокровности, усилению активности двигательных органов и усовершенствованию их конструкции, повышению подвижности организмов.

Эти и другие ароморфозы связаны между собой, а сформированные признаки оказываются полезными в самых разных условиях существования. Например, наличие у животных подвижных конечностей дает им возможность передвигаться и жить в различных условиях — в пустыне, лесу, долине, горах, воде, использовать конечности для рытья почвы и т. д. Такие ароморфозы, как образование поперечно-полосатой мускулатуры, развитие ходильных конечностей и крыльев у насекомых, открыли перед ними возможности завоевания суши и частично воздуха (по сравнению с жабродышащими членистоногими). Крупными ароморфозами в развитии растений стали возникновение эпидермиса, устьиц, проводящей и механической тканей, закономерная смена полового и бесполого поколений в цикле развития, образование цветков, плодов и т. п.

Ароморфозы формируются на основе наследственной изменчивости в ходе естественного отбора и являются приспособлениями широкого значения. Они дают преимущества в борьбе за существование и открывают возможности освоения новой, прежде недоступной среды обитания.

Общая черта ароморфозов в том, что они сохраняются в ходе дальнейшей эволюции и приводят к возникновению крупных систематических групп — типов, отделов, классов, некоторых отрядов (у млекопитающих).

Алогенез (гр. *allo* — разный и *genesis* — развитие) — эволюционное развитие группы организмов внутри одной адаптивной зоны с возникновением большого числа близких форм, различающихся приспособлениями одного масштаба (рис. 16.36). Такой путь достижения биологического прогресса связан с проникновением организмов в какие-либо узкие (дифференцированные)

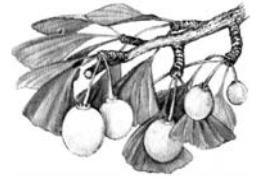


Рис. 16.35. Гинкго двуплодный

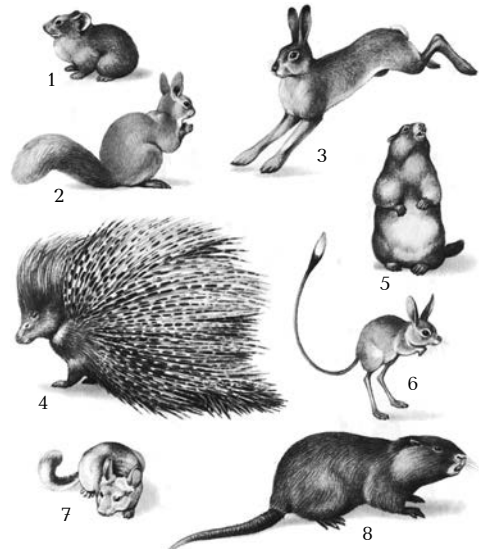


Рис. 16.36. Экологическая дифференциация в отрядах грызунов и зайцеобразных: 1 — пищуха; 2 — белка; 3 — заяц-русак; 4 — дикобраз; 5 — сурок; 6 — тушканчик; 7 — шиншилла; 8 — нутрия



Рис. 16.37. Редукция вегетативных органов (корней, листьев) у крапивной повилики

условия среды в результате развития частных приспособлений. Такие частные приспособления называют *алломорфозами*.

В отличие от ароморфозов, алломорфозы открывают перед организмами возможность прогрессивного развития без повышения уровня морфофизиологической организации. Например, благодаря возникновению различных алломорфозов млекопитающие смогли не только распространиться в различных географических зонах (от тропиков до ледяных пустынь), но и освоить самые разнообразные условия среды — сушу, воду, почву, частично воздух (рис. 16.36). Это существенно снизило конкуренцию между видами за пищу, места обитания, причем уровень организации остался таким же. Для видов, семейств, отрядов млекопитающих характерны типичные признаки этого класса: теплокровность, живорождение, выкармливание потомства молоком и т. п. Примером аллогенеза является возникновение многообразия птиц, приспособленных к разным условиям существования.

Катагенез (гр. *kata* — движение вниз и *genesis* — развитие) — особый путь эволюции, связанный с упрощением строения и образа жизни. Он характерен для организмов, осваивающих более простую среду обитания. Например, у видов, живущих в пещерах, почве, происходит редукция органов зрения, депигментация, снижение активности передвижения. Примером катагенеза является также возникновение паразитических форм. У растений-паразитов снижается активность фотосинтеза, наблюдается редукция листьев (рис. 16.37). У паразитических ленточных червей отсутствует кишечник, слабо развита нервная система. Упрощение организации вовсе не означает вымирание данной группы. Напротив, большинство видов паразитических организмов процветает, т. е. находится в состоянии биологического прогресса.

Сочетание и изменение направлений эволюции. В эволюции происходит закономерная смена одних направлений эволюции другими. В пределах конкретной естественной группы организмов за периодом арогенеза всегда следует период возникновения частных приспособлений — период аллогенеза (рис. 16.38). Такая смена путей достижения биологического прогресса характерна для всех групп и называется *законом Северцова*.

Этот закон может быть выведен из теории естественного отбора. Если сравнить частоту возникновения арогенезов и аллогенезов, то можно заметить, что первые характерны для возникновения крупных групп организмов в эволюции — типов, отделов, отдельных отрядов, иногда семейств. Другими словами, арогенезы появляются значительно реже, чем аллогенезы (определяет появление отдельных видов, родов). Каждая крупная естественная группа организмов начинается свое существование с арогенезов, которые, в частности, обеспечивают и завоевание новой среды. Достигнув на пути арогенеза нового этапа развития, новой организации, естественная группа организмов расселяется в различные местообитания, после чего начинается

процесс развития частных приспособлений. Объясняется это тем, что арогенезы не ограничены узкой средой. Они имеют универсальное значение. Следовательно, на основе одних и тех же арогенезов могут возникнуть различные «настройки», т. е. приспособления к частным условиям (аллогенезы).

Способы достижения биологического прогресса. Возникновение крупных групп живых организмов и достижение ими биологического прогресса (процветания) может происходить несколькими способами. Основной способ осу-

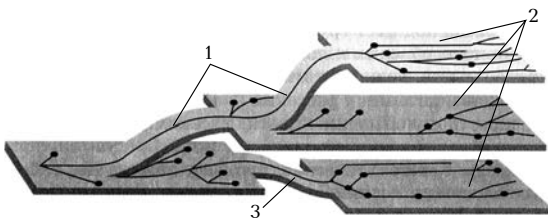


Рис. 16.38. Схема соотношений между арогенезом (1), аллогенезом (2) и катагенезом (3)

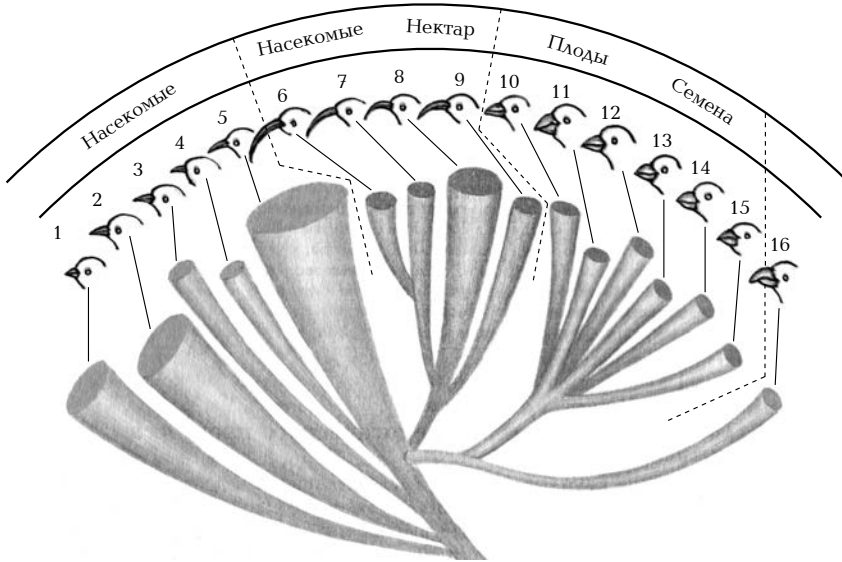


Рис. 16.39. Дивергенция гавайских цветочниц (толщина стволов соответствует числу современных подвидов)

щественности макроэволюции — *дивергенция* (расхождение признаков) — независимое образование различных признаков у родственных организмов. В основе дивергенции лежит экологическая дифференциация вида (или группы видов) на самостоятельные ветви (рис. 16.39). Различия между видами одной группы в процессе эволюции в силу изменения направления отбора все более и более углубляются. Вместе с тем сохраняется и определенная общность признаков морфофизиологической организации. Это свидетельствует о происхождении данной группы от общего родоначального предка. При дивергенции сходство между организмами объясняется общностью их происхождения, а различия — приспособлением к разным условиям среды.

Примером дивергенции является возникновение разных подвидов выюров от одного или немногих предковых видов на Галапагосских островах. Расхождение внутривидовых форм и видов по разным местобитаниям определяется конкуренцией за сходные ресурсы, выход из которой и заключается в расселении их по разным экологическим нишам.

Механизм дивергентной эволюции основан на действии элементарных эволюционных факторов. В результате мутационного процесса, волн жизни, изоляции, борьбы за существование и естественного отбора популяции и группы популяций приобретают и сохраняют в эволюции признаки, все более отличающие их от родительского вида. В какой-то момент эволюции (этот «момент» может длиться многие поколения) накопившиеся различия окажутся настолько значительными, что приведут к распаду исходного вида на два и более дочерних.

В результате дивергенции у родственных форм возникают *гомологичные органы*.

Процесс эволюционного развития двух или более неродственных групп в сходном направлении называется *конвергенцией* (схождение признаков, *конвергентное развитие*). Конвергенция обусловлена одинаковой средой обитания, в которую попадают неродственные организмы. Классическим примером конвергентного развития считается возникновение сходной обтекаемой формы тела у акуловых (первичноводные формы), ихтиозавров и китообразных (вторичноводные формы) (рис. 16.40), развитие

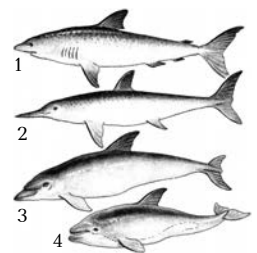


Рис. 16.40. Конвергентное развитие формы тела и плавников у акулы (1), ихтиозавра (2) и дельфинов (3, 4)



Рис. 16.41. Конвергентное развитие приспособлений для парения в воздухе у позвоночных

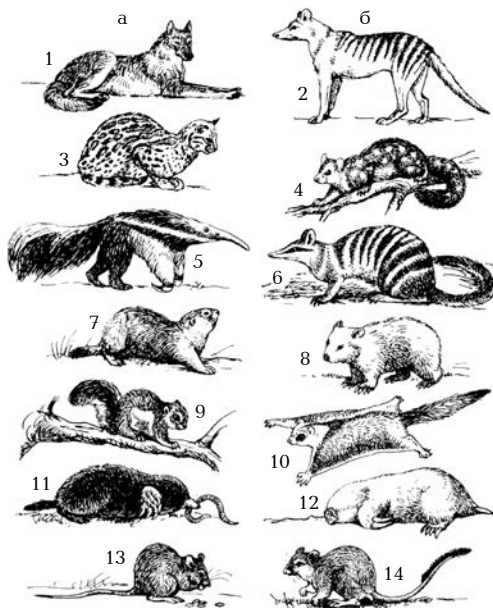


Рис. 16.42. Конвергенция между плацентарными (а) и сумчатыми (б) животными: 1 — волк; 2 — сумчатый волк; 3 — оцелот; 4 — сумчатая куница; 5 — муравьед; 6 — сумчатый муравьед; 7 — сурок; 8 — вомбат; 9 — летяга; 10 — сумчатая летяга; 11 — крот; 12 — сумчатый крот; 13 — мышь; 14 — сумчатая мышь

приспособлений для парения в воздухе у позвоночных (рис. 16.41).

Другим примером конвергенции может служить стебельчатая форма тела и развитие корнеподобных ризоидов у прикрепленных донных гидробионтов (губки, кишечнотолостные, ракообразные, иглокожие).

Существует множество примеров конвергенции между плацентарными и сумчатыми животными (рис. 16.42).

При конвергентном развитии сходство между неродственными организмами бывает всегда только внешним (эволюционным изменениям в одном направлении подвергаются внешние признаки как результат приспособления к одинаковым условиям среды). По форме тела ихтиозавр похож на акулу и дельфина, но по таким существенным чертам, как строение кожных покровов, черепа, мускулатуры, кровеносной, дыхательной и других систем, эти группы позвоночных различны. При конвергентном способе эволюции возникают *аналогичные органы*.

Многообразие современного органического мира как результат биологической эволюции. Длительная, охватывающая период в несколько миллиардов лет эволюция когда-то появившихся на Земле примитивных живых организмов через смену одних групп другими привела к современному разнообразию органического мира. Эволюция живых существ шла параллельно по двум линиям: с одной стороны, развивались одноклеточные доядерные и ядерные организмы, с другой — многоклеточные организмы, причем развитие многоклеточных организмов осуществлялось по меньшей мере по трем линиям автотрофных организмов (растения), гетеротрофных организмов с поглощением пищи путем всасывания (грибы) и гетеротрофных организмов с заглатыванием пищи (животные). Полагают, что сейчас на нашей планете обитает свыше 10 млн видов живых организмов и не менее 500 млн видов вымерло в предыдущие геологические эпохи.

Биологическая система. Общепринятая система органического мира пока не создана. В соответствии с системой, разработанной американским исследователем Р. Х. Виттакером и детализированной Л. С. Маргулис и К. Шварц, вся живая природа делится на пять царств: Бактерии, Протисты, Грибы, Растения и Животные. Сравнительная характеристика этих царств приведена в табл. 16.1.

Таблица 16.1

Сравнительная характеристика царств живой природы

Признак	Царство				
	Бактерии	Протисты	Грибы	Растения	Животные
Тип клетки	Прокариотическая	Эукариотическая	Эукариотическая	Эукариотическая	Эукариотическая
Ядерная оболочка	Отсутствует	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется

Продолжение таблицы 16.1

Признак	Царство				
	Бактерии	Протисты	Грибы	Растения	Животные
Генетический материал	ДНК не связана с белками в хромосоме	ДНК связана с белками в хромосоме	ДНК связана с белками в хромосоме	ДНК связана с белками в хромосоме	ДНК связана с белками в хромосоме
Митохондрии	Отсутствуют	Имеются	Имеются	Имеются	Имеются
Хлоропласты	Отсутствуют (иногда имеются фотосинтезирующие мембраны)	Имеются у автотрофных форм	Отсутствуют	Имеются	Отсутствуют
Клеточная оболочка	Нецеллюлозная (полисахариды + аминокислоты)	Имеется у некоторых форм	Из хинина и других нецеллюлозных полисахаридов	Из целлюлозы и других полисахаридов	Отсутствует
Способ генетической рекомбинации	Конъюгация, трансдукция, трансформация	Оплодотворение и мейоз у большинства групп	Оплодотворение и мейоз	Оплодотворение и мейоз	Оплодотворение и мейоз
Способ питания	Автотрофный (хемосинтез или фотосинтез) или гетеротрофный	Автотрофный (фотосинтез), гетеротрофный или комбинации этих способов	Гетеротрофный (абсорбция)	Автотрофный	Гетеротрофный (пищеварение)
Подвижность	Бактериальный жгутик, скольжение или неподвижные	Реснички и жгутики (9 + 2), амeboидное, сократительные фибриллы	Неподвижные	Реснички и жгутики у гамет некоторых форм, нет у большинства форм	Реснички и жгутики, сократительные фибриллы
Многоклеточность (клеточная специализация)	Отсутствует	Характерна для большинства форм	Характерна для большинства форм	Характерна для всех форм	Характерна для всех форм
Нервная система	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Имеется, часто сложная
Дыхание	Анаэробное, аэробное	Аэробное	Аэробное или анаэробное	Аэробное	Аэробное
Жизненный цикл	Большинство гаплоидные, деление	Большинство гаплоидные, некоторые диплоидные	Большинство гаплоидные	Чередование поколений	Диплоидные, исключение — гаметы
Формирование одноклеточных спор	Характерно для некоторых форм	Характерно для некоторых форм	Характерно для всех форм	Характерно для всех форм	Споры отсутствуют

Как видно из табл. 16.1, нельзя провести резкой границы между разными царствами по отдельным признакам. Только учет совокупности многих признаков, а также истории формирования отдельных групп организмов позволяет разделить всю живую природу на пять царств и два надцарства и отнести тот или иной вид или более крупный таксон к определенному царству.

НЕКЛЕТОЧНЫЕ ФОРМЫ ЖИЗНИ

Наряду с клеточными организмами в природе существуют неклеточные формы жизни — вирусы (лат. *virus* — яд, ядовитое начало) — мельчайшие возбудители инфекционных болезней. До конца XIX в. термин «вирус» использовался в медицине для обозначения любого инфекционного агента, вызывающего заболевание. Современное значение это слово приобрело после 1892 г., когда русский ботаник Д. И. Ивановский установил «фильтруемость» возбудителя мозаичной болезни табака (табачной мозаики). Он показал, что клеточный сок из зараженных этой болезнью растений, пропущенный через специальные фильтры, задерживающие бактерии, сохраняет способность вызывать то же заболевание у здоровых растений. Пять лет спустя другой фильтрующий агент — возбудитель ящура крупного рогатого скота — был обнаружен немецким бактериологом Ф. Лёффлером. В 1898 г. голландский ботаник М. Бейеринк повторил в расширенном варианте эти опыты и подтвердил выводы Д. И. Ивановского. Он назвал «фильтрующееся ядовитое начало», вызывающее табачную мозаику «фильтрующимся вирусом». Этот термин использовался на протяжении многих лет и постепенно сократился до одного слова — «вирус».

В 1901 г. американский военный хирург У. Рид и его коллеги установили, что возбудитель желтой лихорадки также является фильтрующимся вирусом. Желтая лихорадка была первым заболеванием человека, опознанным как вирусное.

Вирусы — это внутриклеточные паразиты; во внешней среде они не проявляют никаких признаков жизни. Только проникнув в клетку-хозяина и взаимодействуя с ее аппаратом белкового синтеза, вирусные частицы проявляют некоторые свойства живой материи — способность к размножению.

Размеры вирусов. Величина вирусов варьирует от 20 до 300 нм. Практически все вирусы по своим размерам мельче, чем бактерии. Однако наиболее крупные вирусы, например вирус коревой оспы, имеют такие же размеры, как и наиболее мелкие бактерии (хламидии и риккетсии), которые тоже являются облигатными паразитами и размножаются только в живых клетках. В связи с этим отличительными чертами вирусов по сравнению с другими микроскопическими возбудителями инфекций служат не размеры или обязательный паразитизм, а особенности строения и уникальные механизмы репликации (воспроизведения самих себя).

Строение вирусов. Полноценная по строению и инфекционная, т. е. способная вызвать заражение, вирусная частица вне клетки называется *вирионом*. Сердцевина («ядро») вириона содержит одну, а иногда две или несколько молекул нуклеиновой кислоты (рис. 16.43). Нуклеиновая кислота вириона является генетическим материалом вируса (его геномом) и представлена ДНК или РНК, но никогда двумя этими соединениями одновременно. Нуклеиновые кислоты самых мелких вирусов содержат три или четыре гена, тогда как самые крупные вирусы имеют до ста генов. При этом наряду с двухцепочечными ДНК и одноцепочечными РНК встречаются одноцепочечные ДНК и двухцепочечные РНК. ДНК имеют линейную или кольцевую структуру, а РНК, как правило, — линейную.

Белковый чехол, покрывающий нуклеиновую кислоту вириона, называется *капсидом*. Капсид защищает нуклеиновую кислоту от неблагоприятных условий внешней среды, а также препятствует проникновению к ней клеточных ферментов, предотвращая тем самым ее расщепление. Примером таких вирусов является вирус табачной мозаики. Его капсид содержит один вид белка с небольшой молекулярной массой.

У некоторых вирусов (например, герпеса или гриппа) в дополнение к капсиду имеется еще и внешняя оболочка, состоящая из белков и липидов. Она

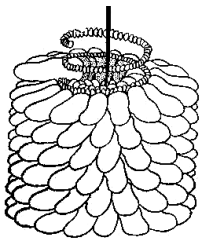


Рис. 16.43. Вирус табачной мозаики

образуется из мембран зараженной клетки, содержащих встроенные вирусные белки. Эти белки служат для распознавания специфических рецепторов на мембране клетки-хозяина и прикрепления к ней вирусной частицы. Иногда в оболочке вируса содержатся ферменты, обеспечивающие синтез вирусных нуклеиновых кислот в клетке-хозяине. Такие вирусы называются оболочными (рис. 16.44).

Капсиды самых мелких и просто устроенных вирусов могут состоять лишь из одного или нескольких видов белковых молекул. Несколько молекул одного или разных белков объединяются в субъединицы, называемые *капсомерами*. Капсомеры, в свою очередь, образуют правильные геометрические структуры вирусного капсида. У разных вирусов форма капсида является характерной особенностью (признаком) вириона.

Вирионы со спиральным типом симметрии, как у вируса табачной мозаики (см. рис. 16.43), имеют форму удлинённого цилиндра; внутри белкового чехла, состоящего из отдельных субъединиц — капсомеров, находится свернутая спираль нуклеиновой кислоты (РНК). Вирионы с икосаэдрическим типом симметрии (гр. *eikosi* — двадцать, *hedra* — поверхность), как у полиовируса, имеют сферическую, а точнее, многогранную форму; их капсиды построены из 20 правильных треугольных фасеток (поверхностей) и похожи на геодезический купол (рис. 16.45).

Встречаются вирусы с еще более сложным строением. Вирионы поксвирусов (вирусы группы оспы) не имеют правильного, типичного капсида: между сердцевинной и наружной оболочкой у них расположены трубчатые и мембранные структуры.

Во внеклеточной фазе вирусы способны существовать длительное время и выдерживать воздействие солнечных лучей, низких и высоких температур, а вирусные частицы гепатита В — даже кратковременное кипячение.

Репликация вирусных геномов. Генетическую информацию, закодированную в отдельном гене, в общем можно рассматривать как инструкцию по производству определенного белка в клетке. Такая инструкция воспринимается клеткой только в том случае, если она послана в виде иРНК. В свою очередь, клетки, у которых генетический материал представлен ДНК, должны «переписать» (транскрибировать) эту информацию в комплементарную копию иРНК *вирусных белков*. ДНК-содержащие вирусы по способу репликации отличаются от РНК-содержащих вирусов.

ДНК обычно существует в виде двухцепочечных структур: две полинуклеотидные цепочки соединены водородными связями и закручены таким образом, что образуется двойная спираль. РНК, напротив, обычно существует в виде одноцепочечных структур. Однако геном отдельных вирусов представляет собой одноцепочечную ДНК или двухцепочечную РНК.

Первый этап репликации вирусов связан с проникновением вирусной нуклеиновой кислоты в клетку организма-хозяина. Большинство вирусов *специфичны*: они поражают только определенные типы клеток-хозяев многоклеточных организмов или отдельные виды одноклеточных организмов. Так, вирус — возбудитель гепатита, называемого иначе желтухой, проникает и размножается только в клетках печени, а вирус эпидемического паротита, в просторечии свинки, — только в клетках околоушных слюнных желез человека.

Проникновение в клетку-хозяина начинается взаимодействием вирусной частицы с мембраной клетки. Этому процессу могут способ-

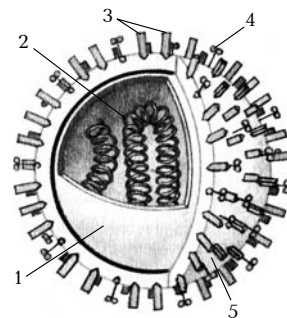


Рис. 16.44. Модель вируса гриппа: 1 — капсид (внутренняя белковая мембрана); 2 — свернутая в кольцо РНК; 3 — гемагглютинин; 4 — нейраминидаза; 5 — оболочка (наружная липидная мембрана). Вирус имеет форму, близкую к шаровидной. В сердцевине вируса содержится 8 генов, одетых в футляр из белковых молекул. Эти структуры окружены слоем белка внутренней оболочки. Наружная оболочка состоит из липидов, в которые погружены молекулы двух наружных белков (гликопротеидов). Один белок — гемагглютинин, а второй — нейраминидаза. Гемагглютинин назван так потому, что, фиксируясь на поверхности эритроцитов, он склеивает их. Нейраминидаза — фермент, отщепляющий от углеводной цепи плазмалеммы нейраминную кислоту

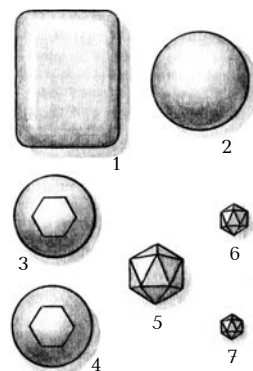


Рис. 16.45. Разнообразие вирусов: 1 — вирус теленки оспы; 2 — вирус паротита (свинки); 3 — вирус герпеса; 4 — вирус СПИДа; 5 — аденовирус (респираторный вирус); 6 — риновирус; 7 — полиовирус

твовать специальные ферменты, входящие в состав капсида или внешней оболочки вириона, причем оболочка остается снаружи клетки или вирион теряет ее сразу после проникновения внутрь клетки, на которой расположены особые рецепторные участки. Вирус находит подходящую для его размножения клетку, контактируя отдельными участками своего капсида (или внешней оболочки) со специфическими рецепторами на поверхности клетки по типу «ключ — замок». Если специфические («узнающие») рецепторы на поверхности клетки отсутствуют, то клетка не чувствительна к вирусной инфекции: вирус в нее не проникает.

В клетку-хозяина вирусные частицы попадают разными путями. Многие вирусы — благодаря тому, что их оболочка сливается с мембраной клетки-хозяина (например, как у вируса гриппа). Часто вирусная частица попадает внутрь клетки путем фагоцитоза (например, вирус полиомиелита). Большинство вирусов растений проникает внутрь клетки-хозяина в местах повреждения клеточных оболочек.

Для того чтобы реализовать свою генетическую информацию, проникая в клетку вирусная ДНК транскрибируется специальными ферментами в иРНК. Образовавшаяся иРНК перемещается к клеточным «фабрикам» синтеза белка — рибосомам, где она заменяет клеточные «послания» собственными «инструкциями» и транслируется (прочитывается), в результате чего синтезируются вирусные белки. Сама же вирусная ДНК многократно удваивается (реплицируется) при участии другого набора ферментов, как вирусных, так и принадлежащих клетке.

Синтезированный белок, используемый для строительства капсида, и размноженная во многих копиях вирусная ДНК объединяются и формируют новые, «дочерние» вирионы. Сформированное вирусное потомство покидает использованную клетку и заражает новые: цикл репродукции вируса повторяется. Некоторые вирусы во время отпочковывания от поверхности клетки захватывают часть клеточной мембраны, в которую «заблаговременно» встроились вирусные белки, и таким образом приобретают дополнительную оболочку. Что касается клетки-хозяина, то она в итоге оказывается поврежденной или даже полностью разрушенной. При поражении некоторыми вирусами клетки не разрушаются, а начинают усиленно делиться, часто образуя у животных и человека злокачественные опухоли.

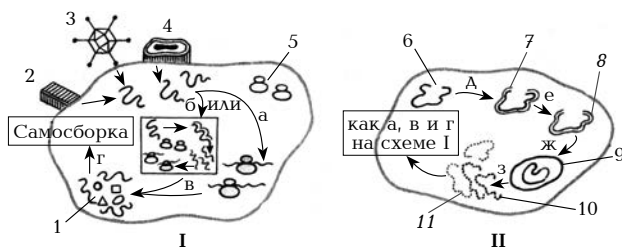
У некоторых ДНК-содержащих вирусов цикл репродукции в клетке не связан с немедленной репликацией вирусной ДНК; вместо этого вирусная ДНК встраивается (интегрируется) в ДНК клетки-хозяина. На этой стадии вирус как единое структурное образование исчезает: его геном становится частью генетического аппарата клетки и даже реплицируется в составе клеточной ДНК во время деления клетки. Однако впоследствии, иногда через много лет, вирус может появиться вновь — запускается механизм синтеза вирусных белков, которые, объединяясь с вирусной ДНК, формируют новые вирионы.

У некоторых РНК-содержащих вирусов геном (РНК) может непосредственно выполнять роль иРНК (рис. 16.46). Однако эта особенность характерна

Рис. 16.46. Схема размножения РНК-содержащих вирусов.

I (бактериальная, растительная или животная клетка): а — присоединение вирусной РНК к рибосомам клетки-хозяина; б — синтез иРНК на вирусной РНК (может происходить в ядре эукариотической клетки); в — синтез белков; г — самосборка вируса, за которой следует разрушение клетки или отпочковывание; 1 — РНК и белки вируса; 2 — спиральный вирус; 3 — икосаэдрический вирус; 4 — вирус с оболочкой; 5 — рибосомы.

II (только эукариотическая клетка): г — синтез ДНК-копии на вирусной РНК; е — синтез двуцепочечной ДНК с помощью фермента клетки ДНК-полимеразы; ж — встраивание вирусной двуцепочечной ДНК в геном клетки; з — образование иРНК на генах клетки и вируса; 6 — вирусная РНК; 7 — ДНК-копия вирусной РНК; 8 — двуцепочечная ДНК-копия; 9 — ядро; 10 — мРНК, синтезированная на клеточной ДНК; 11 — мРНК, синтезированная на вирусной ДНК.



только для вирусов с так называемой плюс-нитью РНК (т. е. с РНК, имеющей положительную полярность). У вирусов с минус-нитью РНК последняя должна сначала «переписаться» в «+» нить; только после этого начинается синтез вирусных белков и происходит репликация вируса.

Так называемые *ретровирусы* содержат в качестве генома РНК и имеют необычный способ транскрипции генетического материала: вместо транскрипции ДНК в РНК, как это происходит в клетке и характерно для ДНК-содержащих вирусов, их РНК транскрибируется в ДНК (происходит так называемая обратная транскрипция). На матрице такой вирусной ДНК синтезируется новая вирусная РНК, которая, как и другие, определяет синтез вирусных белков (рис. 16.46). В результате двухцепочечная ДНК вируса (так называемая провирусная ДНК) представляет собой в сущности дополнительный набор генов клетки, который реплицируется вместе с ДНК хозяина при делении.

Для образования новых ретровирусных частиц провирусные гены (гены вируса в хромосомах хозяина) транскрибируются в ядре клетки транскрипционным аппаратом хозяина в (+)РНК вируса. Одни из них становятся геномом нового «потомства» ретровирусов, а другие превращаются в иРНК и используются для синтеза вирусных белков, необходимых для сборки вирусных частиц. Двухцепочечная ДНК вируса затем встраивается в хромосомную ДНК клетки.

Классификация вирусов. В основе классификации вирусов наиболее продуктивным оказался подход, основанный на структурно-функциональной характеристике вирусов: чтобы отличить разные группы вирусов друг от друга, описывают тип их нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК, каждая из которых может быть одноцепочечной или двухцепочечной), ее размеры (число нуклеотидов в цепочке нуклеиновой кислоты), число молекул нуклеиновой кислоты в одном вирионе, геометрию вириона и особенности строения капсида и наружной оболочки вириона, тип хозяина (растения, бактерии, насекомые, млекопитающие и др.), особенности вызываемой вирусами патологии (симптомы и характер заболевания), антигенные свойства вирусных белков и особенности реакции иммунной системы организма на внедрение вируса (табл. 16.2.).

Таблица 16.2

Характеристика некоторых групп вирусов

Группа вирусов	ДНК- или РНК-содержащие	Число нитей	Оболочка	Хозяин	Заболевания человека
Безоболочечные с плюс-нитью РНК	РНК	Одна	Нет	Растения, бактерии, животные	Полиомиелит
Оболочечные с плюс-нитью РНК	РНК	Одна	Есть	Членистоногие, позвоночные	Некоторые виды рака, СПИД, желтая лихорадка
Оболочечные с минус-нитью РНК	РНК	Одна	Есть	Растения, животные	Грипп, свинка, бешенство
С двунитчатой РНК	РНК	Две	Есть	Растения и животные	Колорадская лихорадка
С малогеномной ДНК	ДНК	Одна или две	Есть	Главным образом животные	Вирусный гепатит, бородавки
Вироиды	РНК	Одна	Нет	Только растения	

В систему классификации вирусов не вполне укладывается группа микроскопических возбудителей болезней, называемая *вирионами* (т. е. вирусоподобными частицами). Это мельчайшие инфекционные агенты, лишенные даже простейшего белкового чехла (имеющегося у всех вирусов); они состо-

ят только из замкнутой в кольцо одноцепочечной РНК. Вироиды вызывают многие распространенные заболевания растений, животных и человека (например, раннее старческое слабоумие).

Бактериофаги. Вирусы, поражающие бактерии, называются *бактериофагами* (гр. *бактерион* — палочка и *фагос* — пожиратель), или *фагами*.

Частица фага кишечной палочки состоит из головки, от которой отходит полый стержень, окруженный чехлом из сократительного белка (рис. 16.47). Стержень заканчивается базальной пластинкой, на которой закреплено 6 нитей. Внутри головки находится ДНК. При помощи нитей вирус соединяется с рецепторными участками клетки-хозяина и прикрепляется к ней. В месте соприкосновения с бактерией вирус с помощью фермента растворяет клеточную оболочку. После этого за счет сокращения головки молекула ДНК фага впрыскивается через канал стержня в клетку. Примерно через 10—15 мин под действием этой ДНК перестраивается весь метаболизм бактериальной клетки, и она начинает воспроизводить ДНК бактериофага, а не собственную ДНК. При этом синтезируется и фа-

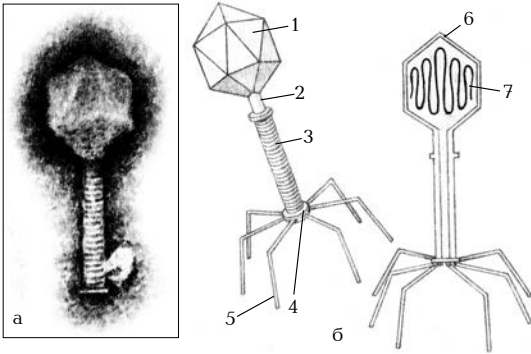


Рис. 16.47. Бактериофаг: а — вид в электронный микроскоп; б — схема строения: 1 — головка; 2 — шейка; 3 — хвост; 4 — базальная пластинка; 5 — хвостовые нити; 6 — белковая оболочка; 7 — нуклеиновая кислота

говый белок. Завершается этот процесс появлением 200—1000 новых фаговых частиц, в результате чего примерно через полчаса после инфицирования клетка бактерии гибнет (рис. 16.48). Бактериофаги, образующие в зараженных клетках новое поколение фаговых частиц, приводя к разрушению (лизису) бактериальную клетку, называются *вирулентными фагами*. Образовавшиеся фаговые частицы способны заражать другие бактериальные клетки. Некоторые фаги используются человеком для борьбы с болезнетворными бактериями, например с бактериями, вызывающими холеру, дизентерию, брюшной тиф.

Некоторые бактериофаги внутри клетки-хозяина не реплицируются. Вместо этого их нуклеиновая кислота включается в ДНК хозяина, образуя с ней единую молекулу, способную к репликации (рис. 16.48). Такие фаги получили название *умеренных фагов*, или *профагов*. Бактерии, содержащие профаг, называются *лизогенными*. Они проявляют устойчивость к содержащемуся в них фагу, а также к близким к нему другим фагам. Связь профага с бактерией весьма прочная и может быть разрушена под воздействием ультрафиолетовых лучей, ионизирующей радиации либо под влиянием определенных химических веществ.

Иногда при воспроизведении вируса в него попадает и часть ДНК хозяина. Тогда при заражении других клеток модифицированные вирусы привнесут в них часть ДНК предыдущей клетки-хозяина. Таким образом, некоторые вирусы способны переносить гены от одних клеток к другим. Этим объясняется частое их использование в генной инженерии.

Происхождение вирусов до сих пор остается загадкой. Зависимость вирусов от других организмов, в клетках которых они могут размножаться, дает основание считать, что они не могли появиться раньше клеточных организмов. Наиболее просто устроенные вирусы состоят из нуклеиновой кислоты, являющейся генетическим материалом (геномом) вируса, и покрывающего нуклеиновую кислоту белкового чехла. В состав некоторых вирусов входят также углеводы и жиры (липиды). Таким образом, вирусы можно рассматривать просто как мобильные наборы генетической информации. Вирусы лишены некоторых ферментов, необходимых для репродукции, и могут размножаться только внутри живой клетки, метаболизм которой после заражения перестраивается на воспроизводство вирусных, а не клеточных компонентов. Это свойство вирусов позволяет отнести их к облигатным

(обязательным) клеточным паразитам. После синтеза отдельных компонентов формируются новые вирусные частицы. Симптомы вирусного заболевания развиваются как следствие повреждения вирусами отдельных клеток.

Принято считать, что вирусы произошли в результате обособления (автономизации) отдельных генетических элементов клетки, получивших, кроме того, способность передаваться от организма к организму. В нормальной клетке происходят перемещения нескольких типов генетических структур, например информационной РНК (иРНК), интронов, плазмид. Такие мобильные элементы, возможно, были предшественниками, или прародителями, вирусов. Существует также точка зрения, что вирусы представляют собой сильно дегенерированные клетки или их фрагменты, которые в процессе приспособления к паразитизму утратили все, без чего можно обойтись (клеточную оболочку, цитоплазму с органоидами), за исключением своего наследственного аппарата в виде нуклеиновой кислоты (РНК или ДНК) и защитного аппарата в форме белковой капсулы.

Вирусные заболевания. Хотя вирусы не являются полноценными живыми организмами, их эволюционное развитие имеет много общего с эволюцией других патогенных организмов. Для того чтобы сохраниться как вид, ни один паразит не может быть слишком опасным для своего основного хозяина, в котором размножается. В противном случае это привело бы к полному исчезновению хозяина как биологического вида, а вместе с ним и самого возбудителя. В то же время любой патогенный организм не сможет существовать как биологический вид, если у его основного хозяина слишком быстро и эффективно развивается иммунитет, позволяющий подавлять репродукцию возбудителя. По этой причине вирус, вызывающий острое и тяжелое заболевание у какого-либо вида животных, обычно имеет еще и другого хозяина. Размножаясь в последнем, вирус не наносит ему (как виду) существенного вреда. Такое относительно безвредное сосуществование поддерживает циркуляцию вируса в природе. Так, например, вирус бешенства в природе сохраняется среди грызунов, для которых заражение этим вирусом не является смертельным. Природным резервуаром для вирусов лошадиных энцефалитов, особо опасных для лошадей и в несколько меньшей степени для человека, являются птицы. Эти вирусы переносятся кровососущими комарами, в которых вирус размножается без существенного вреда для комара.

Для многих вирусов, например кори, герпеса и отчасти гриппа, основным природным резервуаром является человек. Передача этих вирусов происходит воздушно-капельным или контактным путем.

Многие вирусы не могут долго сохраняться в природе при низкой плотности расселения вида-хозяина. Малочисленность популяций первобытных охотников и сборщиков растений создавала неблагоприятные условия для существования некоторых вирусов; поэтому весьма вероятно, что какие-то вирусы человека возникли позже, с появлением городских и сельских поселений. Предполагается, что вирус кори первоначально существовал среди собак (как возбудитель лихорадки), а натуральная оспа человека могла появиться в результате эволюции оспы коров или мышей. К наиболее «свежим» примерам эволюции вирусов можно отнести синдром приобретенного иммунодефицита человека (СПИД). Существуют данные о генетическом сходстве вирусов иммунодефицита человека и африканских зеленых мартишек.

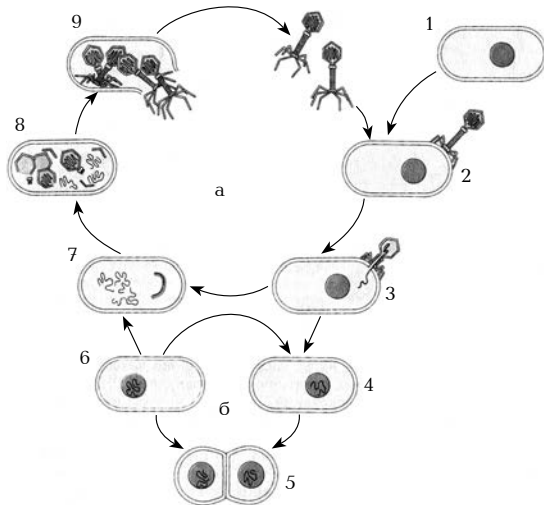


Рис. 16.48. Литический (а) и лизогенический (б) циклы бактериофага: 1 — неинфицированная клетка; 2 — вирус атакует клетку; 3 — образование провируса; 4 — вирусная ДНК встраивается в бактериальную хромосому; 5 — воспроизведение лизогенной (зараженной) бактерии; 6 — индукция провируса в вегетативный вирус; 7 — репликация ДНК; 8 — сборка новых вирусов; 9 — разрушение клетки и выход вирусов

В настоящее время известны вирусы, размножающиеся в клетках растений, животных, грибов, протистов и бактерий, вызывая различные заболевания. Среди них — мозаики и желтухи растений, ящур, чума, бешенство, пневмония, оспа, грипп и другие болезни животных. Вирусы играют важную роль в регуляции численности многих видов живых организмов. Например, вирус бешенства арктический раз в несколько лет сокращает численность песцов в несколько раз.

Более десяти основных групп вирусов патогенны для человека. ДНК-содержащие вирусы вызывают натуральную оспу, коровью оспу и другие оспенные инфекции; вирусы группы герпеса — герпетические высыпания на губах, ветряную оспу; аденовирусы — заболевания дыхательных путей и глаз; ДНК-содержащий вирус из семейства гепаднавирусов — гепатит В. РНК-содержащих вирусов, болезнетворных для человека, значительно больше. Они вызывают полиомиелит, гепатит А, острые простудные заболевания, разные формы гриппа, кори и эпидемического паротита (свинки), клещевой и японский энцефалит, желтую лихорадку и другие опасные болезни.

Лечение и профилактика вирусных заболеваний. 1. *Создание препаратов, подавляющих синтез вирусной ДНК.* Репродукция вирусов тесно переплетается с механизмами синтеза белка и нуклеиновых кислот клетки в зараженном организме, поэтому создать лекарства, избирательно подавляющие вирус, но не наносящие вреда организму, — задача чрезвычайно трудная. Все же оказалось, что у наиболее крупных вирусов герпеса и оспы геномные ДНК кодируют большое число ферментов, отличающихся по свойствам от сходных клеточных ферментов, и это послужило основой для разработки противовирусных препаратов. Создано несколько препаратов, механизм действия которых основан на подавлении синтеза вирусных ДНК, например препарат, используемый для лечения при поражении глаз вирусом герпеса.

2. *Использование интерферонов.* Известно, что в организме человека вырабатываются особые белки — интерфероны. Они подавляют трансляцию вирусных нуклеиновых кислот и таким образом угнетают размножение вируса. Благодаря генной инженерии стали доступны и проходят проверку в медицинской практике интерфероны, производимые бактериями.

3. *Вакцинация.* К самым действенным элементам естественной защиты организма относятся специфические антитела (специальные белки, вырабатываемые иммунной системой), которые взаимодействуют с соответствующим вирусом и тем самым эффективно препятствуют развитию болезни; однако они не могут нейтрализовать вирус, уже проникший в клетку. Примером может служить герпетическая инфекция: вирус герпеса сохраняется в клетках нервных узлов (ганглиев), где антитела не могут его достичь. Время от времени вирус активизируется и вызывает рецидивы заболевания.

Обычно специфические антитела образуются в организме в результате проникновения в него возбудителя инфекции. Организму можно помочь, усиливая выработку антител искусственно, в том числе создавая иммунитет заранее, с помощью вакцинации. Именно таким способом, путем массовой вакцинации, заболевание натуральной оспой было практически ликвидировано во всем мире. Современные методы вакцинации и иммунизации разделяются на три основные группы. Во-первых, это использование ослабленного штамма вируса, который стимулирует в организме продуцирование антител, эффективно действующих против более патогенного штамма. Во-вторых, введение убитого вируса (например, инактивированного формалином), который тоже индуцирует образование антител. Третий вариант — так называемая пассивная иммунизация, т. е. введение уже готовых «чужих» антител. Животное, например лошадь, иммунизируют, затем из ее крови выделяют антитела, очищают их и используют для введения пациенту, чтобы создать немедленный, но непродолжительный иммунитет. Иногда используют антитела из крови человека, перенесшего данное заболевание (например, корь, клещевой энцефалит).

ГЛАВА 17

Происхождение и эволюция человека

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ЖИВОТНЫХ

Вопрос о происхождении человека волновал наших предков с древних времен. Они находили самые разные ответы на этот вопрос, получившие частичное отражение в мифах и религиозных представлениях. В некоторых учениях и взглядах ученых человек признавался «родственником» животных. Например, в древних книгах индийских философов утверждалось, что человек произошел от обезьян. Только в результате точного и по возможности полного определения признаков организмов появилась возможность путем сравнения этих признаков сделать верные выводы о родственных связях. Шведскому натуралисту Карлу Линнею принадлежит большая заслуга в создании единой системы живых организмов. На основании своих исследований он включил обезьян и человека в один отряд животных и назвал их приматами. Немецкий ученый Эрнст Геккель привел убедительные аргументы в пользу родства человека и человекообразных обезьян. Ч. Дарвин на многочисленных примерах в специальном труде «Происхождение человека и половой отбор» (1871) показал близкое родство человека с высшими человекообразными обезьянами. Это сходство в строении скелета и других органов, сходство ранних стадий эмбриогенеза, сходные эмоциональные реакции человека и человекообразных обезьян, наличие рудиментарных органов (копчик, кожная мускулатура, которая поднимает волосы, ушная мышца, третье веко и др.; рис. 17.1). На родство человека и животных указывает также рождение людей с атаксизмами (хвост, волосатость лица, многососковость и др.).

Сравнивая человека с обезьянами, большинство людей сначала отмечают различия. Так, у человекообразных обезьян руки длиннее, а ноги короче, чем у людей, и они двигаются, повисая на ветвях деревьев, или по земле на всех четырех конечностях. Эти различия связаны с переходом к прямохождению.

Так, из хватательной ступни, подобной ступням современных человекообразных обезьян, развилась опорная стопа (рис. 17.2). Образовался S-образно изогнутый позвоночник, что улучшило устойчивость и амортизацию тела. С расширением таза увеличилась площадь для размещения ягодичных мышц. Чашеобразная форма таза позволяет лучше поддерживать внутренние органы. Ноги стали длиннее, и коленные суставы видоизменились таким образом, что позволило полностью распрямить ноги в коленях. Затылочное отверстие переместилось вперед, улучшив балансировку черепа (рис. 17.3).

Значительные различия показывает сравнение средней массы головного мозга человека (около 1450 г) с массой мозга человекообразных обезьян, например гориллы (около 430 г). Однако у большинства обезьян, как

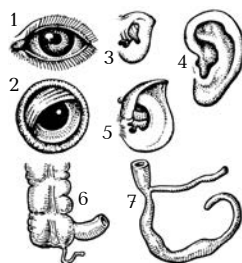


Рис. 17.1. Рудименты у человека: 1, 2 — третье веко человека и птицы; 3, 4, 5 — ушная раковина шестимесячного зародыша, взрослого человека и обезьяны; 6, 7 — слепая кишка с червеобразным отростком человека и копытного

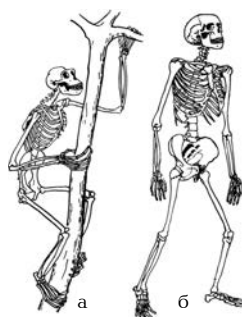


Рис. 17.2. Скелеты шимпанзе (а) и человека (б)

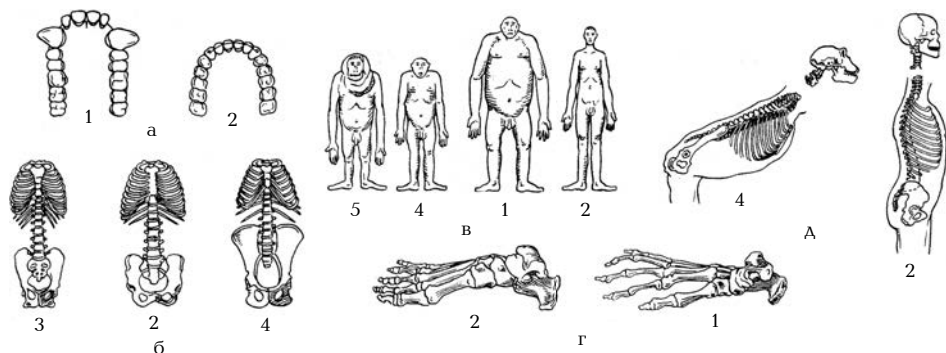


Рис. 17.3. Анатомические различия между человекообразными обезьянами и человеком: а — верхние челюсти; б — скелеты таза и туловища; в — сравнительные размеры тела; г — скелет стопы; г — изгиб позвоночника и таза и направление большого черепного отверстия; 1 — горилла; 2 — человек; 3 — гиббон; 4 — шимпанзе; 5 — орангутан

и у человека, на кистях и ступнях имеется по пять пальцев, снабженных ногтями. Большой палец кисти противопоставлен остальным, — в этом случае говорят о хватательной кисти (рис. 17.4).

Важные сведения о родстве организмов дает также строение зубов. Хотя формы челюстей гориллы и человека различны, жевательная поверхность коренных зубов выглядит одинаково в противоположность другим приматам. Однако большая часть признаков, по которым человекообразные обезьяны были сходны с человеком, стали известны лишь начиная с середины XX в. Так, у человекообразных обезьян выявлены те же группы крови, что и у человека. Наш гемоглобин (красный пигмент крови) совпадает с гемоглобином шимпанзе. По современным данным, ДНК человека на 98,4 % совпадает с ДНК шимпанзе и на 97,7 % — с ДНК гориллы. Для сравнения: наиболее известное до сих пор совпадение у двух видов гиббонов составило 97,8 %. Сравнение последовательностей нуклеотидов в ДНК показывает, что самыми близкими родственниками человека из ныне живущих видов являются два вида шимпанзе (обыкновенный и бонобо).

Лишь в 20-х гг. XX в. ученые начали изучать поведение человекообразных обезьян. Первые эксперименты в лабораторных условиях показали, что шимпанзе способны справляться с самыми различными ситуациями, в которые они были поставлены. Обезьяны использовали оказавшиеся под руками орудия, например палки, чтобы достать пищу. Они могли изменять предметы с помощью рук и зубов, чтобы приспособить их для выполнения задания.

Наблюдения в природе показали, что в разных стадах шимпанзе формировались различные «культуры». Одни умели доставать термитов с помощью травинки или тонкой веточки. Другие использовали подходящие камни, чтобы колоть орехи. Третьи разжевывали листья в подобную губке массу, которую они затем использовали, чтобы добывать воду для питья из углублений на коре деревьев.

Эксперименты с человекообразными обезьянами позволяли сделать вывод, что шимпанзе, в частности, обладают довольно большой способностью к обучению. Они могут целенаправленно изменять предметы, устанавливать причинные связи, объясняться с помощью звуков и жестов и даже усвоить некоторый «язык символов». Говорить они, однако, не могут по анатомическим причинам. Некоторые опыты показали также, что человекообразные обезьяны узнают себя в зеркале и, таким образом, осознают собственное «Я».

Однако их способности к абстрагированию недостаточны, чтобы сделать орудия труда, с помощью которых изго-

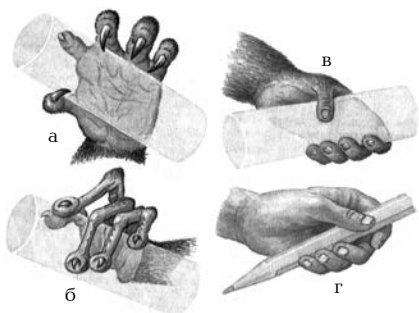


Рис. 17.4. Способ захвата предмета кистью приматов (а — тупая; б — долгопая; в — мака) и человека (г)

тавляется непосредственно применяемый предмет (орудие 1-го порядка). Они не способны к абстрактному мышлению, которое, очевидно, связано с использованием понятий.

МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В ЗООЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Человек разумный (*Homo sapiens*) относится к типу Хордовые, подтипу Позвоночные, классу Млекопитающие, подклассу Плацентарные, отряду Приматы, семейству Гоминиды (Люди).

С *хордовыми* человека роднит: наличие хорды на ранних эмбриональных стадиях, нервной трубки, лежащей над хордой, жаберных щелей в стенках глотки, сердца на брюшной стороне под пищеварительным трактом.

Принадлежность человека к подтипу *Позвоночные* определяется замещением хорды позвоночником, развитым черепом и челюстным аппаратом, двумя парами конечностей, головным мозгом, состоящим из пяти отделов.

Наличие волос на поверхности тела, пяти отделов позвоночника, сальных, потовых и млечных желез, диафрагмы, четырехкамерного сердца, сильно развитой коры головного мозга и теплокровность свидетельствуют о принадлежности человека к классу *Млекопитающие*.

Развитие плода в теле матери и питание его через плаценту — особенности, характерные для подкласса *Плацентарные*.

Наличие передних конечностей хватательного типа (первый палец противопоставлен остальным), хорошо развитых ключиц, ногтей на пальцах, млечных желез с одной парой сосков, замена в онтогенезе молочных зубов на постоянные, рождение, как правило, одного детеныша позволяет отнести человека к отряду *Приматы*.

Сходная структура мозгового и лицевого отделов черепа, хорошо развитые лобные доли головного мозга, большое число извилин в коре полушарий головного мозга, наличие аппендикса, исчезновение хвостового отдела позвоночника, развитие мимической мускулатуры, группы крови, резус-фактор и другие признаки сближают человека с человекообразными обезьянами. Антропоиды также болеют многими инфекционными болезнями, присущими человеку (туберкулез, брюшной тиф, детский паралич, дизентерия, СПИД и др.). У шимпанзе встречается болезнь Дауна, возникновение которой, как и у человека, связано с наличием в кариотипе животного третьей хромосомы по 21-й паре. Близость человека к антропоидам прослеживается и по другим признакам.

ЭТАПЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Появление человека было связано с рядом существенных анатомических и физиологических изменений, в том числе:

- 1) структурными преобразованиями мозга;
- 2) увеличением мозговой полости и головного мозга;
- 3) развитием двуногого передвижения (бипедализм);
- 4) развитием хватательной кисти;
- 5) опущением гортани и подъязычной кости;

- 6) уменьшением размера клыков;
 - 7) появлением менструального цикла;
 - 8) редукцией большей части волосяного покрова.
- Становление человека как биологического вида проходило через четыре основных этапа — предшественника человека (протантропа); древнейшего человека (архантропа); древнего человека (палеоантропа); человека современного типа (неоантропа) (табл. 17.1).

Таблица 17.1

Основные этапы эволюции человека

Временные границы	Этапы эволюции человека	Характерные черты развития
100—35 тыс. лет	Стадия неоантропа (кроманьонца). Человек разумный	Формирование облика современного человека. Возникновение общества. Одомашнивание растений и животных
200—500 тыс. лет назад	Стадия палеоантропа (неандертальца). Человек неандертальский	Объем головного мозга 1200—1600 см ³ . Высокая культура изготовления орудий труда. Совершенствование речи и племенных отношений
2—0,4 млн лет назад	Стадия архантропа (питекантропа). Человек прямоходящий. Овладение огнем (питекантроп — о. Ява; синантроп — Китай, атлантроп — Африка, гейдельбергский человек — Европа)	Объем мозга 800—1200 см ³ . Формирование речи
2,4—1,6 млн лет назад	Человек умелый. Переходная стадия к формированию типа современного человека	Объем мозга 500—800 см ³ . Изготовление первых орудий труда (галечная культура)
4,2—1,9 млн лет назад	Стадия протантропа. Ардипитеки, Австралопитеки — предшественники людей. Переходная форма обезьяны к человеку	Прямоходящие. Использование примитивных «орудий» (палки, камни, кости). Дальнейшее развитие стадности
25—30 млн лет назад	Общие предки человекообразных обезьян и людей — дриопитеки	Древесный образ жизни, стадность



Рис. 17.5. *Арданопитек рамидус*

Предшественники человека. Предполагается, что ближайшим общим предком человека и антропоморфных обезьян была группа древесных обезьян (*дриопитеков*), обитавших 25—30 млн лет назад. Существует много косвенных данных, подтверждающих подобное предположение. Способность человеческой руки вращаться во все стороны благодаря шаровидному суставу плечевой кости могла возникнуть лишь у древесной формы, а не у бегавших по земле четвероногих животных. Только человек и приматы обладают способностью к вращению предплечья внутрь и наружу, а также хорошо развитой ключицей. У человека и обезьян на кистях и стопах развиты кожные узоры, которые имеются только у древесных млекопитающих.

Древесная жизнь способствовала совершенствованию сложных и тонко скоординированных движений, столь характерных для обезьян, обитающих на деревьях. Хорошо развитая хватательная функция кисти явилась предпосылкой к манипулированию предметами и превращению кисти в руку человека. Обитанию на деревьях благоприятствовала малая плодовитость крупных обезьян, у которых высоко развита забота о потомстве благодаря стадному образу жизни и тесной связи матери и детеныша.

Таким образом, обезьяноподобные предки человека обладали признаками, которые, совершенствуясь, давали преимущества в естественном отборе: развитие хватательной конечности способствовало возникновению прямохождения; хорошо развитый головной мозг стимулировал усложнение поведения; стадный образ жизни со сложно организованной структурой общества

способствовал развитию средств коммуникации и в конечном итоге привел к возникновению членораздельной речи.

Примерно 25 млн лет назад произошло разделение дриопитеков на две ветви, которые в дальнейшем привели к возникновению двух семейств: *понгид*, или *антропоморфных обезьян* (гibbon, горилла, орангутан, шимпанзе), и *гоминида* (людей). Понгиды, оставаясь жить в лесу, сохранили древесный образ жизни. Предки же гоминид начали осваивать открытые пространства. Предпосылкой для такого перехода была уже приобретенная способность к наземному обитанию, использование различных предметов для добычи пищи и защиты, а значит, освобождение рук от участия в передвижении, развитие хождения на двух ногах.

В среднем миоцене (около 12 млн лет назад) произошло глобальное похолодание, которое привело к значительным изменениям в характере окружающей среды. Обширные тропические леса Африки вытеснялись саваннами, поросшими деревьями. Так возникли местообитания, населенные около 4,2 млн лет назад видом *Аргупитек рамидус* (рис. 17.5). Их ископаемые остатки были найдены в Эфиопии. У ардипитеков были сравнительно небольшие коренные зубы с довольно тонкой эмалью и переднекоренные зубы, как у человекообразных обезьян. Строение тела позволяло передвигаться, как повисая на руках, так и на двух задних конечностях. Таким образом, ардипитек функционально представляет собой первое связующее звено между лазаньем человекообразных обезьян и прямохождением человека.

Почти одновременно с ардипитеками в Восточной Африке от 4,2 до 1,9 млн лет назад жили *австралопитеки* («южные обезьяны»). Их называли также «человекообразными» (рис. 17.6). Многие находки ископаемых остатков доказывают, что австралопитеки были гоминидами, которые передвигались в вертикальном положении и имели руки и зубы, похожие на человеческие. Их череп с сильно скошенным лбом мог вмещать головной мозг объемом от 400 до 700 см³ и имел очень большие челюсти с широкими коронками коренных зубов (рис. 17.7). Полагают, что они питались растительной пищей.

Древнейший человек (архантроп). Первым древнейшим человеком был *Человек умелый* (*Homo habilis*) (рис. 17.8). Ископаемый череп Человека умелого впервые найден в 1950 г. в Олдувае (ущелье на севере Танзании в Восточной Африке). Впервые на местах стоянок были найдены не только костяные орудия, которые использовали уже австралопитеки, но и костяные и каменные орудия, обработанные с помощью камня. Выделяют 6 типов орудий галечной культуры, основными из которых являются чопперы (англ. — ударник) (рис. 17.9), многогранники и различные орудия из отщепов. Тем самым здесь впервые в истории развития рода *Человек* налицо изготовление орудий, присущее только человеку. Эти люди жили группами и были охотниками и собирателями. Местом их обитания, как и австралопитеков, была саванна. Они питались растительной и животной пищей. Каменные орудия с острыми краями намного лучше подхо-

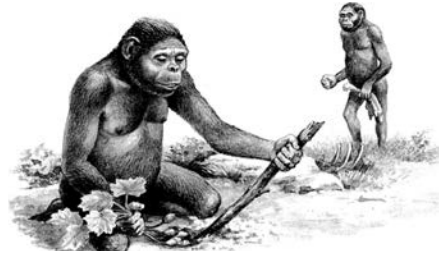


Рис. 17.6. Австралопитеки

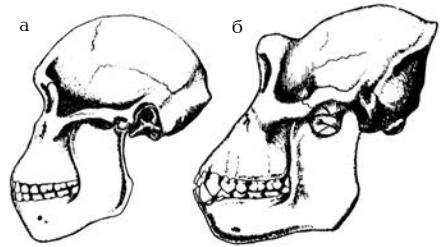


Рис. 17.7. Череп австралопитека (а) и гориллы (б)

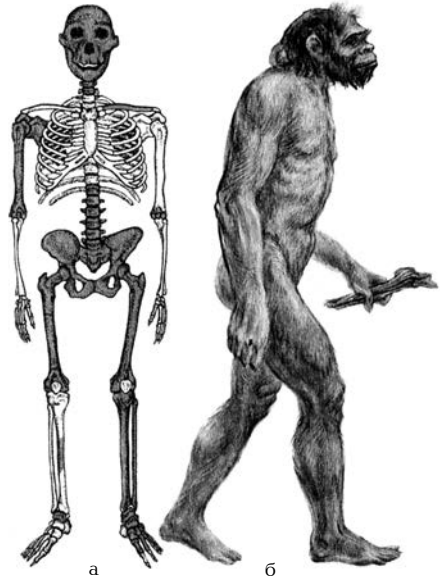


Рис. 17.8. Реконструкция по находкам окаменевших костей (окрашены) скелета (а) и внешнего облика (б) Человека умелого



Рис. 17.9. Орудие галечной культуры (чоппер)

дили для разделки добычи, чем костяные. Это давало преимущества в борьбе за выживание. Не ясно, охотился ли *Homo habilis* на больших животных, отнимал ли добычу у хищников или довольствовался остатками их добычи (теория падальщиков). Существуют различные гипотезы относительно родственных связей между австралопитеками и первым древнейшим человеком, но окончательные выводы пока не сделаны.

Следующей по времени за Человеком умелым формой древнейших людей является Человек прямоходящий (*Homo erectus*). Разные группы этого вида обитали от 2—1,5 млн лет назад до 0,8—0,4 млн лет назад. Этот древнейший человек был первым представителем рода Человек, жившим не только на Африканском, но и на Евро-Азиатском континенте. Однако его «колыбель» все же находилась в Африке.

Около 2 млн лет назад в Африке началось развитие гоминид с более мощным скелетом. Эта тенденция проявилась и у древнейшего человека. Однако у Человека прямоходящего были признаки, намечающие прогрессивное развитие Человека разумного (*Homo sapiens*). К ним относятся прежде всего увеличение объема мозговой коробки (800—1200 см³), изменение соотношения между мозговой и лицевой частями черепа, строение челюстного сустава и более округлая форма зубной дуги (рис. 17.10). В то время как австралопитеки и ранние представители рода Человек по многим признакам скелета напоминают обезьян, строение скелета Человека прямоходящего во многих деталях совпадает со строением скелета современного человека. С возникновением Человека прямоходящего изменение признаков, характерное для биологической эволюции, начинает замедляться, зато возрастают изменения, связанные с культурной эволюцией. У этих древнейших людей были все анатомические предпосылки для точного обращения с мелкими объектами и, следовательно, для изготовления эффективных орудий.

Около 1,5 млн лет назад проявляется новое качество: появляются разнообразные орудия клиновидной формы (ручные рубила) (рис. 17.11), которые изготавливались по-разному для различных целей (ашельская культура). Их изготовление требовало целенаправленного планирования и предвидения, что позволяет предположить наличие у древнейшего человека речи, хотя прямых доказательств этого пока нет.

Первые указания на использование огня также относятся к периоду 1,5 млн лет назад. В частности, метровые слои золы являются доказательством того, что огонь горел на одном и том же месте сотни лет. Он использовался, вероятно, как источник тепла, для приготовления пищи, обработки предметов, защиты от хищников. Огонь способствовал сплочению группы и дальнейшему культурно-техническому развитию древнейших людей. В настоящее время найдено и описано значительное число останков разных форм древнейших людей. Среди них питекантропы, обитавшие в Индонезии (о. Ява), синантропы (Китай), атлантропы (Алжир, Марокко), гейдельбергский человек (Европа).

Древний человек (палеоантроп). Промежуточное положение между архантропом и ископаемыми формами современного человека (неоантропа) по строению тела и развитию культуры занимает неандертальский человек, или неандерталец (*Homo neanderthalensis*). Это название восходит к находке, сделанной в 1856 г. в пещере, расположенной в долине Неандерталь близ Дюссельдорфа в Германии. Сегодня в Европе, Азии, Африке и Австралии зафиксировано около 150 мест находок ископаемых остатков более 300 индивидумов неандертальского человека. Около 500 000 лет назад начинается предпоследний шаг эволюции на пути к современному человеку (*Homo sapiens*). Восходя-

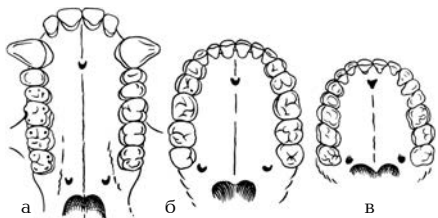


Рис. 17.10. Зубы верхней челюсти гориллы (а), австралопитека (б) и современного человека (в)

щий к очень давнему времени древний человек возник в Африке, Азии и Европе. Неандертальцы не являются единой группой. Среди них различают: преднеандертальцев (400 000—200 000 лет назад), ранних неандертальцев (200 000—90 000 лет назад) и поздних неандертальцев (90 000—30 000 лет назад). Мозг неандертальцев, средний объем которого около 1600 см³, превосходил показатели современных людей. Большая мозговая коробка была длинной и уплощенной (рис. 17.12). Глазницы, надглазничный валик и нос сравнительно большие. Неандертальцы были приземистыми, имели мощное телосложение и кости с толстыми стенками. Благодаря развитой мускулатуре, они были в полтора раза сильнее современного человека. Неандертальцам также приписывается *каменная культура*, обладавшая большим разнообразием форм и возможностей применения, чем у древнейших людей (рис. 17.13). Кроме того, неандертальцы не только умели пользоваться огнем, но и могли добывать его.

Неандертальцы жили группами, члены которых были относительно тесно связаны, и характеризовались разделением труда между полами. Неандертальцы ледникового периода были *охотниками* и *собираателями*. Важную роль в качестве источников сырья и пищи играли для них мамонт и зубр. Кость из бивней мамонта служила материалом для оружия, орудий труда и строительства хижин.

Антропологи считают, что жизнь неандертальцев была трудной. Большинство найденных скелетов имеют следы ранений. Тот факт, что многие неандертальцы жили долгое время после тяжелейших ранений, указывает на заботу членов группы друг о друге. Это подтверждается также тем, что неандертальцы помещали в могилы умерших соплеменников различные предметы.

Человек современного типа (неантроп). Этот этап развития представлен одним видом — *Человек разумный (Homo sapiens)*. В Африке прослеживаются три ступени развития современного человека, различающиеся по характеристикам черепа: ранний древний *Homo sapiens* (500 000—200 000 лет назад), поздний древний *Homo sapiens* (200 000—100 000 лет назад) и современный *Homo sapiens* (начиная примерно со 100 000 лет назад). В отличие от раннего древнего *Homo sapiens*, имевшего довольно массивное сложение, поздний древний *Homo sapiens* имел слабо выраженный надглазничный валик, высокий свод черепа, тонкие челюсти, подбородочный выступ, менее мощное физическое развитие. Современный *Homo sapiens* из Африки не отличается от форм, известных в Европе последние 35 000 лет. По месту находки нескольких скелетов, сделанной в 1868 г. в гроте Кро-Маньон (Франция), неантропа часто называют *кроманьонцем*.

Исходный предок человека современного типа до настоящего времени неизвестен. Сравнение митохондриальной ДНК неандертальцев и современных людей позволяет предположить, что расхождение этих эволюционных линий произошло около 500 000 лет назад.

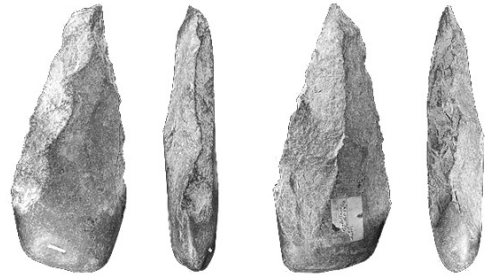


Рис. 17.11. Орудия труда ашельской культуры (вид спереди и сбоку): рубила, изготовленные около 1,5 млн лет назад

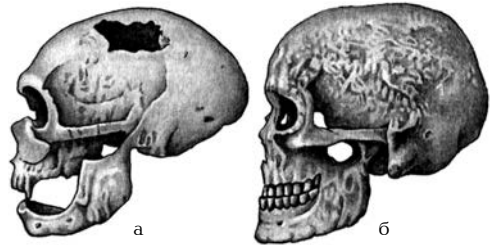


Рис. 17.12. Череп: а — неандертальца; б — кроманьонца

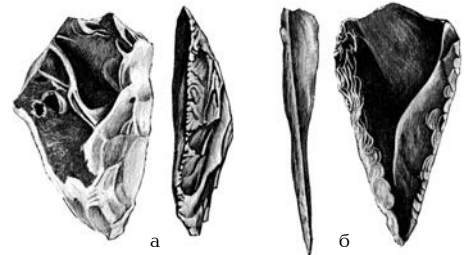


Рис. 17.13. Орудия труда неандертальца (вид спереди и сбоку): а — скребок; б — остроконечник

Современный человек около 100 000 лет назад продвинулся из Африки в ближневосточный регион. Здесь он в течение почти 50 000 лет занимал общую с неандертальцем территорию. Вполне возможно, что неандертальцы учились у современного человека. На это указывает смешанное присутствие более простых орудий неандертальской культуры и более сложных орудий современного человека на месте находки неандертальцев в Сен-Сезар (Франция) (рис. 17.14).

Современные люди превосходили неандертальцев не только в изготовлении орудий, но и в использовании ресурсов окружающей среды. Строение их скелета и мышц требовало меньших затрат энергии, детская смертность была ниже, они жили дольше и были более плодовиты. Благодаря этому современные люди размножались значительно быстрее неандертальцев, которые оттеснялись в неблагоприятные места обитания. В конце концов неандертальцы не смогли противостоять все возрастающему давлению и постепенно вымерли.

Объем черепной коробки современного человека ледникового периода составлял от 1200 до 1700 см³ и соответствовал данным как неандертальцев, так и ныне живущих людей. Череп (рис. 17.15) имел более тонкие стенки, чем у неандертальца, более тонкими были и кости скелета в целом. Надглазничный валик отсутствовал. Лицевая часть была гораздо меньше высокой черепной коробки. На нижней челюсти имелся подбородочный выступ, что свидетельствует о хорошем развитии членораздельной речи. У него вполне сформировалась современная человеческая рука, прямая походка. В погребениях вместе с костями было обнаружено большое количество предметов, которые позволяют сделать довольно точные выводы об образе жизни этих людей. Новыми культурно-техническими достижениями тех времен можно считать оружие дальнего действия —

лук и стрелы; метательные копья, гарпуны и камни; жилища из дерева и камней, часто обтянутые звериными шкурами; украшения из зубов и раковин. Впечатляют также свидетельства художественной деятельности: *наскальные рисунки и скульптуры*. Разнообразие орудий позволяет судить о разделении труда внутри группы. Долгое время люди жили только тем, что предлагала им природа, они были охотниками и собирателями. Примерно 10 000 лет назад они стали не только охотиться на животных, но и ловить, и приручать их. Таким способом они создавали *пищевые резервы*. Несколько позже в некоторых регионах Земли люди начали *обрабатывать почву и разводить растения*. Так, от современных людей ледникового периода произошел *ныне живущий современный человек*.

Произошло стремительное культурное развитие человека. Растения и животные не только содержались, но и постепенно изменялись путем селекции соответственно представлениям и потребностям человека. Человек научился превращать одни формы энергии в другие и использовать их в технических целях. Он сделал огромное количество научных открытий и сегодня в состоянии изменять по своему усмотрению большие территории. Человек стал творцом окружающего его мира.

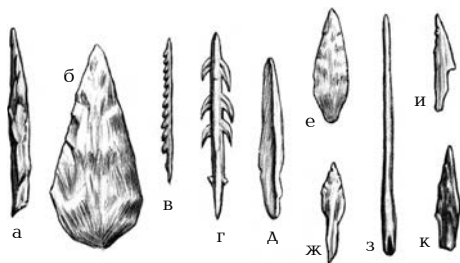


Рис. 17.14. Находки орудий труда кроманьонца: а — сужающийся остроконечник; б — ручное рубило; в, г — наконечники гарпуна; г — нож с тупой тыльной стороной; е — наконечник для стрелы; ж — проколка; з — костяная игла с ушком; и — наконечник для дротика; к — наконечник копья

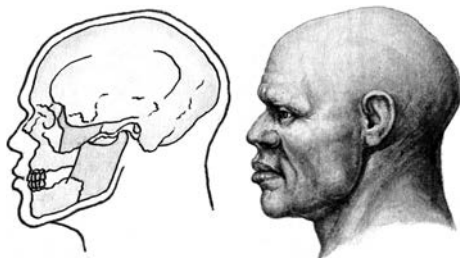


Рис. 17.15. Реконструкция по найденным останкам внешнего облика кроманьонца

ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Историческое развитие человека происходило под влиянием тех же факторов биологической эволюции, что и остальных видов живой природы. Однако для антропогенеза (гр. *anthropos* — человек и *genesis* — развитие) недостаточно действия одних биологических факторов — он сопровождается еще социальными факторами.

Факторы антропогенеза

биологические:

- 1) мутации;
- 2) популяционные волны;
- 3) дрейф генов;
- 4) изоляция;
- 5) борьба за существование;
- 6) естественный отбор.

социальные:

- 1) трудовая деятельность;
- 2) общественный образ жизни;
- 3) речь;
- 4) мышление;
- 5) культура.

На ранних этапах эволюции человека преобладали биологические движущие силы. Решающее значение имел отбор на лучшую приспособляемость к меняющимся условиям среды, отбор особей, способных к изготовлению примитивных орудий труда, позволяющих им добывать пищу и защищаться от врагов. Позднее (на стадии австралопитеков) объектом отбора становится стадность и связанные с ней относительно развитые формы общения. В борьбе за существование выживали группы особей (семьи), которые сообща могли противостоять неблагоприятным факторам среды. Индивидуальный отбор на основе избирательной элиминации (гибели) формировал морфофизиологические особенности организации человеческого типа (прямохождение, развитая кисть руки, крупный мозг), а групповой отбор совершенствовал социальную ориентацию, т. е. формы отношений в стаде.

Главной движущей силой эволюции человека, начиная с момента возникновения древнейших людей и до появления человека современного типа, была *трудовая деятельность*. На эту особенность эволюции человека обратил внимание Ф. Энгельс в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека» (1876). Освобождение руки от функции опоры, по мнению Ф. Энгельса, было необходимым условием ее дальнейшего совершенствования. Рука стала совершенно особым органом защиты и нападения, действующим на расстоянии с помощью различных предметов. Кроме того, древнейший человек постепенно стал использовать руку для изготовления орудий труда. В процессе изготовления и употребления орудий труда рука совершенствовалась функционально и морфологически, что оказало влияние на весь организм. Результатом трудовой деятельности стали морфофизиологические особенности человека, высокоразвитая центральная нервная система, разделение функций нижних и верхних конечностей. Кроме того, труд способствовал сплочению древних людей в коллективы, т. е. созданию общества взамен стада.

Общественный труд оказал большое влияние на развитие мозга и органов чувств. В ходе совместной трудовой деятельности возникала жизненная необходимость в обмене информацией. В процессе эволюции у предков современного человека произошли такие изменения голосового аппарата и мозга, которые способствовали появлению речи.

Трудовая деятельность, коллективный труд и связанная с ним членораздельная речь сделали необходимым условием жизни людей передачу накопленного опыта следующим поколениям. Преимущество перед другими полукочевыми племенами, которые не только поддерживали физически сильных особей, но и сохраняли престарелых членов общества — хранителей информации

о способах выживания и деятельности в различных условиях (охотников, мастеров по выделке шкур, изготовлению орудий труда, знатоков лекарственных растений и т. д.). Если особенности строения и физиологии человека передаются по наследству на основе генетической информации, то социальная информация передается с помощью слова и обучения и определяет духовный облик индивидуума. Каждое взрослое поколение передает молодому опыт, знания, духовные ценности в процессе воспитания и образования.

В современном человеческом обществе действие биологических факторов эволюции претерпело значительные изменения. В нем полностью исключена внутривидовая борьба за существование, утратил свое ведущее значение естественный отбор, который в основном выполняет стабилизирующую функцию (поддерживает признаки вида Человек разумный). Популяционные волны могут сказываться только в малонаселенных регионах, так как численность человеческой популяции не подвержена значительным колебаниям. Изоляция также теряет свое значение — нарушение изоляционных барьеров ведет к обогащению генофонда популяций.

Сохранил свое значение мутационный процесс. Мутации изменяют генотипический состав населения и совместно с комбинационной изменчивостью обеспечивают полиморфизм популяций. Ослабляющее действие естественного отбора может способствовать накоплению в популяциях вредных мутаций, ведущих к снижению жизнеспособности особей. Это обстоятельство необходимо учитывать в разных областях человеческой деятельности, и прежде всего в охране окружающей среды.

Качественные отличия человека. Несмотря на определенные сходства человека с животными, между человеком и животными, в том числе и человекообразными обезьянами, существуют коренные различия. Только человек имеет истинное прямохождение. В силу вертикального положения скелет человека имеет четыре изгиба позвоночника, опорную сводчатую стопу с сильно развитым большим пальцем, плоскую грудную клетку.

Гибкая кисть руки — органа труда — способна выполнять самые разнообразные и высокоточные движения. Мозговой отдел черепа значительно преобладает над лицевым. Площадь коры больших полушарий и объем головного мозга значительно выше, чем у человекообразных обезьян. Человеку присуще сознание и образное мышление, с чем связаны такие виды деятельности, как конструирование, живопись, литература, наука. Наконец, только люди могут общаться друг с другом при помощи речи.

Для человека характерна особая, не связанная с генетическими механизмами форма передачи информации в ряду поколений — преемственность культуры, знаний, традиций. Опыт, приобретенный человеком на протяжении жизни, не исчезает вместе с ним, а становится составной частью общечеловеческой культуры. Все это стало возможным благодаря развитию речи, а затем и письменности.

Морфофизиологические признаки человека передаются по наследству. Однако человеческий организм — это еще не человек в социальном смысле. Способности к трудовой деятельности, мышлению и речи развиваются в процессе индивидуального развития человека в ходе воспитания и обучения. Вне человеческого общества формирование специфических человеческих качеств невозможно.

Эти особенности строения, жизнедеятельности и поведения человека — результат эволюции его животных предков. Совокупность человеческих индивидуумов называют человечеством.

ОСНОВНЫЕ РАСЫ ЧЕЛОВЕКА, ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЕДИНСТВА

Как уже упоминалось, современный человек *Homo sapiens* после своего появления в Африке расселился и на другие континенты. Сегодня можно назвать шесть регионов, в которые человек мог переселиться и где отдельные популяции развивались изолированно одна от другой:

- 1) Западная Европа (согреваемая Гольфстримом) с побережьями Средиземного и Черного морей;
- 2) Северная Африка до юго-восточной границы Сахары;
- 3) область южнее бассейна Конго;
- 4) Индия;
- 5) Юго-Восточная Азия с Индонезией;
- 6) Восточный Китай.

За исключением Индии, где условия были неблагоприятны для превращения остатков отмерших организмов в окаменелости, во всех этих областях найдены ископаемые остатки человека ледникового периода.

Исходя из общих черт проживающих в этих областях в настоящее время людей с соответствующими ископаемыми находками, одни антропологи различают три большие расы, другие — пять, наконец, некоторые подразделяют живущих на Земле людей более чем на 60 рас.

Раса — система человеческих популяций, характеризующихся сходством по комплексу определенных наследственных биологических признаков. Расы появились в результате расселения и географической изоляции предков современных людей в разных природно-климатических условиях. Расовые признаки возникли в далеком прошлом под непосредственным влиянием среды и носили адаптивный характер.

Рассмотрим концепцию трех больших рас, которой все еще придерживаются многие антропологи. Каждая раса отличается мелкими морфологическими признаками: тип и цвет волос, цвет кожи, глаз, форма носа, губ, лица и головы, пропорции тела и конечностей.

Негроидная (австрало-негроидная, или экваториальная) раса характеризуется темным цветом кожи, курчавыми или волнистыми волосами, широким и мало выступающим носом, толстыми губами и темными глазами. До эпохи колонизации эта раса была распространена в Африке, Австралии и на островах Тихого океана.

Европеоидная (евро-азиатская) раса отличается светлой или смуглой кожей, прямыми или волнистыми волосами, хорошо развитым волосным покровом на лице у мужчин (борода и усы), узким выступающим носом, тонкими губами. Представители этой расы расселены в Европе, Северной Африке, Передней Азии и Северной Индии.

Для *монголоидной (азиатско-американской) расы* характерны смуглая или светлая кожа, прямые, часто жесткие волосы, уплощенное широкое лицо с сильно выступающими скулами, средняя ширина губ и носа, заметное развитие эпикантуса (складка века). Первоначально эта раса заселяла Юго-Восточную, Восточную, Северную и Центральную Азию, позднее Северную и Южную Америку.

Хотя большие расы заметно отличаются друг от друга по комплексу внешних признаков, они связаны между собой рядом промежуточных типов, незаметно переходящих один в другой.

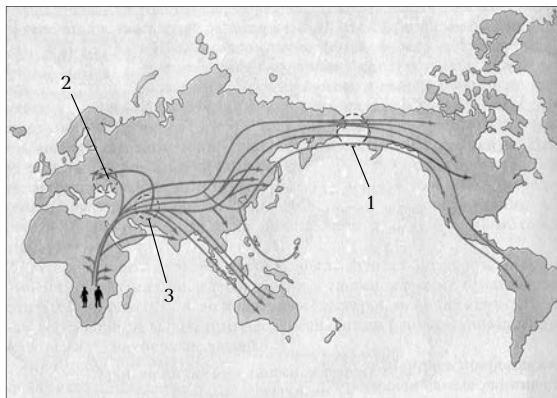


Рис. 17.16. Пути и время расселения неантропов (по генетическим данным): 1 — Америка (70 000—35 000 лет назад); 2 — Европа (39 000—51 000 лет назад); 3 — Азия (56 000—73 000 лет назад)



Пигмеи — самые маленькие люди на планете. Основная часть пигмеев живет в Заире, в лесу Итури, равном по площади Франции. Считается, что в этом лесу живут несколько тысяч пигмеев



Пигмей

Расовые особенности наследственны, и, по-видимому, часть из них в прошлом носила адаптивный характер. Так, темная кожа негроидов предохраняет организм от ярких солнечных лучей; в курчавых волосах создаются воздушные прослойки, защищающие от жары. Широкий нос и толстые вздутые губы с большой поверхностью слизистых оболочек способствуют быстрому испарению влаги с высокой теплоотдачей. Светлая кожа европеоидов пропускает ультрафиолетовые лучи и этим способствует синтезу витамина D, предохраняя человека от рахита. Узкий выступающий нос обеспечивает согревание вдыхаемого воздуха. Некоторые признаки монголоидов являются результатом адаптации к суровому, часто с пылевыми бурями климату Центральной Азии.

Современная гипотеза, основанная на сравнении ДНК митохондрий, определенными последовательностями генов, языков общения, подразделяет все человечество на 7 больших рас. Среди них выделяют негроидную, европеоидную, пигмеев, койсанскую (бушмены), монголоидную, американоидную, австралоидную (австрало-океанскую).

О биологическом единстве человеческих рас свидетельствуют:

- 1) отсутствие генетической изоляции и неограниченные возможности скрещиваний с образованием плодотворного потомства;
- 2) равноценность рас в биологическом и психологическом отношении;
- 3) наличие переходных рас между большими расами, совмещающими признаки двух соседних;
- 4) локализация на втором пальце кожных узоров типа дуг (у человекообразных обезьян — на пятном); у всех представителей рас одинаковый характер расположения волос на голове и другие морфофизиологические признаки.

Древнее человечество, представленное ранними тропическими популяциями, было, вероятно, темнопигментированным. Темную кожу, волосы и глаза имели также мигранты из Африки, давшие начало основной части современного человечества *Homo sapiens*. Потеря пигмента происходила лишь на окраинах ареала. Сочетание светлой кожи, волос и радужки глаз в доколумбову эпоху было лишь у небольшой части населения Земли, сосредоточенного в беломоро-балтийском «поясе блондинов». Однако заселение гигантских территорий Северной Америки и севера Евразии привело к росту ареала и популяции людей европеоидного типа. В настоящее время эта популяция вновь сокращается за счет более низкой рождаемости в белых семьях и смешения с чернокожим населением, несущим доминантные гены.

Проблема выделения рас и их характеристика состоит в том, что в настоящий момент на подобное подразделение влияет ряд субъективных факторов. Различия внешних признаков между группами современных людей (цвет кожи, волос, форма черепа, носа, губ и век, строение тела) не являются четкими. Так, например, темный цвет кожи — важный признак жителей Центральной и Западной Африки — встречается также у жителей Южной Индии, относящихся к европеоидам.

Особое положение занимают пигмеи. Они живут в Африке и Азии. Основным их признак — низкий рост: мужчины — менее 150 см, женщины — менее 140 см.

Сегодняшняя мозаика обликов людей является результатом изолированного развития, с одной стороны, и многочисленных переселений и смешиваний — с другой. В некоторых регионах смешивание такое сильное, что

отнесение людей к определенным «чистым расам» уже невозможно. В результате смешанных браков появляются смешанные расы. *Мулаты* — результат совмещения негроидной и европеоидной рас, *метисы* — монголоидной и европеоидной, а *самбо* — негроидной и монголоидной. Более того, существуют целые народности, в настоящее время меняющие свою расовую принадлежность. Например, жители Эфиопии и Сомали переходят от негроидной расы к европеоидной, а жители Мадагаскара — от монголоидной к негроидной. Следует учитывать, что в постколумбову эпоху огромные массы населения покинули свои природные ареалы. Активные расселения и завоевания европейцев усилили процесс смешения и миграций. Больше всего метисного населения в Южной и Северной Америке. В частности, практически все афроамериканцы являются не чистыми негроидами, а мулатами, поэтому вместо рас можно говорить о *географических группах людей*, или *типологических категориях*:

Группы антропологических типов людей:	Географическое распространение:
европеоиды	Европа, Северная Африка, Индия
монголоиды	Восточная Азия, Арктика
негроиды	Центральная, Западная, Южная Африка
австралоиды	Австралия, Новая Гвинея, Меланезия
американоиды	Северная и Южная Америка

Наряду с биологическим развитием современного человека протекало его культурное развитие. Исходя из различных типов поведения, ученые говорят о разных культурах. Пространственная изоляция приводила не только к возникновению различных языков, но и в зависимости от влияния окружающей среды — к возникновению различных представлений о своем происхождении и правилах совместной жизни, которые часто превращались в *религии*. Одновременно формировались различные традиции и общественные структуры. Из-за совершенно иного конкретного опыта представителям различных культур часто трудно понять чужие для них правила поведения. Это возможно лишь при добровольном ознакомлении с конкретным историческим фоном. Только так люди разных культур могут сблизиться и взаимно обогатить друг друга своим опытом. Предвзятое отношение к другим культурам создает непреодолимые барьеры, часто ведущие к серьезным конфликтам и даже войнам.



Бushman.
Бushman (кангоид)
живут в Южной Африке.
Золоты у них закрученные
и коротыше (плохо развиты),
нос широкий с низкими
переносицей, кожа негустая
и желто-бурая, характер-
но отложение жира на
ягодицах и поясничной
части вперед, выступаю-
щие скулы, есть складка
века, разрез глаз меньше,
чем у негроидов

ГЛАВА 18

Поведение

УРОВНИ ПОВЕДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ

Поведение как форма адаптации организмов. Выживание организмов в постоянно меняющихся условиях среды в значительной степени осуществляется их поведенческими реакциями. Под *поведением* понимают свойственное живым организмам взаимодействие с окружающей средой, выражающееся во внешней (двигательной) или внутренней (психической) активности, способствующей их выживанию. Поведенческие реакции проявляются более четко при резком изменении внешних условий. При этом активизируются многие системы органов. Так, если одно животное внезапно нападает на другое, в ответной реакции защищающегося, например в бегстве, участвуют опорно-двигательный аппарат, нервная, эндокринная, дыхательная, кровеносная и другие системы. Это и есть та совокупная (совместная) ответная реакция организма, которая называется поведенческой.

Поведенческие реакции вызываются не только внешними раздражителями, но и внутренними. Известно, что организм может нормально существовать только в том случае, если величины его основных внутренних показателей находятся на относительно постоянном уровне. Таковыми являются: определенный уровень глюкозы в крови, осмотическое давление крови, кровяное давление, уровень кислорода в крови, величина pH крови и т. п.

При отклонении показателей от константных величин организм начинает испытывать потребность в специальных веществах и вынужден их активно искать и потреблять. Так, например, если животное давно не потребляло пищу, то в его плазме крови содержание глюкозы, аминокислот и других веществ будет сниженным против нормы, что и определяют геморецепторы. Они возбуждаются, возникает нервный импульс. Он передается в центр голода, расположенный в гипоталамусе. У животного возникает ощущение голода, которое порождает потребность искать пищу. Таким образом, *потребность организма* — это любое значительное отклонение величины важных жизненных констант (показателей) от уровня, обеспечивающего его нормальные физиологические отправления.

Реакции и средства, направленные на удовлетворение возникающих потребностей, у разных живых существ различны в зависимости от эволюционного положения организмов. Однако для всех них общим является то, что возникшая потребность вызывает действие, направленное на ее удовлетворение, — *мотивацию*. Это может быть выражено следующей схемой:



Удовлетворение потребности, а следовательно, и восстановление нормального уровня основных внутренних констант называется *подкреплением*. Например, подкрепление — это прием пищи при возникновении чувства голода, воды при жажде, уход в тень в жаркую солнечную погоду и т. п. Принцип циклической саморегуляции (см. схему) лежит в основе различных форм поведения организмов.

Итак, в ответ на стимулы, воспринимаемые организмом из внешней среды или от самого организма, последний путем адекватного (соответствующего) поведения обеспечивает себе возможность выживания. В случае если поведение организма не соответствует измененным условиям, он может погибнуть.

Населяющие нашу планету современные виды живых организмов выжили при всех изменениях среды потому, что они сумели приспособиться к ним разнообразными способами, в том числе и адаптивным поведением. Поведенческие приспособления в выживании животных очень важны, поскольку самые быстрые реакции организма именно поведенческие. Например, человек может укрыться в тени гораздо быстрее, чем его кожа потемнеет (появится загар), и защитит клетки организма от действия ультрафиолетовых лучей.

Уровни поведения и эволюция животных. Ученые выделяют пять уровней поведения животных, объединенных в две группы — врожденные и приобретенные. К *группе врожденных* стереотипных форм поведения относятся *таксисы, рефлексy и инстинкты*, к *группе приобретенных* в течение индивидуальной жизни — *научение и рассудочная деятельность*. Относительная роль каждого из этих уровней поведения у животных, находящихся на разных ступенях эволюционного развития, отображена в виде диаграммы на рис. 18.1. На диаграмме видно, как по мере повышения организации животных в ряду от кишечнополостных до человека врожденные стереотипные формы поведения все больше и больше вытесняются приобретенными формами. Если, например, у насекомых преобладает инстинктивное поведение, то у таких млекопитающих, как крыса, оно замещается способностью обучаться. Что касается способности к умозаключениям, почти отсутствующей у крыс, то она вместе с научением представляет собой главный тип поведения у человека, утратившего большую часть стереотипных реакций.

Врожденное поведение. Наследственные формы поведения — это закрепленные в геномe под действием естественного отбора полезные организму врожденные реакции, т. е. безусловные рефлексy. С ними организм рождается, наследуя их от родителей, как и любой другой признак. Они составляют основу нервной деятельности низкоорганизованных животных. По своему проявлению они чрезвычайно разнообразны и характерны для отдельных видов, а также родов, семейств и даже отрядов. Поэтому отдельные формы поведения могут служить такими же систематическими признаками, как и строение тела животного, что помогает биологам определять таксономическую принадлежность животного.

Безусловные рефлексy могут проявляться в виде простых стереотипных реакций и в виде более или менее сложных стереотипных форм поведения.

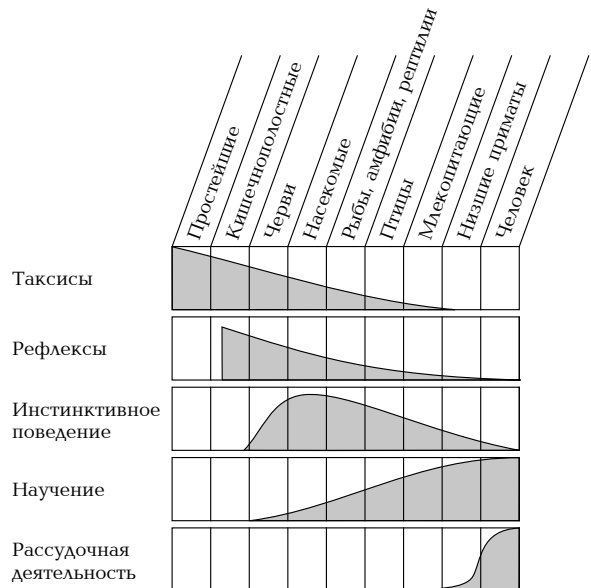
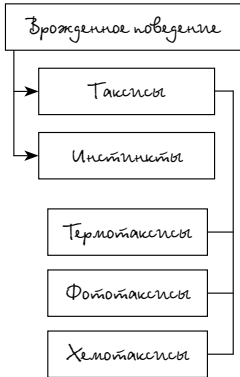


Рис. 18.1. Поведение у животных разных ступеней эволюционного развития



К числу простых стереотипных реакций относят, например, движение и ориентацию тела по отношению к источнику раздражения — таксисы. В зависимости от действующего фактора различают термо-, фото-, хемо- и другие таксисы. Примером положительного *термотаксиса* является скопление насекомых на теплых местах, например мух на освещенных первым весенним солнцем стенах домов. Пример *фототаксиса* — скопление насекомых в темное время суток у источников света и, наоборот, укрытие ночных видов в темных местах (щелях, под корой) в дневные часы. *Хемотаксис* играет большую роль в поиске пищи, а также в отыскании особей противоположного пола.

Простые ответные реакции — таксисы — свойственны не только животным, но и протистам, органам растений.

Сложными врожденными стереотипными формами поведения являются **инстинкты**. Они не зависят от выучки и проявляются лишь под воздействием внешних и внутренних раздражителей и, как правило, только в определенные периоды жизни (например, инстинкт гнездования или кормления потомства). Внутренними раздражителями, запускающими инстинктивные поведенческие реакции, могут выступать, например, гормоны. Так, гипофиз и половые железы вырабатывают гормоны, определяющие поведение животного в период размножения. Но образование этих гормонов зависит, по крайней мере частично, и от внешних событий, например от времени года. У многих позвоночных, обитающих в умеренной зоне северного полушария, при искусственном содержании в условиях характерного для зимы короткого светового дня не обнаруживается нормальной весенней активности половых желез, даже если весна давно наступила. Но если тех же животных содержать при постепенно увеличивающейся длине дня, то их гипофиз и половые железы начнут выделять гормоны и животные смогут приступить к размножению даже среди зимы.

Инстинкты возникли у животных в процессе эволюции как приспособления к типичным для данного вида условиям существования. Благодаря их генетической обусловленности инстинкты могут проявляться в соответствующий период индивидуального развития, не требуя специального обучения. Например, новорожденные млекопитающие сразу начинают сосать молоко матери, только что вылупившиеся из яйца утята умеют плавать и т. п. Несомненно, что инстинктивное поведение направлено на выживание организма.

Рефлексы, из которых складывается тот или иной инстинкт, тесно взаимосвязаны и проявляются в серии строго последовательных действий — в виде *цепного рефлекса*. В такой цепи каждый предшествующий рефлекс является непременно раздражителем для последующих. В результате формируются достаточно консервативные врожденные программы поведения. Один из примеров консервативного инстинктивного поведения приведен в книге известного французского энтомолога Ж. А. Фабра. Оса бембекс обычно роет свою норку в песке и откладывает в нее яйцо. Особенностью экологии этого вида роющих ос является то, что они доставляют пищу своей личинке через вход в песке, который всегда безошибочно находят. Ж. А. Фабр раскрывал крышку норки, и личинка оказывалась под открытым небом. Несмотря на то что, казалось бы, новый путь к личинке прост и доступен, оса по-прежнему подныривала к личинке через песок. Пример демонстрирует, что инстинкты осуществляются автоматически, без осознания их цели, вслепую.

Сходство и устойчивость инстинктивных действий у особей конкретного вида послужили основанием для использования их в систематике так же, как и признаков строения организмов. Например, все хищники семейства Кошачьи имеют сходное поведение при охоте и убивают жертву укусом в шею. Брачное поведение у чаек разных видов имеет четкие различия, выражающиеся в последовательности брачных движений. Неповторимость

поведения, свойственного тому или иному виду, — это главным образом следствие генетической уникальности вида.

Инстинкты составляют основу поведения практически всех видов животных, но для низкоорганизованных их роль особенно велика. Благодаря им животные имеют набор приспособительных реакций сразу же после рождения (выхода из яйца) и могут использовать их при первой же необходимости, поэтому они особенно важны для животных с коротким сроком жизни или лишенных заботы о потомстве. Эти приспособительные реакции передаются из поколения в поколение, выдерживая жесткий естественный отбор, и имеют большое значение для выживания животных.

ПОВЕДЕНИЕ, СВЯЗАННОЕ С НАУЧЕНИЕМ

Врожденные генетические программы поведения обеспечивают, как правило, трафаретные средства для удовлетворения основных потребностей организма. Они эффективны только при неизменных внешних условиях. Чтобы выжить при изменившихся условиях, животное должно обладать способностью перестраивать свои поведенческие реакции. Эта способность напрямую определяется уровнем эволюционного развития животных (см. рис. 18.1). Исходя из этого млекопитающие и птицы с их высоко развитой нервной системой наделены этой способностью в наибольшей степени. Оно проявляется в форме приобретенных условных рефлексов. В этом случае животное научается что-то делать, т. е. реагировать на стимул, который был для него ранее безразличен. Так, при выработке условных рефлексов у собаки И. П. Павлов одновременно сочетал кормление (*безусловный раздражитель*) с действием звукового раздражителя (*безразличный условный раздражитель*). После многократного повторения эксперимента у собаки наступало слюноотделение при подаче только звукового сигнала.

Адаптивное изменение индивидуального поведения в результате предшествующего опыта называется *научением*. Научение основано на способности животных хранить и извлекать информацию о прошлом опыте — памяти. Физиологические основы памяти до сих пор полностью не выяснены, о ней существуют лишь гипотезы. В процессах научения наибольшую роль играет *долговременная* память, которая может храниться длительное время, а нередко и всю жизнь. В *кратковременной* памяти информация хранится в пределах нескольких минут. Ее образование резко снижается с возрастом организма.

Одним из способов индивидуального научения является *метод проб и ошибок*. Так, например, молодая неопытная щука будет пытаться заглотить колюшку до тех пор, пока не убедится на собственном опыте, что маленькая колючая рыбка несъедобна для нее. Именно способность к научению на основе жизненного опыта делает многих животных — потенциальных жертв — непоедаемыми. Так, птицы научаются не трогать ядовитых насекомых, имеющих предостерегающую окраску, после первого же неприятного знакомства с ними. Точно так же индивидуальный опыт «убеждает» лягушку отказать от поедания ярко окрашенных жалящих насекомых.

Многие виды теплокровных животных, особенно у птиц, имеют врожденную реакцию *следования молодняка за матерью*, что имеет большое значение для выживания молоди. Оставшиеся без матери птенцы будут следовать за любым животным, даже неодушевленным движущимся предметом, оказавшимся в поле их зрения. Следовательно, эта инстинктивная реакция не полностью запрограммирована генетически. Совершенно ясно,



что это случай научения, так как у птицы может запечатлеться подобным образом почти любой движущийся объект. Этот вид научения называется *импринтингом* (англ. *imprinting* — запечатление). Он формируется при особом состоянии нервной системы на ранней стадии развития, так как если у птиц эта реакция научения не возникла сразу после вылупления, то она вообще может никогда не появиться.

Одной из форм научения считают также *привыкание*, формирующееся при продолжительном повторении стимулов, не подкрепленных поощрением или наказанием. Это приводит к постепенной утрате реакции на них. Например, птицы на огороде перестают бояться пугала, т.е. научаются не обращать на него внимания. Привыкание — важный элемент формирования поведения молодого животного, научающегося распознавать нейтральные элементы окружающей среды и не реагировать на них.

Для животных с высокоразвитой нервной системой, в частности для млекопитающих и птиц, важна такая форма научения, как *подражание*. Подражательные рефлексы как один из видов приспособительных реакций широко распространены у высокоорганизованных животных. Так, певчие птицы «правильно» (характерно для данного вида) поют лишь в том случае, если они в период формирования этого умения имели возможность слышать песню других особей своего вида. Некоторые воспитанные в одиночестве певчие птицы, например зяблик, способны научиться разным песням, но легче всего — песне своего вида, т.е. той песне, которая предопределена врожденной программой.

Рефлекс подражания легко вырабатывается у животных, ведущих групповой образ жизни. Например, если у одной обезьяны выработать условный рефлекс (например, пищевой) на виду у всего стада, то и у других членов стада образуется этот же условный рефлекс. Следование стайных рыб за своими сородичами также является разновидностью рефлекса подражания. Интересный пример подражательного рефлекса описан Ч. Дарвиным. Хорошо известно, что вороны не подпускают близко человека с ружьем или любым длинным предметом в руках. Совершенно очевидно, что этот «спасительный страх» (по словам Ч. Дарвина) у ворон развился главным образом не в результате их отрицательного опыта общения с человеком, а благодаря подражанию поведению особей того же вида или даже других видов. Например, крик сойки служит сигналом опасности для многих животных леса.

Огромное значение поведение подражания имеет для приматов, включая человека. Например, «слепое» подражание у детей постепенно превращается в привычку брать пример с достойных людей либо со своих кумиров. Хорошо известны факты подражания одного человека другому, например у супружеских пар или учеников великого человека своему учителю.

Многие сложные формы поведения нельзя назвать ни всецело врожденными, ни полностью приобретенными. Они представляют собой комбинацию того и другого. Соотношение же врожденной и индивидуально приобретенной форм поведения животных различно: первая преобладает у низкоорганизованных животных, вторая — у более высокоорганизованных.

Таким образом, в жизни животных врожденные рефлексы, включая и такие сложные их формы, как материнские инстинкты и забота о потомстве, не обязательно должны быть строго неизменными автоматическими реакциями, приводящими особей в изменившейся среде к тупику и гибели. На помощь этим врожденным, характерным и обязательным для каждого вида рефлексам приходят приобретенные в течение индивидуальной жизни условные рефлексы, через которые и происходит приспособление к новым условиям.

В конечном счете, сочетание действия раздражителей внешней среды, физиологического состояния организма и явлений возбуждения и торможения приводят к тому, что жизнедеятельность животного организма приобретает

законченный и биологически целесообразный характер. Организм действует как единое целое, и этим он обязан регулирующей и объединяющей роли нервной системы.

Научение в филогенезе. Способность к обучению тесно связана с уровнем развития нервной системы (см. рис. 18.1). Так, свидетельства возможности научения были получены даже для плоских и кольчатых червей. Однако только после 150—200 повторений воздействием слабого электрического тока планарии и дождевые черви научились избегать его действия, выбирая иной путь передвижения по лабиринту, ведущему в темную, влажную и безопасную камеру.

Существуют убедительные факты, свидетельствующие о возможности научения осьминога (класс Головоногие моллюски), обладающего довольно развитым мозгом. Однако способность к обучению моллюсков других классов достоверно не доказана.

Несравненно быстрее происходит научение у членистоногих. Так, пчелы могут быстро научиться подлетать к тарелкам, помещенным на голубой бумаге, оставляя без внимания другие тарелки, находящиеся на серой бумаге, в том случае, если только голубая бумага ассоциируется у них с сахарной водой. Они безошибочно летят в сторону голубой бумаги независимо от ее расположения даже тогда, когда все тарелки пустые. Хорошими «учениками» являются муравьи, обучающиеся определенным действиям за 35 повторений.

Таким образом, несмотря на свидетельства возможности научения беспозвоночных животных, они все же имеют относительно слабо развитые способности к нему. Их стимулы весьма ограничены, а в поведении доминируют стереотипные акты, диктуемые врожденными таксисами, рефlekсами и инстинктами.

Среди хордовых наилучшими способностями к обучению обладают птицы и млекопитающие, имеющие наиболее развитый головной мозг. Низшие же хордовые (рыбы, земноводные и пресмыкающиеся) способны к выработке методом проб и ошибок относительно простых ответов типа стимул — реакция.

Птицы и млекопитающие отличаются от низших хордовых не только быстротой и устойчивостью приобретенных новых реакций, но и сложностью проблем, которые они могут решать. У них возникают новые особенности поведения, существенно освобождающие животных от обучения по типу «стимул — реакция» и по методу «проб и ошибок».

Высшей формой поведения, связанной с обучением и присущей человеку, является *мышление* — процесс обобщенного и опосредованного отражения действительности. Мышление позволяет решать сложные проблемы взаимосвязи с внешним миром, не прибегая к методу проб и ошибок. Способность к мышлению изучают с помощью «*проблемы обходного пути*». Суть метода очевидна: чтобы подойти к пище, енот должен отойти от нее и обойти колышек, чтобы удлинить шнурок (рис. 18.2). Среди многих животных, испытанных в этих экспериментах, только обезьяны оказались способными решить задачу без многочисленных проб и ошибок. Человек эту задачу решает с первого предъявления, так как ему в большей степени, чем другим приматам, свойственна способность к мышлению. Более того, он может научиться в довольно раннем возрасте воспринимать информацию в виде символов, например букв и слов. Они дают ему представление о внешнем мире, обеспечивают возможность общения между людьми и накопления знаний в различных областях. Слово и письмо стали второй сигнальной системой для человека, расширившей его возможности к адаптивному поведению. Благодаря

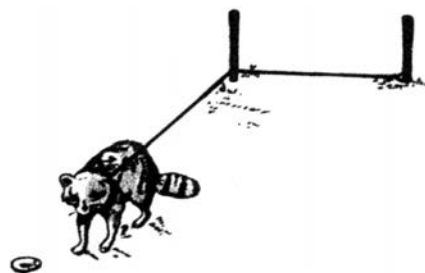


Рис. 18.2. Проблема обходных путей в опытах с енотами

способности к мышлению и разнообразным формам адаптивного поведения, человек играет ведущую роль в живой природе.

Таким образом, поведение животного является результатом тесного переплетения в проявлении врожденных генетических программ (инстинктов) и приобретенного опыта (научения). Исследованием поведения животных занимается наука **этология** (гр. *ethos* — характер, нрав).

ОБЩЕСТВЕННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ

Биологические преимущества группового образа жизни. Существует несколько основных причин объединения животных в группы. Близость животных разного пола в группе облегчает нахождение полового партнера для размножения. В группе легче защищаться от хищников (рис. 18.3), легче обеспечивать себя кормом, предоставляется большая возможность передачи опыта молодым через подражание и прямое обучение. Особи в группе более

экономно расходуют энергию, чем при одиночном образе жизни. В группе легче передвигаться, так как улучшаются аэродинамические (у наземных животных) и гидродинамические (у гидробионтов) условия передвижения. При необходимости особи в группе могут оказать помощь друг другу. Групповой образ жизни предоставляет также возможность специализации особей для выполнения определенных функций. Благодаря этим полезным адаптациям, жизнеспособность и выживаемость особей группы значительно повышаются.

Вместе с тем в больших по численности группах возрастает вероятность конкуренции за пищу, пространство, партнеров по размножению. Возрастает число драк и столкновений между особями группы,



Рис. 18.3. Защитное кольцо овцебыков при нападении волков

растет уровень напряженности в ней. В результате этого часть энергии, которая могла бы использоваться для выживания группы, непроизводительно растрачивается. Пока у группы нет приспособлений к общественной жизни, часть ожидаемых преимуществ, связанных с объединением в группу, не реализуется, поэтому биологические преимущества группового образа жизни должны быть поддержаны специальными формами *согласованного поведения* между особями и *упорядоченными пространственными взаимоотношениями* между ними. Для того чтобы поведение животных было координировано, необходимо наличие хорошо развитых органов чувств. Только посредством зрения, слуха, обоняния, вкуса и осязания и др. животные могут обмениваться информацией друг с другом и согласовывать свои действия. По этой причине высшие формы организации групповой жизни свойственны животным с высоко развитой нервной системой и связанными с ней органами чувств.

Поведение животных в группах разного типа. Некоторые группы животных образуются случайно. Например, медузы, которые переносятся морским течением к береговой линии и скапливаются у берегов. Нередко можно наблюдать большие скопления мух на теплой поверхности предметов. Иногда поводом для объединения особей в группу является подходящее убежище. Необходимость убежища и наличие необходимых в ней условий для жизни — одна из важнейших потребностей животных. Животные могут объединяться в группы благодаря своим врожденным реакциям на свет, влажность, темпе-

ратуру, соленость воды и другие условия среды. В каждом из этих случаев группа образуется благодаря притягательной силе благоприятных условий. Например, летучие мыши образуют огромные колонии в скалистых пещерах, прицепившись к отвесным боковым и потолочным поверхностям. Здесь взрослые мыши и их потомство надежно защищены от непогоды и хищников. Однако животные в группах такого рода достаточно слабо связаны друг с другом и не имеют регулирующих механизмов. Такая группа представляет простую совокупность животных. Как правило, подобные случайные скопления через какое-то время по причинам разного рода легко распадаются.

Однако большинство групп животных образуется не случайно, а для удовлетворения основных жизненных потребностей. Между особями группы устанавливаются более тесные связи, удерживающие их вместе. Рассмотрим некоторые важнейшие из них, а также и то, как образование групп способствует их удовлетворению.

Ранговые различия особей. Как вы уже знаете из законов генетики, популяция, размножающаяся половым способом, гетерогенна (разнокачественна) и каждая особь в ней генетически уникальна. Особи популяции различаются между собой морфологическими, физиологическими, поведенческими особенностями. Различны они и по своим физическим данным, активности, агрессивности. Общаясь друг с другом в группе, участвуя играх, стычках, драках, соревнуясь между собой в успешности добывания пищи, нахождении полового партнера, между особями группы устанавливаются определенные отношения соподчинения. Такая организация в виде ряда последовательно соподчиненных друг другу особей (или подгрупп особей) называется *социальной иерархией*.

Социальная иерархия особей легко прослеживается, например, в стае кур. Регистрируя количество клевков, наносимых друг другу разными особями, можно выстроить птиц в порядке увеличения (или уменьшения) количества получивших клевки и сделанных ими. Нельзя, однако, утверждать об абсолютном доминировании одной особи над другой. Речь идет о частоте побед одной особи над другой. По разным причинам (болезнь, старческий либо юный возраст) положение особи в ряду соподчинения может меняться, однако общая тенденция доминирования одних особей над другими сохраняется. Так, например, высокое положение птицы на иерархической лестнице определяется более крупными ее размерами. Сильная и зрелая птица доминирует над более слабой. Самцы доминируют над самками. Птицы, имеющие птенцов, побеждают птиц без птенцов. Особенно острые столкновения происходят за положение вожака группы. Как правило, побеждает тот самец, у которого вырабатывается больше половых гормонов, повышающих мышечную силу и агрессивность.

Иерархия является одним из приспособлений поведения к общественной жизни, помогающим строить и регулировать общество как целое. Но каким образом? Как может поведение, основанное на драках и конкуренции одного животного с другим, приводить к установлению отношений сотрудничества? Это происходит следующим образом. Во-первых, после установления отношений господства и подчинения агрессивность членов группы снижается, так как каждый занял заслуженное (отвоеванное) им место. Во-вторых, порядок раздачи ударов определяет и порядок, в котором животные получают пищу и партнеров для размножения. Это также уменьшает число драк. И наконец, социальная иерархия влияет на распределение животных по территории и предоставляет индивиду возможность обеспечения своей жизни.

Особую роль при общественном образе жизни животных играет *вожак*, на котором лежат обязанности руководства группой путем использования специальной сигнализации, а подчас и применения прямой агрессии. Эту роль могут выполнять старые опытные самки (у слонов, шотландских красных оленей) или чаще всего опытные агрессивные самцы (у макаков-резусов,

павианов, горилл и др.). Отношения «вожак — ведомые» поддерживаются на основе подражания и видоспецифичной системе коммуникации между особями. Они имеют большое значение для выживания группы.

По всем изложенным выше причинам социальная иерархия уменьшает расход энергии и координирует деятельность группы как целостной биологической единицы.

Поведение общественных насекомых. Жизнь в группе у некоторых видов насекомых является примером хорошо организованного общества. Инстинктивные формы поведения достигают у них наивысшего развития.

Так, например, пчелы, осы, муравьи, термиты, обладающие сильно развитыми общественными инстинктами, усилиями всей группы строят свои жилища и гнезда. Замечено, что сооружение сотов у пчел начинается только при наличии определенного минимума их численности и обязательно в присутствии матки (царицы). Благодаря построенным жилищам общественные насекомые сильно изменяют условия своей среды обитания, приспособлявая ее для удовлетворения собственных жизненно важных потребностей. В такой популяции создаются все признаки *общества*, живущего по определенным строго регулируемым законам. В ней особи специализируются для выполнения определенной работы. Выживаемость группы зависит от точной регуляции поведения этих «специалистов».

Так, в колониях европейских пчел есть три основных вида «специалистов», называемых кастами. Самая многочисленная каста — это *рабочие пчелы*. Их функции многочисленны и разнообразны: сбор пищи (нектара и пыльцы с цветущих растений), поддержание оптимальной температуры и влажности в улье, уход за личинками, защита входа в улей. Кстати отметить, что функции рабочих пчел меняются по мере их взросления.

Так, у молодой, только что вылупившейся пчелы хорошо развиты железы, вырабатывающие маточное молочко. Ее основная обязанность — уход за личинками. Позднее она переключается на производство воска, а затем на уборку и вентиляцию улья. Лишь к концу своей короткой жизни она становится на две-три недели сборщицей нектара и пыльцы. Самые старые рабочие пчелы сторожат вход в улей. При необходимости в зависимости от потребности колонии рабочие пчелы меняют, сокращают или удлиняют время исполнения определенных функций.

Единственная функция *самцов* — *трутней* — оплодотворение матки. Время появления и количество трутней в колонии строго регулируется, как и время пребывания в колонии.

Третьим видом «специалистов» является единственная в колонии *матка* (*царица*). В ее функцию входит откладка оплодотворенных яиц, из которых образуются самки, и неоплодотворенных яиц, из которых развиваются трутни.

Члены каждой касты имеют определенное строение тела, приспособленное для выполнения свойственных им работ. Так, матка и трутни выполняют только функцию размножения, поэтому репродуктивные органы у них занимают большую часть тела. Так как ни матка, ни трутни не участвуют в сборе и переработке пищи, отбор не способствует развитию у них органов, связанных с этими видами деятельности. У каст рабочих пчел естественный отбор способствовал сохранению особей с особым строением ротовых конечностей, ножек и специальными железами для выполнения перечисленных выше работ.

Для передачи информации и согласованной деятельности пчелиного общества они выработали свой собственный «язык» без слов и звуков. Так, рабочие пчелы-разведчицы, найдя пищу (цветущие растения), летят в улей и особым виляющим танцем передают другим рабочим пчелам-сборщицам информацию о направлении полета и расстоянии до источника пищи. Удержание пчел своей колонии осуществляется по специфическому запаху,

свойственному только особям данной колонии. Устойчивый запах, издаваемый царицей, подавляет развитие яичников у рабочих пчел, делая их неспособными к размножению.

Таким образом, в результате общественной жизни удовлетворяются самые важные потребности животных. Их удовлетворение связано с существованием отношений сотрудничества между членами общества, выполняющими определенные виды работ. В конечном итоге это способствует выживанию группы как единого целого.

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Вся эволюция человека, становление его как вида проходила в группах. Как и для многих высших животных, социальный образ жизни давал ему большие преимущества в выживании.

Прежде всего это *совместная защита* от опасности. Человек не имеет естественных надежных приспособлений для своей защиты. Он уступает хищным животным в скорости передвижения. У него отсутствуют специальные приспособления для отражения нападения хищника. Только разум помог человеку решить проблему его безопасности, изобретя различные орудия для совместной защиты и нападения.

Выживанию человека способствовал и *совместный поиск и добыча пищи*. Чтобы добыть крупное млекопитающее (оленья, лося, дикого быка, мамонта) для прокормления большой группы людей, человек объединял свои усилия. Совместными согласованными действиями он осуществлял строительство загонов, ловчих ям, подкарауливание добычи из засады. В ходе общения при планировании и осуществлении охоты человек развивал свои коммуникативные способности и качества интеллекта.

Совместное строительство и сбор топлива для обогрева жилищ имели большое значение для выживания человека и обеспечивали ему защиту от холода, дождя, ветра и нападения хищников. Постепенное совершенствование техники строительства привело к специализации труда, формированию и развитию профессиональных навыков людей.

Большую роль в *сохранении детей и больных* играла *помощь соплеменников*. Защита этой уязвимой части популяции обеспечивала продолжение человеческого рода. Эту функцию выполняли взрослые женщины и старики, остававшиеся возле жилища, в то время как остальные соплеменники отправлялись на охоту или рыбную ловлю. Такое разделение труда соплеменников позволяло каждому ее члену реализовать свои способности с пользой для выживания группы в целом.

Передача друг другу знаний и умений, жизненного опыта позволяла не терять их со смертью человека и не начинать жизнь нового поколения с нуля. Обучение начинается с первых этапов жизни ребенка и продолжается весь период детства. Мудрецы говорят, что детство — это половина жизни. И они правы, так как именно в этот период происходит самое эффективное обучение. Достаточно видеть, как быстро ребенок осваивает родную речь и как трудно в зрелом возрасте изучить иностранный язык. Особую роль для развития человеческой цивилизации имела письменная речь. Путем знаков и символов она позволяла последующим поколениям пользоваться знаниями, приобретенными людьми в далекие прежние времена. Этот способ передачи знаний является чисто человеческим явлением, как и передача последующим поколениям богатого культурного и научного наследия.

Особенности потребностей человека. Человек (*Homo sapiens*) является одним из многочисленных видов царства Животные. Его таксономическая принадлежность вам хорошо известна. Человеку как биологическому существу свойственны такие же *биологические потребности*, как и любому животному: в пище, кислороде, безопасности, индивидуальной территории, размножении. С учетом этого поведенческие реакции человека, направленные на удовлетворение его разнообразных биологических потребностей, сходны с аналогичными реакциями высших животных, особенно приматов.

Вместе с тем человек принципиально отличается от животных значительно более развитым мозгом, мышлением, высоким интеллектом, которые неизмеримо расширили его возможности отображения действительности в сознании и психике. Наличие второй сигнальной системы — речи устной и письменной, свойственной только человеку, создало возможность общения между людьми, согласования их действий, накопления знаний и передачи их последующим поколениям. Ценность передаваемой информации стала важнее информации, передаваемой с генами. В результате успех особи, группы, популяции у человека зависит не столько от совершенства набора генов, сколько от уровня и характера знаний людей.

Отличительные особенности психической деятельности человека и его общественный образ жизни породили новые *социальные потребности*, не свойственные животным. К ним в первую очередь следует отнести потребность в образовании и труде в соответствии с умственными и физическими способностями людей. Возникла потребность в привязанности к другим людям, уважении, одобрении, благодарности, признании, компетентности, справедливости, красоте и др. Появилась потребность в приобретении разнообразных материальных благ в соответствии с социальным рангом, занимаемым человеком в обществе. Высшей потребностью человека этологи и психологи считают потребность в самореализации его способностей и возможностей.

Все перечисленные виды социальных потребностей не могут, однако, проявиться, если не будут удовлетворены базовые биологические (физиологические) потребности (вспомните поговорку «голодной куме все обед на уме»). В свою очередь социальная среда, к которой принадлежит человек, оказывает сильное влияние на качество биологических потребностей. Например, имеется существенная разница между потреблением любой пищи, необходимой для выживания беднейших социальных слоев населения в некоторых странах третьего мира, и избираемой полноценной качественной пищей большинства населения развитых стран. Таким образом, социальное неравенство людей оказывает сильное воздействие на удовлетворение всех видов потребностей, что отражается на их поведении.

Человек в социальной среде. Поведение человека не может развиваться, проявиться и быть понятым в отрыве от других членов группы, к которой он принадлежит, от всего общества и даже вида в целом. Это обязательное требование (условие) быть частью любой организованной системы. Поскольку в человеческом социуме (обществе) существует разделение труда и наличие людей разных специальностей, выживание человека возможно только в группе, где он пользуется плодами своего и совместного труда. Деятельность людей в группе должна быть согласована, а поведение людей должно способствовать выполнению тех функций, которые возложены на каждого члена группы.

Социальное положение и роль в группе. Люди, как правило, входят в состав разных социальных групп: семьи, трудового коллектива, учебного класса, спортивного клуба и т. п. В каждой из групп, куда входит человек, он занимает определенное *социальное положение*, соответствующее той роли, которой, по расчетам других членов группы, он будет придерживаться и которая

позволяет им ожидать от него определенного поведения. Иногда человек активно добивается желаемого для него социального положения, осуществляя для этого разнообразные действия и доказывая группе свою состоятельность. В другом случае он добровольно соглашается с выполнением определенной роли в группе по просьбе ее членов. Иногда же в связи со стечением обстоятельств, с возникающими социальными потребностями группы или характером образования и особыми свойствами личности человек вынужден брать на себя обязательства исполнять определенную роль в группе.

Установление между человеком и группой людей тех или иных отношений зависит от личных данных и качеств человека (возраста, пола, воли, темперамента, степени образованности, организаторских способностей, умения убеждать и общаться с людьми, возможности доступа к определенным ресурсам, умения обратить на себя внимание в нужное время и ряда других). Поскольку разнообразие типов людей, составляющих общество, бесконечно велико, каждый из них в конечном итоге занимает то либо иное положение в социальных группах.

За длительный период человеческой цивилизации выработались определенные правила поведения людей в группах разного рода (семье, трудовом коллективе, государстве) в соответствии с многовековыми национальными традициями, особенностями вероисповедования и др. Соблюдение правил поведения и законов, принятых к обязательному выполнению, обеспечивает порядок и согласованность действий всех членов общества и выполнение ими возложенных на них обязанностей. Результатом этого является польза для каждого человека и общества в целом. При нарушении человеком правил поведения и законов общества вступают в действие различные меры морального воздействия, порицания, принуждения и наказания.

Поведение человека и природная среда. Высокоразвитый мозг, способность к мышлению, творческому созиданию, наличие разнообразных способов общения, накопление знаний и передача их последующим поколениям выделили человека из мира обычного вида царства Животные. Человек значительно расширил возможности для производства пищи. Социальные и технические возможности позволили ему не только использовать все виды продуктов, предоставляемых природой, но и расширить объемы и спектр продуктов, получаемых в сельском хозяйстве и в промышленных условиях.

Поведение человека в большей степени определяется социальными факторами (законами, правилами, моралью), чем биологическими критериями и природными факторами. Свою зависимость от природных условий человек свел до минимума. Жилища со всеми условиями жизнеобеспечения, соответствующая сезону одежда, медицинское и информационное обслуживание (ближнее и дальнее), широкие транспортные возможности сделали человека способным заселить все жизненные пространства планеты (кроме территорий с экстремальными условиями).

Все эти неограниченные возможности человека позволили ему перейти в ранг уникального вида, способного подчинить своим интересам другие виды. Это превращение человека в уникальный вид произошло не за счет имеющихся у человека биологических механизмов, а за счет научно-технических возможностей. Они же, в свою очередь, являются результатом деятельности разума человека, его власти над окружающей средой.

ГЛАВА 19

Биосфера — живая оболочка планеты

БИОСФЕРА — АКТИВНАЯ ОБОЛОЧКА ЗЕМЛИ

На планете Земля обитает большое разнообразие живых существ: от микроскопических бактерий до крупных млекопитающих и человека, наделенного разумом. Неповторимый лик нашей планеты обязан активному участию живых организмов в формировании ее поверхностного слоя.

В ходе осуществления процессов жизнедеятельности живые существа оказывают различное, вплоть до диаметрально противоположного, влияние на среду своего обитания. Например, зеленые растения в результате фотосинтеза обогащают ее кислородом, а животные при дыхании — углекислым газом. Растения извлекают громадные массы углерода из атмосферы и воды, а микроорганизмы и грибы, разлагая мертвое органическое вещество, возвращают большую часть углерода обратно.

Таким образом, суммарное воздействие живых существ разных таксономических групп в целом на среду их обитания может существенно отличаться от воздействия представителей отдельных групп. По этой причине при оценке геологической, т. е. планетарной, роли живых существ правильнее рассматривать их как единое целое. Такую совокупность всех живых организмов Земли В. И. Вернадский назвал *живым веществом* и впервые стал рассматривать его как равноправный компонент внешней оболочки планеты, который обладает колоссальной энергией и интенсивно преобразует другие компоненты этой оболочки.

Термин «биосфера» как внешнюю сферу Земли, занятую жизнью, предложил австрийский геолог Э. Зюсс (1831—1914) в 1875 г., но не дал ему четкого научного определения.

Спустя полвека русский геохимик академик В. И. Вернадский (1863—1945), творчески развив идею о планетарной роли живых организмов, высказанную его предшественниками, создал учение о биосфере. Основные положения его он изложил в книге «Биосфера», изданной в 1926 г. Если с понятием «биосфера» Э. Зюсс связывал только наличие в трех сферах земной оболочки (литосфере, гидросфере, атмосфере) живых организмов, то, по В. И. Вернадскому, им отводится роль главной преобразующей геохимической силы не только в границах распространения жизни в настоящее время, но и в прошлые исторические периоды. *Биосфера* — внешняя оболочка Земли, в пределах которой существует или когда-либо существовала жизнь и которая постоянно подвергается или подвергалась ранее воздействию живых организмов. Благодаря большому разнообразию, их повсеместному распространению, высокой химической активности по сравнению с другими компонентами природы, длительности существования в истории Земли на

нашей планете, нет более мощной геологической (средообразующей) силы, чем живые организмы и продукты их жизнедеятельности.

Весь облик нашей планеты, состав ее атмосферы и гидросферы, толщи осадочных пород, залежей полезных ископаемых — все это является результатом длительного воздействия живых организмов и продуктов их жизнедеятельности на среду обитания. Эта преобразующая лик Земли способность живых организмов связана со многими присущими им уникальными свойствами. Одно из важнейших проявляется в высоких скоростях протекания химических реакций в клетках их тела благодаря участию биологических катализаторов. Так, жиры и углеводы окисляются в организме при температуре около 36 °С, а вне его — при температурах 400—500 °С. Синтез аммиака из молекулярного азота в промышленных условиях осуществляется при температуре 500 °С и давлении 300—500 атм., в то время как бактерии с легкостью проводят эту реакцию при обычных температурах и атмосферном давлении.

Протяженность биосферы и ее границы. Живым организмам для существования необходим комплекс определенных физико-химических условий. Наиболее значимыми из них являются наличие достаточного количества жидкой воды, кислорода и углекислого газа, элементов минерального питания, определенной солености водной среды, оптимального температурного режима, при котором ферменты — ускорители биохимических реакций — могут нормально работать, не повреждаясь.

Названные условия во многих участках планеты ограничивают возможности для жизни организмов.

На планете Земля различают три геосферы, в пределах которых существует жизнь (рис. 19.1).

Атмосфера — воздушная оболочка Земли, состоящая из смеси азота (78,08 %), кислорода (20,95 %), аргона (0,93 %), углекислого газа (0,03 %) и остальных газов — 0,01 %. Важнейшей переменной составляющей атмосферы являются водяные пары, находящиеся в ее нижнем 20-километровом слое. Водяной пар вместе с углекислым газом, метаном и некоторыми другими примесями участвуют в сохранении теплоты в приземном слое атмосферы, обеспечивая парниковый эффект.

Нижняя граница атмосферы — поверхность суши и гидросферы. При удалении от поверхности земли постепенно уменьшается плотность атмосферы. Около 50 % всей воздушной массы сосредоточено в приземном километровом слое, а 99 % — в 30-километровом.

Область биосферы простирается лишь в нижнем слое атмосферы — *тропосфере* (гр. *tropos* — перемена). Высота тропосферы изменяется от 8—10 км в полярных широтах до 16—18 км на экваторе. Над тропосферой располагается *стратосфера* (лат. *stratum* — слой) высотой 100 км. В ней в слое 15—25 км под влиянием коротковолновых ультрафиолетовых лучей солнечного спектра свободный кислород превращается в озон ($3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}_3$). **Озоновый экран** защищает живые организмы планеты от воздействия губительных коротковолновых ультрафиолетовых лучей, поэтому верхним физическим пределом распространения жизни в атмосфере является нижняя граница озонового слоя, т. е. высота около 15 км.

Однако жизнь в атмосфере не может существовать без непосредственной связи с литосферой и гидросферой. Тропосфера лишь место временного нахождения способных летать организмов или подхваченных воздушными потоками с поверхности земли бактерий, спор, пыльцы. Следовательно, у атмосферы нет своих постоянных жителей, а имеются только «временные пришельцы» из других областей биосферы. В этом заключается своеобразие проявления

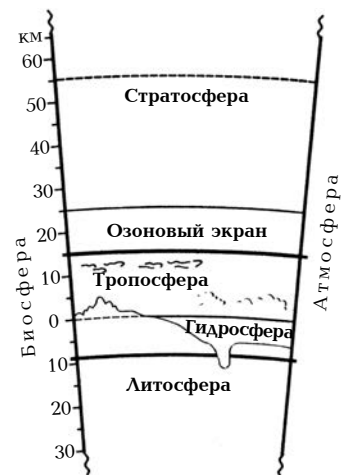


Рис. 19.1. Геосферы Земли и биосфера

жизни в тропосфере, определяющее некоторую условность отнесения всей этой оболочки к биосфере.

Литосфера (гр. *litos* — камень) — внешняя твердая оболочка планеты. Граница распространения живого вещества в литосфере не опускается ниже 3—4 км, где зарегистрированы случаи нахождения микроорганизмов в нефтеносных водах, добытых с этих глубин при бурении. Наибольшая плотность живого вещества в литосфере отмечается в поверхностном слое земной коры — почве. Там обитают дождевые черви, личинки и куколки многих насекомых, медведки, кроты и многие другие организмы.

Гидросфера — представляет собой прерывистую оболочку планеты, включающую все ее свободные воды, которые могут двигаться под влиянием гравитационной силы, а также тепла. Она представлена совокупностью поверхностных (океаны, моря, озера, реки, болота, ледяные покровы) и подземных вод. Гидросфера отличается высокой динамичностью, движущей силой которой служит круговорот воды. Гидросфера находится в тесной взаимосвязи с другими сферами: с литосферой при посредстве подземных вод и атмосферой через атмосферную влагу (водяной пар).

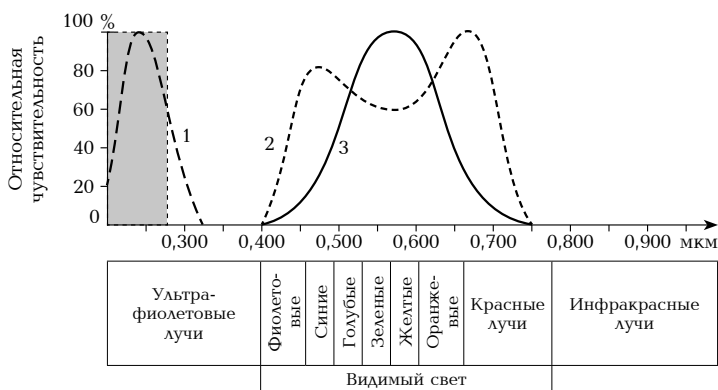
Гидросфера занимает около 71 % площади Земли. Масса гидросферы распределена очень неравномерно: 97 % — Мировой океан, 2,2 % — материковые льды и лишь 0,1 % приходится на континентальные водоемы.

Живые организмы населяют всю толщу гидросферы вплоть до максимальных ее глубин. Так, в 1960 г. с помощью батискафа, опущенного на дно Марианской впадины Тихого океана на глубине 11 034 км, на которой давление составляло 1100 атм., были обнаружены живые организмы. Однако наибольшее их количество приходится на поверхностные слои и побережье, прогреваемые и освещаемые Солнцем.

Плотнее всего заселены живыми организмами зоны непосредственного контакта и активного взаимодействия литосферы, атмосферы и гидросферы. В них создается комплекс наиболее благоприятных условий для жизни — оптимальные температура, влажность, наличие кислорода и необходимых для жизнедеятельности организмов элементов минерального питания. Именно в этих зонах происходит непрерывный и интенсивный обмен веществами и потоками энергии между сушей, атмосферой, водой и организмами. Движущим источником энергии для этих процессов является лучистая энергия Солнца (рис. 19.2).

Кислород атмосферы образовался и продолжает образовываться всеми живыми фотосинтезирующими организмами, поэтому правильным будет сказать, что само живое вещество создало для себя необходимые условия для поддержания собственной жизни на планете Земля.

Рис. 19.2. Биологическое действие разных участков спектра солнечного излучения: 1 — разрушение структуры белка (денатурация); 2 — интенсивность фотосинтеза пшеницы; 3 — чувствительность глаза человека (заштрихована область коротковолновой части ультрафиолетового излучения, не проникающего сквозь атмосферу)



ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО БИОСФЕРЫ

Пространственная неоднородность биосферы. Поскольку условия жизни для организмов в биосфере чрезвычайно разнообразны и особенно они различаются в наземной и водной средах, поэтому выделяют континентальную и океаническую части биосферы.

Континентальная часть биосферы — суша — занимает 148 млн км², или 29 % всей площади планеты. Ее особенностью является крайняя неоднородность, выражающаяся в наличии широтной и высотной зональности.

Из курса географии вы знаете, что *широтная зональность* обусловлена шарообразностью нашей планеты и наклоном ее оси вращения, вследствие чего земная поверхность неодинаково обеспечивается теплом и влагой. Наибольшее количество тепла получают тропические и субтропические пояса, наименьшее — полярные. Наблюдается большое различие и в обеспеченности разных областей влагой. Например, для тундровой зоны характерен избыток влаги, а для пустынь — ее недостаток. Области умеренных широт характеризуются средними величинами водообеспечения.

Высотная ландшафтная зональность континентальной части биосферы формируется благодаря тому, что при увеличении высоты местности воздух становится более разреженным. На больших высотах в воздухе меньше содержание кислорода, углекислого газа, водяных паров, а температура его понижается. Из-за недостатка углекислого газа и влаги нарушается нормальный ход процесса фотосинтеза, поэтому на высотах гор более 6000 м растения не произрастают.

Океаническая часть биосферы — гидросфера — занимает 362 млн км², или 71 % площади планеты. Определяющими факторами жизни организмов в ней являются солевой и газовый состав воды, содержание минеральных веществ, давление столба воды, подвижность вод.

Океанической части биосферы также свойственна зональность. По условиям жизни особенно различаются между собой полярные и экваториально-тропические зоны гидросферы, а также ее поверхностная часть, освещаемая и обогреваемая Солнцем, и глубинная зона, куда солнечный свет не проникает. Наиболее благоприятна для развития жизни в гидросфере небольшая по площади (8 %) прибрежная зона. Она хорошо освещена и обогревается солнечными лучами, обеспечена большим количеством элементов минерального питания, поступающих из донных отложений и поверхности суши. Большая часть площади дна Мирового океана расположена на глубинах свыше 4000 м и около четверти площади — на глубинах более 5000 м. Температура здесь низкая (от 0,5 до 4 °C) и довольно постоянная. На морском дне накапливаются органические остатки в виде ила и других отложений.

Распределение живого вещества в биосфере. Количество живого вещества (особей вида, группы видов или всех живых существ), выраженного в единицах массы или энергии на единицу пространства (например, г/м², г/м³, кг/га, т/км², Дж/м² и др.), называется *биомассой*. Для сопоставимости величин биомассы разных организмов ее чаще всего выражают в единицах сухого вещества или джоулях.

Величины суммарных биомасс зеленых растений, животных и микроорганизмов и их соотношения в континентальной и океанической частях биосферы представлены в табл. 19.1.

Как видим, в континентальной части биосферы по массе преобладают растения, в океанической — животные и микроорганизмы. Очень низка доля величин биомасс организмов океана, равная 0,13 % от суммарной биомассы организмов планеты, несмотря на большую в 3 раза площадь Мирового океана по сравнению с сушей.

Таблица 19.1

Биомасса организмов Земли (сухое вещество)

Организмы	Биомасса живого вещества			
	континентов		океана	
	млрд, т	%	млрд, т	%
Зеленые растения	2400	99,2	0,2	6,3
Животные и микроорганизмы	20	0,8	3,0	93,7
Всего	2420	100	3,2	100

Еще один важный вывод можно сделать из данных табл. 19.1: живое вещество планеты сосредоточено в основном в зеленых растениях суши. Биомасса организмов, не способных к фотосинтезу, составляет менее 1 %.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

Чтобы лучше представить преобразующую биосферно-геологическую роль живых организмов, всю их деятельность В. И. Вернадский сводил к выполнению шести главнейших биогеохимических функций.

1. **Энергетическая функция** заключается в связывании солнечной энергии в процессе фотосинтеза, осуществляемого фотоавтотрофными организмами с образованием органических веществ из углекислого газа и воды. Фотоавтотрофные организмы являются первичными поставщиками энергии для всех других (гетеротрофных) организмов биосферы.

2. **Газовая функция** состоит в способности изменять и поддерживать определенный газовый состав среды обитания и атмосферы в целом. Преобладающая масса газов на планете (азот, кислород, углекислый газ, сероводород, метан и др.) имеет биогенное происхождение. Важнейшими процессами газообразования являются фотосинтез и дыхание растений, животных и микроорганизмов, сопровождающееся выделением и поглощением кислорода и углекислого газа. Организмы, способные к фотосинтезу, сыграли решающую роль в формировании состава современной атмосферы.

3. **Концентрационная функция** связана со способностью организмов накапливать в своем теле химические элементы в большем количестве, чем их содержание в среде обитания. Например, диатомовые водоросли, кремневые губки накапливают кремний. Скелеты позвоночных животных содержат до 60 % фосфата кальция, а раковины некоторых моллюсков — до 100 %. Результатом концентрационной функции живых организмов является образование залежей горючих ископаемых, известняков, рудных месторождений и т. п.

4. **Окислительно-восстановительная функция** благодаря обогащению среды кислородом лежит в основе процесса обмена веществ любого живого организма. Под влиянием живого вещества усиливаются процессы как окисления, так и восстановления, когда идут процессы разложения органических веществ при недостатке кислорода. Восстановительные процессы обычно сопровождаются образованием и накоплением сероводорода и метана. Эти процессы делают практически безжизненными глубинные области болот, а также значительные придонные толщи воды (например, в Черном море).

5. **Деструкционная функция** связана со способностью живых организмов разрушать мертвое органическое вещество до минеральных веществ, способных вовлекаться в новый цикл круговорота. Разлагает мертвую органику огромная армия сапротрофных организмов. Однако последнюю фазу разложения до простых минеральных веществ осуществляют бактерии и грибы. Именно в этом и состоит их главная биосферная роль.

Деструкционная функция живого вещества — важный вид их деятельности в биосфере. Биосфера не только фабрика по производству сложных органических молекул, но и гигантская мельница, которая мелет безостановочно четвертый миллиард лет. В. И. Вернадский по этому поводу писал: «Мы не имеем на Земле более могучего дробителя материи, чем живое вещество».

6. **Средообразующая функция** заключается в преобразовании физико-химических параметров среды обитания живых организмов в результате осуществления ими процессов жизнедеятельности. Деятельность живых организмов сформировала современный состав атмосферы, от которой зависят радиационный и тепловой режимы на планете, спектральный состав достигающего поверхности Земли солнечного света. Растительный покров существенно определяет водный баланс, распределение влаги и климатические особенности больших пространств. Особенно велика средообразующая роль лесов. Они регулируют поверхностный сток, повышают содержание влаги в атмосфере, охраняют поля от суховеев и пылевых бурь, очищают атмосферу от вредных газов и обогащают ее кислородом.

Живые организмы играют ведущую роль в самоочищении воздуха, воды рек и озер, от них во многом зависит солевой состав природных вод и распределение многих химических веществ между сушей и океаном. Благодаря совместной деятельности растений, животных и микроорганизмов создается почва и поддерживается ее плодородие.

Велика роль животных-землероев в почве: они ее перемещают, рыхлят, обогащают кислородом, органическим веществом, влияют на структуру почвы.

КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В БИОСФЕРЕ

Круговорот веществ — обязательное условие жизни на планете. Запасы различных веществ на планете Земля огромны, однако они не бесконечны. Если бы минеральные элементы, необходимые для осуществления функций жизни, только потреблялись, жизнь раньше или позже должна была бы прекратиться. «Единственный способ придать ограниченному количеству свойство бесконечного, — писал почвовед академик В. Р. Вильямс, — это заставить его вращаться по замкнутой кривой». Таким образом, чтобы обеспечить длительность существования жизни, необходимо перемещение биологически важных веществ между литосферой, атмосферой, гидросферой и живыми организмами, иными словами, должен происходить круговорот веществ. Под *круговоротом веществ* понимают повторяющийся процесс превращения и перемещения веществ в природе, имеющий более или менее выраженный циклический характер.

В круговороте веществ участвуют все живые организмы, поглощающие из внешней среды одни вещества и выделяющие в нее другие. Так, растения на свету потребляют из внешней среды углекислый газ, воду и минеральные соли и выделяют в нее кислород. Животные вдыхают выделенный растениями кислород. Поедая растения, они усваивают синтезированные

из воды и углекислого газа органические вещества и выделяют углекислый газ и непереваренные остатки пищи. При разложении бактериями и грибами отмерших растений и животных образуется дополнительное количество углекислого газа, а органические вещества превращаются в минеральные, которые попадают в почву или водоемы и снова используются растениями. Таким образом, химические элементы постоянно совершают миграцию из одного организма в другой, из почвы, атмосферы и гидросферы — в живые организмы, а из них — в среду их обитания.

Эти процессы повторяются бесчисленное число раз. Подсчитано, что весь атмосферный кислород проходит через живое вещество за 2 тыс. лет, весь углекислый газ — за 200—300 лет. Вся вода океанов, морей и рек разлагается и восстанавливается в биотическом круговороте за 2 млн лет. Следовательно, за все время существования жизни не только углекислота и кислород, но и вся вода прошла через живое вещество не одну тысячу раз.

Круговорот веществ, как и все происходящие в природе процессы, требует постоянного притока энергии. Ее источником является лучистая энергия Солнца. Таким образом, биосфера может поддерживать длительность своего существования только при условии постоянного круговорота веществ и притока солнечной энергии.

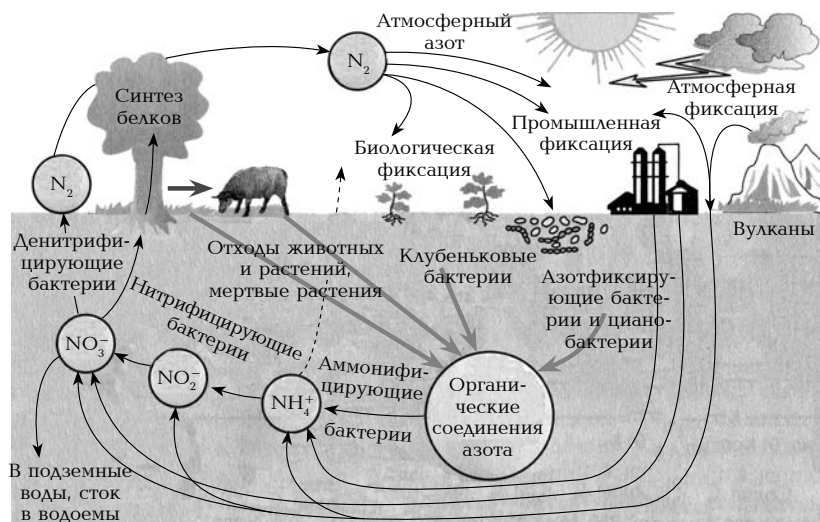
Солнечная энергия вызывает на Земле два вида круговорота веществ: большой, или геологический, наиболее ярко проявляющийся в круговороте воды и циркуляции атмосферы, и малый, или биологический (биотический). Малый биотический круговорот развивается на основе большого абиотического, используя особенности последнего.

Круговорот азота (рис. 19.3). Азот — необходимый элемент важнейших органических соединений любой живой клетки. Основные его запасы сосредоточены в атмосфере в форме молекулярного азота, недоступного для растений, так как они способны использовать азот только в виде соединений.

Пути поступления связанных форм азота в почву и водную среду различны. Так, небольшое количество азотистых соединений образуется в атмосфере во время гроз. Вместе с дождевыми водами они затем поступают в водную или почвенную среду. Выделяются соединения азота также при извержениях вулканов.

В круговороте веществ главнейшую роль выполняют бактерии

Рис. 19.3. Круговорот азота



К прямой фиксации атмосферного молекулярного азота способны лишь некоторые прокариотические организмы (бактерии и цианобактерии), имеющие для этого специальный ферментный комплекс — нитрогеназу. Наиболее активными азотфиксаторами являются клубеньковые бактерии рода *ризобиум*, поселяющиеся в клетках корней бобовых и некоторых других растений. Благодаря их азотфиксирующей деятельности 1 га посевов бобовых культур накапливает за вегетационный сезон в среднем 200—300 кг азота и обогащает им почву. В водоемах азотфиксаторами являются некоторые виды цианобактерий, вызывающих массовое развитие — «цветение» воды: носток, анабена и др. После разложения отмерших цианобактерий водоем обогащается азотистыми соединениями.

Азотсодержащие органические вещества отмерших организмов разлагаются *гнилостными (аммонифицирующими) бактериями* до аммиака или иона аммония. Основная масса образующегося аммиака окисляется далее *нитрифицирующими бактериями* до нитритов и нитратов, которые усваиваются растениями. Некоторая часть аммиака уходит в атмосферу и вместе с углекислым и другими газами участвует в создании парникового эффекта.

Различные формы азотистых соединений почвы и водной среды восстанавливаются некоторыми видами бактерий до оксидов и молекулярного азота. Этот процесс называется *денитрификацией*. Результатом его является обеднение почвы и воды соединениями азота и пополнение атмосферы молекулярным азотом.

Процессы нитрификации и денитрификации были сбалансированы вплоть до начала интенсивного применения человеком азотных минеральных удобрений в целях стимулирования роста сельскохозяйственных растений и получения высоких урожаев. В настоящее время из-за использования громадных объемов таких удобрений наблюдается накопление азотистых соединений в почве, растениях, грунтовых водах.

Круговорот углерода (рис. 19.4). Углерод — обязательный химический элемент всех органических веществ. Огромная роль в круговороте этого элемента принадлежит растениям. В процессе фотосинтеза углекислый газ атмосферы и гидросферы ассимилируется наземными и водными растениями, а также цианобактериями и включается в состав органических веществ. В процессе дыхания в клетках всех живых организмов происходит обратный процесс: углерод органических соединений переходит в состав молекулы углекислого газа. В процесс фотосинтеза и дыхания вовлекаются многие десятки миллиардов тонн углерода, что приводит, таким образом, к его циркуляции в биосфере.

Дыхание
и фотосинтез —
самая повсеместная
форма круговорота
углерода

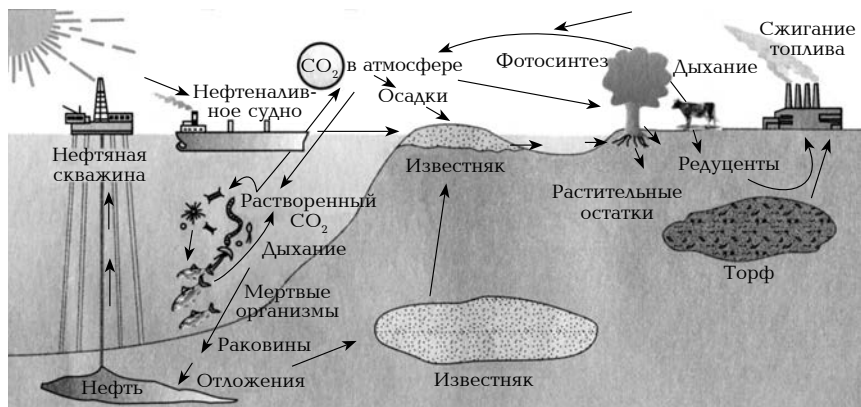


Рис. 19.4. Круговорот углерода

Еще одним мощным потребителем углерода, использующим его соединения для построения раковин и скелетных образований, являются морские организмы. Из известковых раковин и скелетов отмерших организмов на дне морей и океанов образованы мощные отложения известняков.

Цикл углерода не полностью замкнут. Углерод может выходить из круговорота на длительный срок в виде залежей каменного угля, торфа, нефти, известняков, сапропели (донных органических илов), гумуса и др.

Отрегулированный природой круговорот углерода нарушает человек в ходе хозяйственной деятельности. За счет сжигания огромного количества ископаемого топлива содержание углекислого газа в атмосферном воздухе за прошлое столетие возросло на 25 %.

ЭВОЛЮЦИЯ И СТАБИЛЬНОСТЬ БИОСФЕРЫ

Современная структура биосферы и границы обитания ныне существующих организмов формировались постепенно в результате долгой истории Земли, начиная с ее возникновения и до настоящего времени.

Доказательства развития биосферы многочисленны и бесспорны. К ним относятся прежде всего ископаемые остатки древних организмов. Изучая их, ученые установили главные этапы в истории развития органической жизни на планете. Они также пришли к выводу, что миллиарды особей предков современных животных и растений безвозвратно исчезли в геологическом прошлом, не оставив после себя никаких следов (окаменелостей, отпечатков, мумификаций). А вот геохимические следы существования древних организмов остались в виде органических соединений в осадочных горных породах земной коры. Так, в древних породах, возраст которых около 3,5 млрд лет, был найден углерод биогенного фотосинтетического происхождения. Накопленные палеонтологические и геохимические данные позволили предположить, что за всю историю биосферы ее населяли, сменяя друг друга, около миллиарда видов.

Важнейший этап развития жизни на Земле тесно связан с изменением содержания кислорода в атмосфере и становлением озонового экрана. Древние фотоавтотрофные цианобактерии насытили кислородом толщу первичного Мирового океана. Затем постепенно в связи с ростом и размножением фотосинтезирующих организмов количество свободного кислорода стало возрастать, и он начал поступать в атмосферу. Это создало предпосылки для образования озонового экрана, поглощающего губительное для живых организмов коротковолновое ультрафиолетовое излучение. К концу палеозоя, в пермском периоде, концентрация кислорода в атмосфере достигла современного уровня. Его содержание наряду с формированием озонового слоя позволило организмам выйти на сушу, образуя наземную флору и фауну. Завоевание материков живым веществом сопровождалось резким возрастанием его биомассы, и впоследствии она стала преобладать над океанической биомассой (см. табл. 19.1).

Одновременно в океане также продолжался рост массы живого вещества. Донные и придонные организмы постепенно захватывали все новые и новые участки морского дна, продвигаясь в глубину. Наряду с увеличением массы наблюдалось усложнение их химического состава, а также использование для построения внутреннего и наружного скелетов минеральных веществ (SiO_2 , CaCO_3 , MgCO_3 , SrSO_4 и др.). В обменных процессах клеток стали участвовать сложные металлоорганические соединения (гемоглобин и др.). С ростом биомассы и ее активности увеличилось воздействие живых организмов на формирование химического состава атмосферы и растворенного вещества гидросферы.

Стабильность биосферы. Биосфера представляет собой устойчивую природную систему, в которой поддерживается динамическое равновесное состояние. В результате крупных геологических явлений (извержение вулканов, землетрясения и т. п.) это равновесие может локально нарушаться, однако биосфера за счет составляющих ее структурных и функциональных компонентов экосистем способна его восстанавливать.

Стабильность биосферы определяется прежде всего непрерывным поступлением солнечной энергии, используемой фотоавтотрофными организмами и преобразуемой ими в первичное органическое вещество — первопищу для консументов. Она определяется также многообразием обитающих в ее пределах живых организмов (биоразнообразием), их постоянным размножением и адаптациями к жизни в разнообразнейших условиях среды. Не менее важны также многочисленные типы и способы питания живых существ биосферы, в результате чего поддерживается непрерывный биогенный круговорот веществ.

ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА БИОСФЕРУ

Благодаря техническим достижениям 7-миллиардное человечество обладает в настоящее время невиданным ранее могуществом. Значительные пространства биосферы были замещены техносферой — глобальной совокупностью орудий, объектов, материальных процессов и продуктов общественного производства. Человеческой цивилизации своей деятельностью удалось раздвинуть границы техносферы даже за пределы биосферы: в ближайший и дальний космос, в глубины земной коры, под дно океана, в субмолекулярный мир. Вся планета оказалась оплетенной густой сетью спутниковых орбит, авиационных трасс, океанических маршрутов, кабелей, линий электропередачи, дорог, трубопроводов. Значительная часть суши несет на себе многие миллионы различных сооружений. Околоземное пространство пронизано радиоволнами бесчисленных передатчиков. Все это испускает, излучает, звучит, загрязняет все геосферы, создавая особую материально-энергетическую оболочку планеты. Воздействие хозяйственной деятельности на биосферу по своим масштабам и последствиям сравнимо с действием великих геологических катастроф.

Сегодня в повседневной жизни для характеристики создавшегося положения часто используются термины «экологические проблемы» и «экологический кризис». Под *экологической проблемой* понимают противоречие между деятельностью человека, направленной на удовлетворение своих потребностей, и разрушением природной среды, связанной с его деятельностью.

Экологические проблемы могут быть локальными, свойственными определенной небольшой территории или местности, региональными, отмеченными для какого-то конкретного региона, и глобальными, свойственными всей биосфере планеты.

Известно, что количество веществ, вовлеченных в биологический синтез и высвобождающихся затем в результате разложения, сбалансированы между собой благодаря сложной системе замкнутых биогеохимических циклов (круговоротов). Нарушение этой цикличности проявляется в виде *экологического кризиса* — ситуации, возникающей в экосистемах в результате нарушения экологического равновесия под воздействием стихийных природных явлений или в результате воздействия антропогенных факторов. Когда виновником экологического кризиса является хозяйственная деятельность человека, говорят об антропогенном экологическом кризисе.

Современный экологический кризис проявляется следующими негативными явлениями:

- 1) глобальным загрязнением окружающей среды;
- 2) глобальным потеплением, вызванным парниковым эффектом вследствие увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере планеты;
- 3) разрушением озонового экрана, защищающего живые организмы от губительного действия коротковолнового излучения ультрафиолетовой части солнечного спектра;
- 4) истощением невозобновимых минеральных, а также биологических ресурсов планеты;
- 5) резким ростом числа ранее неизвестных и часто неизлечимых заболеваний;
- 6) недостатком продуктов питания, очагами голода на планете;
- 7) энергетическим кризисом;
- 8) деградацией лесного и почвенного покровов и опустыниванием;
- 9) обеднением биологического разнообразия видов на Земле.

Причины и тенденции экологического кризиса. К развитию глобального экологического кризиса привело совпадение двух «взрывов» — демографического и промышленно-энергетического, произошедших в XX в. За 100-летний период времени численность населения Земли увеличилось с 1,6 до 6,0 млрд, мировое потребление энергии в 12 раз, многократно возросли добыча и переработка минеральных ресурсов. Возрос объем машиностроения, и изменилась его структура, что привело к тысячекратному росту производства самодвижущихся транспортных средств. Произошла химизация всех отраслей мирового хозяйства, резко повысилось производство пластмасс, синтетических волокон, синтетических моющих средств, пестицидов, лекарственных препаратов.

Стремительное развитие техносферы тяжелым бременем ложится на природную среду. Способность естественных экосистем к самоочищению в этих новых условиях оказывается недостаточной, что приводит к разрыву естественных циклов воспроизводства биологических ресурсов, снижению биоразнообразия и деградации экосистем.

Перечисленные отрицательные тенденции в развитии биосферы постепенно приобретают глобальный характер и представляют угрозу для будущего человечества. Как и любой другой биологический вид, человек может существовать на планете только в том интервале параметров окружающей среды, к которым он адаптировался в ходе своего исторического развития. Человек имеет свою систему взаимоотношений с окружающей средой, законы развития которой человеку необходимо учитывать в своей деятельности. Отступление от этих законов может привести к катастрофическим последствиям, поэтому человечество стоит перед важной проблемой выработки стратегии своего выживания на планете.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПРИРОДЫ

В основе человеческой деятельности лежит *природопользование* — совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению.

Рациональное природопользование предполагает обеспечение экономной эксплуатации природных ресурсов с учетом интересов будущих поколений людей. Рациональное природопользование включает в себя:

- 1) извлечение и переработку природных ресурсов, их охрану, возобновление или воспроизводство;
- 2) использование и охрану природных условий среды жизни человека;
- 3) сохранение, восстановление и поддержание экологического равновесия в природных системах;
- 4) регуляцию воспроизводства человека и численности населения Земли.

Нерациональное природопользование ведет к снижению качества среды, растрате и истощению природных ресурсов, подрыву воспроизводительных сил природы, загрязнению окружающей среды, снижению ее оздоровительных и эстетических достоинств.

Для сохранения и восстановления природных ресурсов, предупреждения вредного влияния результатов хозяйственной деятельности на здоровье человека необходимы специальные природоохранные меры.

Охрана природы — это комплекс различных мероприятий (административно-хозяйственных, технологических, юридических, общественных и др.), направленных на обеспечение функционирования природных систем, необходимых для сохранения здоровья и благосостояния человека.

Природоохранительная деятельность касается главным образом сохранения многообразия форм жизни на Земле (биоразнообразия).

Красные книги. Для организации охраны флоры и фауны выявляют объекты охраны и заносят их в Красные книги — официальный документ, содержащий систематизированные сведения о редких и находящихся под угрозой исчезновения видах грибов, растений и животных. В книге содержатся краткие данные о биологии этих видов, их распространении, причинах, приведших к резкому сокращению численности или даже исчезновению вида.

Первая международная «Красная книга» («Red date book») была издана в 1966 г. по инициативе Международного союза охраны природы (МСОП). Многие страны мира последовали примеру МСОП и стали издавать свои национальные Красные книги. В Беларуси осуществлено три издания Красной книги: в 1981, 1993 и 2004 гг. Благодаря принятым мерам по охране животных в настоящее время в Беларуси не вызывает опасения состояние популяций таких видов, как черный аист, европейская рысь, зубр.

Охраняемые природные территории. Одной из наиболее действенных форм охраны естественной природы является заповедный режим на особо охраняемых природных территориях. Они предназначены для сохранения типичных и уникальных природных ландшафтов, разнообразия растительного и животного мира, объектов природного и культурного наследия. Такие территории исключаются из традиционного хозяйственного использования (рубка леса, распашка, осушение, орошение и т. п.). К особо охраняемым природным территориям относятся *заповедники* (природные комплексы, полностью исключенные из любой хозяйственной деятельности), *заказники* (участки природной территории, где временно запрещены отдельные формы хозяйственной деятельности человека), *национальные парки* (обширные участки территории, включающие охраняемые природные ландшафты и ограниченные зоны рекреации), *заповедно-охотничьи хозяйства*, *участки воспроизводства промысловых животных*, *нерестовые водоемы и акватории*, *памятники природы* и др.

В Республике Беларусь функционируют два заповедника: Березинский биосферный и специально созданный для изучения последствий аварии на Чернобыльской АЭС Полесский радиационно-экологический и четыре национальных парка: Беловежская пуща, Браславские озера, Нарочанский и Припятский и 85 государственных заказников республиканского значения.

Все виды охраны природы направлены на сохранение ее генофонда — необходимого условия для поддержания стабильности жизни на планете Земля и выживания человечества.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4

Глава 1. Химические компоненты живых организмов

Химические компоненты живых организмов	10
Неорганические вещества	13
Органические вещества. Аминокислоты. Белки	15

Глава 2. Клетка — структурная и функциональная единица живых организмов

История открытия клетки	36
Методы изучения клетки	38
Строение клетки	39

Глава 3. Обмен веществ и превращение энергии в организме

Общая характеристика обмена веществ и превращения энергии	64
Энергетический обмен	65
Пластический обмен. Фотосинтез	69
Биосинтез белка	73
Синтез белка на рибосомах — реализация наследственной информации	74

Глава 4. Размножение и индивидуальное развитие организмов

Типы размножения организмов	77
Онтогенез	85
Постэмбриональное развитие	89

Глава 5. Бактерии

Распространение, формы и строение бактерий	91
Цианобактерии	97

Глава 6. Протисты

Одноклеточные гетеротрофные протисты — простейшие	99
Одноклеточные и колониальные авто- и автогетеротрофные протисты — водоросли	102

Глава 7. Грибы и лишайники

Общая характеристика грибов	109
Многообразие грибов	110
Лишайники	115

Глава 8. Растения и их разнообразие

Общая характеристика растений	117
Разнообразие растений	122
Строение растений	135
Размножение цветковых растений	151
Многообразие цветковых растений	165

Глава 9. Животные

Общая характеристика животных и их разнообразие	175
Тип Кишечнополостные	176
Тип Плоские черви	180
Тип Круглые черви, или Нематоды	184
Тип Кольчатые черви	188
Тип Моллюски	192
Тип Членистоногие	197
Класс Насекомые. Распространение и строение	207
Тип Хордовые	220
Класс Земноводные, или Амфибии	230
Класс Пресмыкающиеся, или Рептилии	235
Класс Птицы	240
Класс Млекопитающие, или Звери	252

Глава 10. Организм человека

Общая характеристика организма человека	262
Регуляция функций в организме человека	266
Нервная регуляция функций организма человека	268
Опорно-двигательная система	276
Внутренняя среда организма	283
Кровь. Состав и функции крови	284
Сердечно-сосудистая (кровеносная) система	293
Дыхательная система	300
Пищеварительная система	304
Обмен веществ	309
Выделительная система	312
Покровная система	314
Репродуктивная система. Индивидуальное развитие человека	318
Сенсорные системы	324
Поведение и психика	329

Глава 11. Наследственность и изменчивость организмов

Закономерности наследования признаков, установленные Г. Менделем	335
Хромосомная теория наследственности	346
Изменчивость организмов и ее типы	357
Генотипическая изменчивость	360
Особенности наследственности и изменчивости человека	364
Наследственные болезни человека	366

Глава 12. Селекция и биотехнология

Селекция и ее основные задачи	370
Методы селекции	373
Достижения современной селекции	377
Особенности селекции микроорганизмов	379
Основные направления биотехнологии	380

Глава 13. Организм и среда

Среда обитания и условия существования организмов. Экологические факторы	384
Свет в жизни организмов	387
Тепло как экологический фактор	388
Вода как экологический фактор	390

Биотические факторы.....	392
Среды жизни.....	393

Глава 14. Вид. Популяция

Понятие вида.....	398
Популяция — структурная единица вида.....	400
Динамика численности популяций и ее регуляция.....	403

Глава 15. Экосистема — основная структурная единица биосферы

Биоценоз и биотоп — взаимосвязанные элементы экосистемы.....	406
Видовая структура биоценоза.....	408
Пространственная структура биоценоза.....	410
Экосистема. Биогеоценоз. Структура экосистемы.....	412
Цепи и сети питания. Трофические уровни. Экологические пирамиды.....	415
Продуктивность экосистем.....	418
Биотические связи организмов в экосистемах.....	420
Динамика экосистем.....	425
Смена биоценозов во времени.....	427
Агроэкосистемы.....	430

Глава 16. Эволюция органического мира

Гипотезы происхождения жизни на Земле.....	432
Биологическая эволюция.....	436
Эволюционная теория Ч. Дарвина.....	438
Современные представления об эволюции.....	444
Видообразование.....	452
Макроэволюция и ее доказательства.....	456
Неклеточные формы жизни.....	466

Глава 17. Происхождение и эволюция человека

Доказательства происхождения человека от животных.....	473
Место человека в зоологической системе.....	475
Этапы и направления эволюции человека.....	475
Движущие силы эволюции человека.....	481
Основные расы человека, причины их возникновения и доказательства единства.....	483

Глава 18. Поведение

Уровни поведения и эволюция.....	486
Поведение, связанное с научением.....	489
Общественное поведение животных.....	492
Особенности поведения человека.....	495

Глава 19. Биосфера — живая оболочка планеты

Биосфера — активная оболочка Земли.....	498
Живое вещество биосферы.....	501
Биогеохимические функции живого вещества.....	502
Круговорот веществ в биосфере.....	503
Эволюция и стабильность биосферы.....	506
Влияние хозяйственной деятельности человека на биосферу.....	507
Рациональное природопользование и охрана природы.....	508