БИОЛОГИЯ

✓ ОБОБЩЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

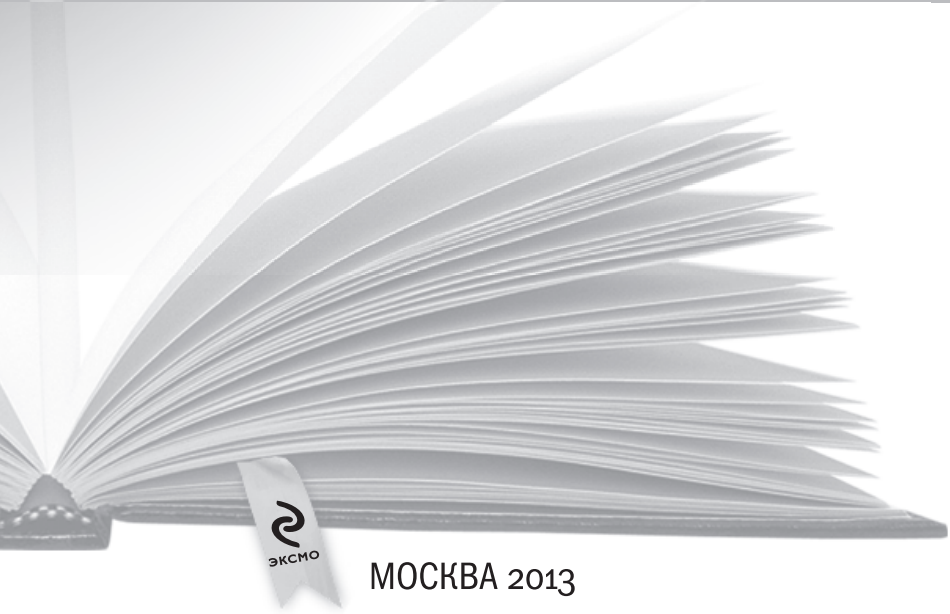
✓ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК ШКОЛЬНИКА

Ю.А. САДОВНИЧЕНКО

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК ШКОЛЬНИКА

БИОЛОГИЯ



МОСКВА 2013

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я721
С 14

Садовниченко Ю. А.

С 14 Биология / Ю. А. Садовниченко. – М. : Эксмо, 2013. – 512 с. – (Универсальный справочник школьника).

Универсальный справочник школьника содержит подробные теоретические сведения по биологии. Особенностью справочника является наличие вспомогательных разделов «Экспресс-контроль» и «Экспресс-помощник», содержащих задания в форме ЕГЭ и справочные материалы в виде наглядных схем и таблиц. Таким образом, изучив теорию по предмету, учащиеся имеют возможность проверить и закрепить свои знания, выполнив тестовые задания разного уровня сложности.

Издание адресовано учащимся старших классов для подготовки к ЕГЭ, урокам, контрольным и самостоятельным работам по биологии. Также будет полезно учителям и репетиторам.

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я721

© Садовниченко Ю.А., 2013
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2013

ISBN 978-5-699-59512-9

Ответственный редактор *А. Жилинская*
Ведущий редактор *Т. Судакова*. Художественный редактор *Е. Брынчик*

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ о техническом регулировании можно получить по адресу: http://eksmo.ru/certification/

ООО «Издательство «Эксмо»
127299, Москва, ул. Клары Цеткин, д. 18/5. Тел. 411-68-86, 956-39-21.
Home page: **www.eksmo.ru** E-mail: **info@eksmo.ru**

Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы, 127299, Мәскеу, Клара Цеткин көшесі, 18/5 үй.
Тел. 8 (495) 411-68-86, 8 (495) 956-39-21.
Home page: www.eksmo.ru . E-mail: info@eksmo.ru.
Қазақстан Республикасындағы Өкілдігі: «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қаласы, Домбровский көшесі, 3«а», Б литері, 1 кеңсе. Тел.: 8(727) 2 51 59 89,90,91,92, факс: 8 (727) 251 58 12 ішкі 107; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Қазақстан Республикасының аумағында өнімдер бойынша шағымды Қазақстан Республикасындағы Өкілдігі қабылдайды: «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қаласы, Домбровский көшесі, 3«а», Б литері, 1 кеңсе.
Өнімдердің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Подписано в печать 05.02.2013. Произведено 11.02.2013.
Формат 84x108 1/32. Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,88.
Тираж экз. Заказ

ISBN 978-5-699-59512-9
9 785699 595129 >

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ КАК НАУКА.
МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ 11
Биология как наука 11
Признаки живого 13

КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА 15
Современная клеточная теория 15
Химический состав клетки 16
Макро- и микроэлементы 17
Неорганические вещества 19
Органические вещества 21
Углеводы 21
Липиды 25
Белки 27
Нуклеиновые кислоты 32
Типы клеток: прокариотические
и эукариотические 37

Строение эукариотической клетки 38
Хромосомы. Кариотип. 55
Сравнительная характеристика строения клеток растений, животных, бактерий и грибов 58
Обмен веществ и превращения энергии. Ферменты 59
Стадии энергетического обмена 61
Дыхание 62
Брожение 64
Фотосинтез 65
Хемосинтез 69
Генетический код 70
Репликация ДНК 71
Биосинтез белка 72
Жизненный цикл клетки. 74
Митоз 76
Мейоз 78
Экспресс-контроль 82
Экспресс-помощник 84

РАЗМНОЖЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ 90
Способы размножения 90
Онтогенез и присущие ему закономерности 93
Индивидуальное развитие у животных. 94
Эмбриональное развитие растений 102
Жизненные циклы и чередование поколений. 104
Причины нарушения развития организмов 105

Содержание

ГЕНЕТИКА 106

Генетика как наука 106

Современные представления о гене и геноме 110

Закономерности наследования, установленные Г. Менделем, их цитологические основы (моно- и дигибридное скрещивание) 113

Закономерности наследственности, их цитологические основы 119

Закон Моргана: сцепленное наследование признаков, нарушение сцепления генов 122

Хромосомная теория наследственности 124

Генетика пола 125

Генотип как целостная система. Взаимодействие генов 128

Генетика человека 131

Закономерности изменчивости 134

Ненаследственная (модификационная) изменчивость 135

Наследственная изменчивость: мутационная, комбинативная 137

Значение изменчивости в жизни организмов и в эволюции 140

Селекция 142

Экспресс-контроль 146

Экспресс-помощник 148

СИСТЕМА И МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА 155

Систематика как наука 155

Вирусы — неклеточные формы жизни 157

Царство бактерий 161
Царство грибов 166
Царство растений 172
Общая характеристика царства 172
Ткани растений 173
Корень 178
Побег 181
Почка 183
Стебель 184
Лист 186
Видоизменения побега 189
Цветок 190
Соцветия 194
Семя 195
Плод 196
Жизнедеятельность растительного организма 198
Размножение растений 200
Развитие растительного организма 206
Раздражимость 210
Многообразие растений, их роль в природе 211
Низшие растения 214
Высшие споровые растения 220
Семенные растения 231
Царство животных 244
Общая характеристика царства 244
Общая характеристика подцарства
Одноклеточные, или Простейшие 246

Тип Саркожгутиковые 247
Тип Апикомплексы 251
Тип Инфузории 252
Роль простейших в природе и в жизни человека 253
Общая характеристика подцарства Многоклеточные 254
Тип Кишечнополостные 255
Тип Плоские черви 259
Тип Круглые черви, или Первичнополостные 267
Тип Кольчатые черви 271
Тип Моллюски, или Мягкотелые 275
Тип Членистоногие 279
Общая характеристика типа Членистоногие 279
Класс Ракообразные. 282
Класс Паукообразные 284
Тип Хордовые 292
Общая характеристика 292
Подтип Бесчерепные 294
Подтип Позвоночные, или Черепные. 297
Класс Хрящевые рыбы 299
Класс Костные рыбы 302
Класс Земноводные, или Амфибии 305
Класс Пресмыкающиеся, или Рептилии 310
Класс Птицы 313
Класс Млекопитающие 320
Экспресс-контроль 327
Экспресс-помощник 329

ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ЗДОРОВЬЕ 349
Ткани 349
Опорно-двигательная система 354
Пищеварительная система 363
Дыхательная система 372
Внутренняя среда организма человека 377
Строение и жизнедеятельность органов системы кровообращения 385
Лимфатическая система 390
Выделительная система 392
Кожа 395
Размножение и развитие человека 397
Эндокринная система 401
Нервная система 407
Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности организма как основа его целостности, связи со средой 414
Органы чувств, их роль в организме 415
Строение и функции органа зрения 416
Строение и функции органа слуха 420
Строение и функции органа равновесия 421
Строение и функции органа осязания 422
Строение и функции органа вкуса 423
Строение и функции органа обоняния 423
Высшая нервная деятельность 424
Экспресс-контроль 441
Экспресс-помощник 443

Содержание

ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ 449
История эволюционных идей 449
Доказательства эволюции живой природы 450
Эволюционная теория Ч. Дарвина. 453
Синтетическая теория эволюции. 454
Факторы эволюции. 455
Микроэволюция. 458
Вид, его критерии 459
Макроэволюция. 460
Направления и пути эволюции 460
Формы эволюционного процесса 462
Результаты эволюции 462
Гипотезы возникновения жизни на Земле 463
Развитие жизни на Земле. 464
Происхождение человека 465
Экспресс-контроль 469
Экспресс-помощник. 471

ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИСУЩИЕ
ИМ ЗАКОНОМЕРНОСТИ 480
Экологические факторы. 480
Среды обитания организмов 485
Экологические законы 486
Экосистема (биогеоценоз). 487
Основные компоненты биогеоценоза 488
Цепи и сети питания 488
Экологические пирамиды 490
Разнообразие экосистем (биогеоценозов) 491

Саморазвитие и смена экосистем 492
Агроэкосистемы. 493
Биосфера 493
Биологический круговорот и превращение энергии в биосфере 496
Основные экологические проблемы с овременности и пути их решения 502
Правила поведения в природной среде. 504
Экспресс-контроль 506
Экспресс-помощник. 508

ОТВЕТЫ 512

БИОЛОГИЯ КАК НАУКА. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

Биология как наука

Биология — это комплекс наук о живой природе, который изучает строение и функции живых существ, их разнообразие, происхождение и развитие, а также взаимодействие с окружающей средой.

В настоящее время в состав биологии включают *ботанику* (растения), *зоологию* (животные), *микробиологию* (микроорганизмы), *микологию* (грибы), *систематику*, *биохимию* (химический состав живой материи и химические процессы в ней), *цитологию* (клетка), *гистологию* (ткани), *анатомию* (внутреннее строение), *физиологию* (процессы жизнедеятельности), *эмбриологию* (индивидуальное развитие), *этологию* (поведение), *генетику* (наследственность и изменчивость), *селекцию* (выведение организмов с нужными человеку свойствами), *биотехнологию* (использование живых организмов и биологических процессов в производстве), *эволюционное учение* (историческое развитие органического мира), *палеонтологию* (ископаемые останки), *антропологию* (историческое развитие человека как биологического вида), *экологию* (популяции, сообщества, биогеоценозы и биосфера). Развитие представле-

ЗАПОМНИ

Биология — комплекс наук о живой природе, изучающий все проявления жизни.

ний об окружающей среде привело к возникновению такой науки, как экология, и формулировке учения о биосфере как о сложной многокомпонентной планетарной системе, что в конечном итоге позволяет хотя бы в небольшой степени уменьшить негативные последствия хозяйственной деятельности человека.

Биология сыграла немаловажную роль в становлении современной материалистической естественнонаучной картины мира, так как она раскрывает механизмы возникновения органического мира из неживых компонентов и его эволюции, доказывает единство его происхождения на основе строения клеток, а также обобщает механизмы наследственности и изменчивости.

На стыке биологии и других наук возник целый ряд новых наук, таких как биофизика, биохимия, бионика и др.

Основными методами биологии являются сравнительно-описательный, моделирование (создание упрощенных имитаций объекта или явления), мониторинг (систематическое наблюдение, оценка и прогноз изменений состояния объекта), световая и электронная микроскопия, дифференциальное центрифугирование, или фракционирование (разделение частиц под действием центробежной силы), метод меченых атомов, или радиоавтография, и др.

ЗАПОМНИ

Живая природа является сложной, многокомпонентной и строго упорядоченной системой.

Живая природа является системой, компоненты которой можно расположить в строгом порядке: от низших к высшим. Данный принцип организации

позволяет выделить в живой природе отдельные уровни и дает комплексное представление о жизни как о природном явлении.

В настоящее время выделяют 5 основных уровней организации живой материи:

- клеточный;
- организменный;
- популяционно-видовой;
- биогеоценотический;
- биосферный.

Признаки живого

Биологические системы отличаются от тел неживой природы совокупностью признаков и свойств, среди которых основными являются:

- клеточное строение;
- особенности химического состава;
- обмен веществ и превращения энергии;
- гомеостаз;
- раздражимость;
- движение;
- рост и развитие;
- воспроизведение;
- эволюция.

Все живые системы, в том числе клетки и организмы, являются открытыми. К *открытым системам* относят системы, между которыми и окружающей средой происходит обмен веществ и энергии, например, растения в процессе фотосинтеза улавливают солнечный свет и поглощают воду и углекислый газ, выделяя кислород.

Благодаря обмену веществ и энергии обеспечивается взаимосвязь организма с окружающей средой и поддерживается гомеостаз.

Обмен веществ и превращения энергии связаны с такими процессами, как питание, дыхание и выделение.

Гомеостаз — это способность биологических систем противостоять изменениям и поддерживать относительное постоянство химического состава, строения и свойств, а также обеспечивать постоянство функционирования в изменяющихся условиях окружающей среды.

По способу питания все организмы делятся на автотрофов и гетеротрофов. *Автотрофы* способны самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических, а *гетеротрофы* используют исключительно готовые органические вещества.

Автотрофы могут осуществлять фотосинтез (растения и некоторые бактерии) или хемосинтез (некоторые бактерии).

ЗАПОМНИ

Автотрофы синтезируют самостоятельно органические вещества из неорганических, гетеротрофы используют готовые органические вещества.

К гетеротрофам относятся животные, грибы и бактерии. Гетеротрофов делят на паразитов, сапротрофов, симбионтов, хищников и др. *Паразиты* используют другие организмы в качестве среды обитания и источника питания, *сапротрофы* потребляют и разлагают органические остатки, а *симбионты* сосуществуют с другими организмами как на взаимовыгодных основаниях (*мутуалисты*), так и с пользой только для одного из них (паразиты).

КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Современная клеточная теория

Одним из основополагающих понятий в современной биологии является представление о том, что всем живым организмам присуще клеточное строение. Изучением строения клетки, ее жизнедеятельности и взаимодействия с окружающей средой занимается наука *цитология*, или *клеточная биология*. Своему появлению цитология обязана формулировке клеточной теории (1838—1839 гг., М. Шлейден, Т. Шванн, дополнена в 1855 г. Р. Вирховым).

Клеточная теория является обобщенным представлением о строении и функциях клеток как единиц живого, об их размножении и роли в формировании многоклеточных организмов.

Основные положения клеточной теории:

1. Клетка — единица строения, жизнедеятельности, роста и развития живых организмов — вне клетки жизни нет.
2. Клетка — единая система, состоящая из множества закономерно связанных друг с другом элементов, представляющих собой определенное целостное образование.
3. Клетки всех организмов сходны по своему химическому составу, строению и функциям.
4. Новые клетки образуются только в результате деления материнских клеток («клетка от клетки»).

5. Клетки многоклеточных организмов образуют ткани, из тканей состоят органы. Жизнь организма в целом обусловлена взаимодействием составляющих его клеток.
6. Клетки многоклеточных организмов имеют полный набор генов, но отличаются друг от друга тем, что у них работают различные группы генов, следствием чего является морфологическое и функциональное разнообразие клеток — дифференцировка.

Химический состав клетки

Химические элементы клетки образуют неорганические и органические вещества. Несмотря на то что в живых организмах преобладают неорганические вещества (рис. 1), именно органические вещества определяют уникальность их химического состава и феномена жизни в целом, поскольку они синтезируются преимущественно организмами в процессе жизнедеятельности и играют в реакциях важнейшую роль.

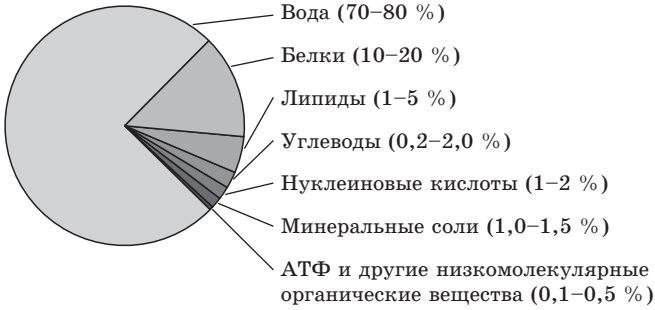


Рис. 1. Содержание химических веществ в клетке

Изучением химического состава организмов и химических реакций, протекающих в них, занимается наука *биохимия*.

Следует отметить, что содержание химических веществ в различных клетках и тканях может существенно различаться. Например, если в животных клетках среди органических соединений преобладают белки, то в клетках растений — углеводы.

Макро- и микроэлементы

В живых организмах встречается около 80 химических элементов, однако только для 27 из этих элементов установлены их функции в клетке и организме. Остальные элементы присутствуют в незначительных количествах, и, по-видимому, попадают в организм с пищей, водой и воздухом.

В зависимости от концентрации их делят на макроэлементы и микроэлементы.

Концентрация каждого из *макроэлементов* в организме превышает 0,01 %, а их суммарное содержание — 99 %. К макроэлементам относят кислород, углерод, водород, азот, фосфор, серу, калий, кальций, натрий, хлор, магний и железо. Первые четыре из перечисленных элементов (кислород, углерод, водород и азот) называют также *органогенными*, поскольку они входят в состав основных органических соединений. Фосфор и сера также являются компонентами ряда органических веществ, например белков и нуклеиновых кислот. Фосфор необходим для формирования костей и зубов.

Без оставшихся макроэлементов невозможно нормальное функционирование организма.

Так, калий, натрий и хлор участвуют в процессах возбуждения клеток. Кальций входит в состав клеточных стенок растений, костей, зубов и раковин моллюсков, требуется для сокращения мышечных клеток и свертывания крови. Магний является компонентом хлорофилла — пигмента, обеспечивающего протекание фотосинтеза. Он также принимает участие в биосинтезе белка и нуклеиновых кислот. Железо входит в состав гемоглобина, и необходимо для функционирования многих ферментов.

Микроэлементы содержатся в организме в концентрациях менее 0,01 %, а их суммарная концентрация в клетке не достигает и 0,1 %. К микроэлементам относятся цинк, медь, марганец, кобальт, йод, фтор и др.

Цинк входит в состав молекулы гормона поджелудочной железы — инсулина, медь требуется для процессов фотосинтеза и дыхания. Кобальт является компонентом витамина B_{12}, отсутствие которого приводит к анемии. Йод необходим для синтеза гормонов щитовидной железы, обеспечивающих нормальное протекание обмена веществ, а фтор связан с формированием эмали зубов.

Как недостаток, так и избыток или нарушение обмена макро- и микроэлементов приводят к развитию различных заболеваний.

В частности, недостаток кальция и фосфора вызывают рахит, нехватка азота — тяжелую белковую недостаточность, дефицит железа — анемию, отсутствие йода — нарушение образо-

вания гормонов щитовидной железы и снижение интенсивности обмена веществ, уменьшение поступления фтора — кариес. Свинец токсичен почти для всех организмов.

Недостаток макро- и микроэлементов можно компенсировать путем увеличения их содержания в пище и питьевой воде, а также за счет приема лекарственных препаратов.

Химические элементы клетки образуют различные соединения — неорганические и органические.

Неорганические вещества

К неорганическим веществам клетки относятся вода, минеральные соли, кислоты и др.

Вода (H_2O) — наиболее распространенное неорганическое вещество клетки, обладающее уникальными физико-химическими свойствами. В теле взрослого человека ее в среднем 66 %, однако кости содержат около 20 % воды, печени — 70 %, а мозг — 86 %.

В клетке вода является растворителем, средой для протекания реакций, исходным веществом и продуктом химических реакций, выполняет транспортную и терморегуляторную функции, придает клетке упругость, обеспечивает тургор растительной клетки. Все вещества делятся на растворимые в воде (*гидрофильные*) и нерастворимые в ней (*гидрофобные*).

Минеральные соли могут находиться в растворенном или нерастворенном состояниях. *Раство-*

римые соли диссоциируют на ионы — катионы и анионы. Наиболее важными катионами являются ионы калия и натрия, облегчающие перенос веществ через мембрану и участвующие в возникновении и проведении нервного импульса, а также ионы кальция, которые принимают участие в процессах сокращения мышечных волокон и свертывании крови; магния, входящего в состав хлорофилла; железа, входящего в состав ряда белков, в том числе гемоглобина. Важнейшими анионами являются фосфат-анион, входящий в состав АТФ и нуклеиновых кислот, и остаток угольной кислоты, смягчающий колебания pH среды. Ионы минеральных солей обеспечивают проникновение самой воды в клетку и ее удержание в ней. Если в среде концентрация солей ниже, чем в клетке, то вода проникает в клетку. Также ионы определяют буферные свойства цитоплазмы, т. е. ее способность поддерживать постоянство слабощелочной pH цитоплазмы, несмотря на постоянное образование в клетке кислотных и щелочных продуктов.

Нерастворимые соли ($CaCO_3$, $Ca_3(PO_4)_2$ и др.) входят в состав костей, зубов, раковин и панцирей одноклеточных и многоклеточных животных.

Кроме того, в организмах могут вырабатываться и другие неорганические соединения, например кислоты и оксиды. Так, обкладочные клетки желудка человека вырабатывают соляную кислоту, которая активирует пищеварительный фермент пепсин, а оксид кремния пропитывает клеточные стенки хвощей и образует панцири диатомовых водорослей.

Органические вещества

К органическим веществам клетки относят углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты, АТФ, витамины и др. они могут быть представлены как относительно простыми молекулами, так и более сложными. В тех случаях, когда сложная молекула (макромолекула) образована значительным числом повторяющихся более простых молекул, ее называют *полимером*, а ее структурные единицы — *мономерами*. В зависимости от того, повторяются или нет звенья полимеров, их относят к *регулярным* или *нерегулярным*.

Углеводы

Углеводы — это органические соединения, в состав которых входят в основном три химических элемента — углерод, водород и кислород, хотя целый ряд углеводов содержит также азот или серу.

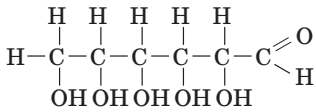
Общая формула углеводов — $C_m(H_2O)_n$. Их делят на моно-, олиго- и полисахариды.

Моносахариды содержат единственную молекулу сахара, которую невозможно расщепить на более простые. Это кристаллические вещества, сладкие на вкус и хорошо растворимые в воде. Моносахариды принимают активное участие в обмене веществ в клетке и входят в состав сложных углеводов — олигосахаридов и полисахаридов.

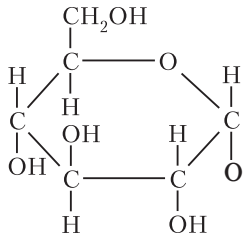
Моносахариды классифицируют по количеству углеродных атомов (C_3—C_9), например *пентозы* (С5) и *гексозы* (C_6). К пентозам относятся рибоза и дезоксирибоза. *Рибоза* входит в состав РНК и АТФ. *Дезоксирибоза* является компонентом ДНК. Гексо-

зы ($C_6H_{12}O_6$) — это глюкоза, фруктоза, галактоза и др. *Глюкоза* (виноградный сахар) (рис. 2) встречается во всех организмах, в том числе в крови человека, поскольку является энергетическим резервом. Она входит в состав сахарозы, лактозы, мальтозы, крахмала, целлюлозы и др. *Фруктоза* (плодовый сахар) в наибольших концентрациях содержится в плодах, меде, корнеплодах сахарной свеклы. Она не только принимает активное участие в процессах обмена веществ, но и входит в состав сахарозы и некоторых полисахаридов, например инсулина.

К *олигосахаридам* относят углеводы, образованные несколькими остатками моносахаридов. Они в основном также хорошо растворимы в воде и сладки на вкус. В зависимости от количества этих остатков различают дисахариды (два остатка), трисахариды (три) и др.



линейная формула



циклическая форма

Рис. 2. Строение молекулы глюкозы

К дисахаридам относятся сахароза, лактоза, мальтоза и др. *Сахароза* (свекловичный или тростниковый сахар) состоит из остатков глюкозы и фруктозы, она встречается в запасающих органах некоторых растений. Особенно много сахарозы в корнеплодах сахарной свеклы и сахарного тростника, откуда их получают промышленным способом. Она служит эталоном сладости

углеводов. *Лактоза* (молочный сахар), образована остатками глюкозы и галактозы, содержится в материнском и коровьем молоке. *Мальтоза* (солодовый сахар) состоит из двух остатков глюкозы. Она образуется в процессе расщепления полисахаридов в семенах растений и в пищеварительной системе человека, используется при производстве пива.

Полисахариды — это биополимеры, мономерами которых являются остатки моно- или дисахаридов. Большинство полисахаридов нерастворимы в воде и несладкие на вкус. К ним относятся крахмал, гликоген, целлюлоза и хитин. *Крахмал* — это белое порошкообразное вещество, не смачиваемое водой, но образующее при заваривании горячей водой взвесь — клейстер. Мономером крахмала является глюкоза (рис. 3). Крахмал — основное запасное вещество растений, которое накапливается в запасающих органах растений. Качественной реакцией на крахмал является реакция с йодом, при которой он окрашивается в сине-фиолетовый цвет.

Гликоген (животный крахмал) — это запасной полисахарид животных и грибов, который у че-

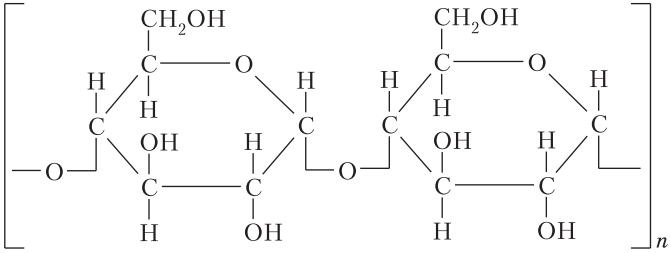


Рис. 3. Строение молекулы крахмала

ловека в наибольших количествах накапливается в мышцах и печени. Мономером гликогена является глюкоза. По сравнению с молекулами крахмала молекулы гликогена более разветвлены.

Целлюлоза, или *клетчатка*, — основной опорный полисахарид растений. Мономером целлюлозы является глюкоза (рис. 4). Целлюлоза входит в состав клеточных стенок растений. Целлюлоза является основой древесины, она используется в строительстве, при производстве тканей, бумаги, спирта и многих органических веществ.

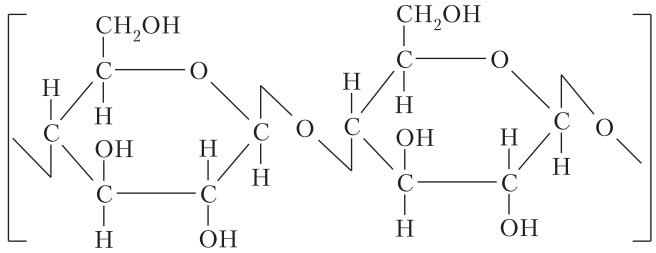


Рис. 4. Строение молекулы целлюлозы

Хитин — это полисахарид, мономером которого является азотсодержащий моносахарид на основе глюкозы. Он входит в состав клеточных стенок грибов и панцирей членистоногих.

Функции углеводов. Углеводы выполняют в клетке пластическую (строительную), энергетическую, запасающую и опорную функции. Энергетическая ценность расщепления 1 г углеводов составляет 17,2 кДж. Углеводы могут также входить в состав сложных липидов и белков, образуя гликолипиды и гликопротеины, в частности в клеточных мембранах.

Липиды

Липиды — это разнородная в химическом отношении группа низкомолекулярных веществ с гидрофобными свойствами.

Данные вещества нерастворимы в воде, образуют в ней эмульсии, но при этом хорошо растворяются в органических растворителях. Липиды маслянисты на ощупь, многие из них оставляют на бумаге характерные невысыхающие следы.

В зависимости от строения молекулы липиды делят на простые и сложные. К *простым* липидам относятся нейтральные липиды (жиры), воски, стерины и стероиды. *Сложные* липиды содержат и другой, нелипидный компонент. Наиболее важными из них являются фосфолипиды и гликолипиды.

Жиры являются производными трехатомного спирта глицерина и высших жирных кислот (рис. 5). Среди жирных кислот есть как насыщенные, так и ненасыщенные, то есть содержащие двойные связи.

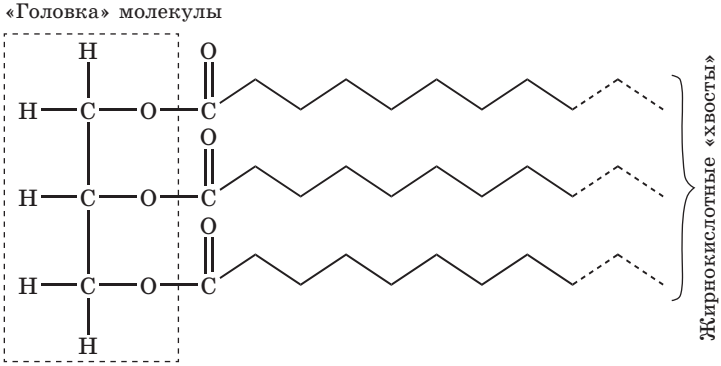


Рис. 5. Строение молекулы жира

Из насыщенных жирных кислот чаще всего встречаются пальмитиновая и стеариновая, а из ненасыщенных — олеиновая. Некоторые ненасыщенные жирные кислоты не синтезируются в организме человека или синтезируются в недостаточном количестве, и поэтому являются незаменимыми. Остатки глицерина образуют гидрофильные «головки», а остатки жирных кислот — «хвосты». Жиры растений большей частью содержат ненасыщенные жирные кислоты, вследствие чего они являются жидкими и называются *маслами*. Масла содержатся в семенах многих растений, таких как подсолнечник, соя, рапс и др.

Воски — это сложные смеси жирных кислот и жирных спиртов. У растений они образуют пленку на поверхности листа, которая защищает от испарения, проникновения возбудителей заболеваний и т. п. У ряда животных они также покрывают тело или служат для построения сот.

К *стеринам* относятся такой липид, как витамин D, и холестерол — обязательный компонент клеточных мембран, а к *стероидам* — половые гормоны: эстрадиол, тестостерон и др.

Фосфолипиды, помимо остатков глицерина и жирных кислот, содержат остаток ортофосфорной кислоты. Они входят в состав клеточных мембран и обеспечивают их барьерные свойства.

Гликолипиды также являются компонентами мембран, но их содержание там невелико. Нелипидной частью гликолипидов являются углеводы.

Функции липидов. Липиды выполняют в клетке пластическую (строительную), энергетическую, запасающую, защитную и регуляторную функции. При расщеплении 1 г липидов выделяется

38,9 кДж энергии. Они откладываются в запас в различных органах растений и животных. Подкожная жировая клетчатка защищает внутренние органы животных от переохлаждения или перегревания, от ударов, а у водных животных — еще и повышает плавучесть. Регуляторная функция липидов связана с тем, что некоторые из них являются гормонами.

Белки

Белки — это высокомолекулярные соединения, биополимеры, мономерами которых являются аминокислоты, связанные пептидными связями.

Аминокислотой называют органическое соединение, имеющее аминогруппу, карбоксильную группу и радикал (рис. 6). В состав белка могут входить 20 аминокислот, которые различаются радикалами. Аминокислоты делят на заменимые и незаменимые.

$$NH_2-\underset{\underset{R}{|}}{CH}-COOH$$

Рис. 6. Общая формула аминокислоты

Заменимые аминокислоты образуются в организме человека в необходимом количестве, а *незаменимые* должны поступать с пищей, но могут частично синтезироваться микроорганизмами кишечника. Полностью незаменимых аминокислот насчитывается 8: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин.

Последовательность из двух аминокислот, связанных пептидными связями (рис. 7), называется *дипептидом*, из трех — *трипептидом* и т. д. Среди пептидов встречаются такие важные соединения, как гормоны (окситоцин, вазопрессин),

антибиотики и др. Цепочка из более чем двадцати аминокислот называется *полипептидом*, а полипептиды, содержащие более 60 аминокислотных остатков, — это *белки*.

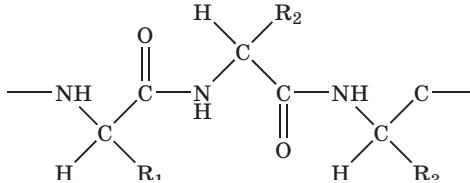


Рис. 7. Пептидная связь

Уровни структурной организации белка. Белки могут иметь первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры.

Первичная структура белка — это последовательность аминокислот, соединенных пептидной связью (рис. 8). Первичная структура в конечном счете определяет специфичность белка и его свойства. Замена хотя бы одной аминокислоты в первичной структуре влечет за собой изменение вторичной и более высоких структур, а также свойств белка в целом.

Вторичная структура представляет собой пространственную укладку белковой молекулы в виде спирали, удерживаемой водородными связями

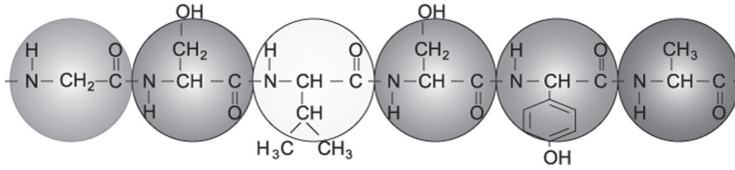


Рис. 8. Первичная структура белка

между атомами кислорода и водорода пептидных группировок разных витков спирали или складок (рис. 9). Многие белки содержат более-менее длинные участки со вторичной структурой, например, кератины волос и ногтей, фиброин шелка.

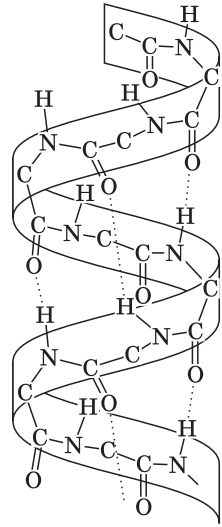


Рис. 9. Вторичная структура белка

Третичная структура белка представляет собой *глобулу*, удерживаемую гидрофобными, водородными, дисульфидными (S—S) и другими связями меж-ду радикалами аминокислот (рис. 10). Она характерна для большинства белков организма, например миоглобина мышц.

Четвертичная структура — наиболее сложная, образованная несколькими полипептидными цепями, соединенными в основном слабыми взаимодействиями (рис. 11). Она характерна для немногих белков, таких как, например, гемоглобин.

По форме молекулы различают *фибриллярные* и *глобулярные* белки. Первые из них вытянуты, как, например, коллаген соединительной ткани или кератины волос и ногтей. Глобулярные же белки имеют форму клубка (глобулы), как миоглобин мышц.

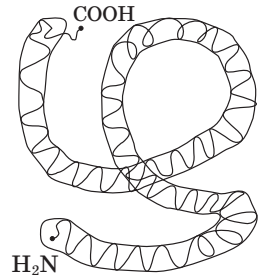


Рис. 10. Третичная структура белка

Простые и сложные белки. Белки могут быть простыми

и сложными. *Простые* белки состоят только из аминокислот, тогда как *сложные* белки (липопротеины, хромопротеины, гликопротеины, нуклеопротеины и др.) содержат белковую и небелковую части. *Хромопротеины* содержат окрашенную небелковую часть. К ним относятся гемоглобин, миоглобин, хлорофилл, цитохромы и др. Небелковой частью *липопротеинов* является липид, а *гликопротеинов* — углевод. Как липопротеины, так и гликопротеины входят в состав клеточных мембран. *Нуклеопротеины* представляют собой комплексы белков и нуклеиновых кислот (ДНК и РНК). Они выполняют важнейшие функции в процессах хранения и передачи наследственной информации.

Рис. 11. Четвертичная структура белка

Свойства белков. Многие белки хорошо растворимы в воде, однако есть среди них и такие, которые растворяются только в растворах солей, щелочей, кислот или органических растворителях. Структура молекулы белка и его функциональная активность зависят от условий окружающей среды. Утрата белковой молекулой своей структуры, вплоть до первичной, называется *денатурацией* (рис. 12).

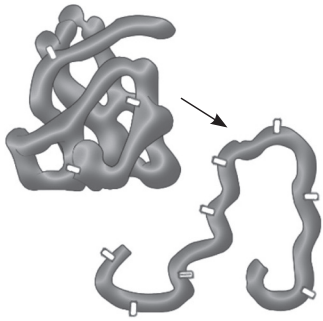


Рис. 12. Денатурация белка

Денатурация происходит вследствие изменения температуры, pH, атмосферного давления, под действием кислот, щелочей, солей тяжелых металлов, органических растворителей и т. п. Обратный процесс восстановления вторичной и более высоких структур называется *ренатурацией*, однако он не всегда возможен. Полное разрушение белковой молекулы называется *деструкцией*.

Функции белков. Белки выполняют в клетке ряд функций: пластическую (строительную), каталитическую (ферментативную), энергетическую, сигнальную (рецепторную), сократительную (двигательную), транспортную, защитную, регуляторную и запасающую.

Энергетическая ценность 1 г белка составляет 17,2 кДж. Белки-рецепторы мембран принимают активное участие в восприятии сигналов окружающей среды и их передаче по клетке. Без белков невозможно движение клеток и организмов в целом, так как они составляют основу жгутиков и ресничек, а также обеспечивают сокращение мышц и перемещение внутриклеточных компонентов. В крови человека и многих животных белок гемоглобин переносит кислород и часть углекислого газа, другие белки транспортируют ионы и электроны. Защитная роль белков связана, в первую очередь, с иммунитетом, поскольку белок интерферон способен уничтожать многие вирусы, а белки-антитела подавляют развитие бактерий и иных чужеродных агентов. Среди белков и пептидов немало гормонов, например, гормон поджелудочной железы инсулин, регулирующий концентрацию глюкозы в крови. У некоторых организмов белки

могут откладываться в запас, как в семенах бобовых, или белки куриного яйца.

Нуклеиновые кислоты

Нуклеиновые кислоты — это биополимеры, мономерами которых являются нуклеотиды. В настоящее время известно два типа нуклеиновых кислот: рибонуклеиновая (РНК) и дезоксирибонуклеиновая (ДНК).

Нуклеотид образован азотистым основанием, остатком сахара-пентозы и остатком ортофосфорной кислоты (рис. 13). Особенности нуклеотидов в основном определяются азотистыми основаниями, входящими в их состав, поэтому даже условно нуклеотиды обозначаются по первым буквам их названий. В состав нуклеотидов могут входить пять азотистых оснований: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т), урацил (У) и цитозин (Ц). Пентозы нуклеотидов — рибоза и дезоксирибоза — определяют, какой нуклеотид будет образован — рибонук-

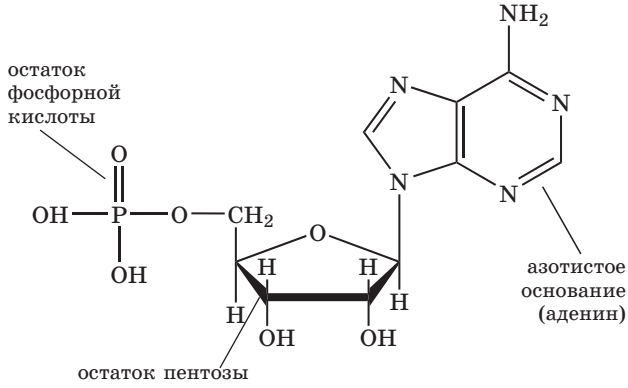


Рис. 13. Строение нуклеотида (на примере аденина)

леотид или дезоксирибонуклеотид. Рибонуклеотиды являются мономерами РНК, могут выступать в качестве сигнальных молекул (цАМФ) и входить в состав макроэргических соединений, например АТФ, и коферментов, таких как НАДФН + H^+, НАДН + H^+, $ФАДН_2$ и др., а дезоксирибонуклеотиды входят в состав ДНК.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) — двухцепочечный биополимер, мономерами которого являются дезоксирибонуклеотиды. В состав дезоксирибонуклеотидов входят только четыре азотистых основания из пяти возможных — *аденин* (А), *тимин* (Т), *гуанин* (Г) и *цитозин* (Ц), а также остатки дезоксирибозы и ортофосфорной кислоты. Нуклеотиды в цепи ДНК соединяются между собой через остатки ортофосфорной кислоты, образуя фосфодиэфирную связь. При образовании двухцепочечной молекулы азотистые основания направлены вовнутрь молекулы. Однако соединение цепей ДНК происходит не случайным образом — азотистые основания разных цепей соединяются между собой водородными связями по *принципу комплементарности*: аденин соединяется с тимином двумя водородными связями (А=Т), а гуанин с цитозином — тремя (Г≡Ц) (рис. 14). Для нее были установлены **правила Чаргаффа:**

1. Количество нуклеотидов ДНК, содержащих аденин, равно количеству нуклеотидов, содержащих тимин (А=Т), а количество нуклеотидов ДНК, содержащих

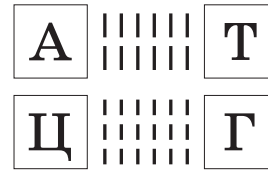


Рис. 14. Комплементарность нуклеотидов ДНК

гуанин, равно количеству нуклеотидов, содержащих цитозин (Г≡Ц).

2. Сумма дезоксирибонуклеотидов, содержащих аденин и гуанин, равна сумме дезоксирибонуклеотидов, содержащих тимин и цитозин (А + Г = Т + Ц).
3. Отношение суммы дезоксирибонуклеотидов, содержащих аденин и тимин, к сумме дезоксирибонуклеотидов, содержащих гуанин и цитозин, зависит от вида организмов.

Структура ДНК была расшифрована Ф. Криком и Д. Уотсоном. Согласно их модели третичная структура молекулы ДНК представляет собой правозакрученную двойную спираль (рис. 15). Расстояние между нуклеотидами в цепи ДНК равно 0,34 нм.

Рис. 15. Трехмерная модель строения молекулы ДНК

Основной функцией ДНК является хранение и передача наследственной информации, которая записана в виде последовательностей нуклеотидов. ДНК эукариотических клеток сосредоточена в ядре, митохондриях и пластидах, а прокариотических — находится прямо в цитоплазме. Ядерная ДНК является основой хромосом, она представлена незамкнутыми молекулами. ДНК митохондрий, пластид и прокариот имеет кольцевую форму.

Рибонуклеиновая кислота (РНК) — биополимер, моно-

мерами которого являются рибонуклеотиды. Они содержат также четыре азотистых основания — *аденин* (А), *урацил* (У), *гуанин* (Г) и *цитозин* (Ц), отличаясь тем самым от ДНК по одному из оснований (вместо тимина в РНК встречается урацил). Остаток сахара-пентозы в рибонуклеотидах представлен рибозой. РНК — в основном одноцепочечные молекулы, за исключением некоторых вирусных. Выделяют три основных типа РНК: информационные, или матричные (иРНК, мРНК), рибосомальные (рРНК) и транспортные (тРНК). Все они образуются в процессе *транскрипции* — переписывания с молекул ДНК.

иРНК составляют наименьшую фракцию РНК в клетке (2—4 %). Они являются матрицами для синтеза полипептидных цепей. Информация о структуре белка записана в них в виде последовательностей нуклеотидов, причем каждую аминокислоту кодирует триплет нуклеотидов — *кодон*.

рРНК представляют собой наиболее многочисленный тип РНК в клетке (до 80 %). Они образуются в ядрышках и входят в состав клеточных органоидов — *рибосом*.

тРНК — наименьшие из молекул РНК, так как содержат всего 73—85 нуклеотидов. Их доля от общего количества РНК клетки составляет около 16 %. Функция тРНК — транспорт аминокислот к месту синтеза белка (на рибосомы). Вторичная структура молекулы тРНК напоминает листок клевера. На одном из концов молекулы находится участок для прикрепления аминокислоты, а в одной из петель — триплет нуклеотидов, комплементарный кодону иРНК и определяющий, какую

именно аминокислоту будет переносить тРНК — *антикодон* (рис. 16).

Все типы РНК принимают активное участие в процессе реализации наследственной информации, которая с ДНК переписывается на иРНК, а на последней осуществляется синтез белка. тРНК в процессе синтеза белка доставляет аминокислоты к рибосомам, а рРНК входит в состав непосредственно рибосом.

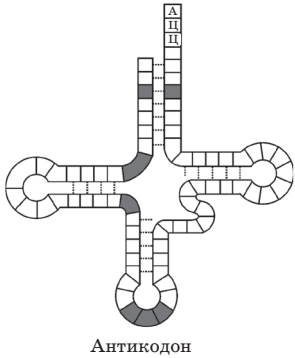


Рис. 16. Строение молекулы тРНК

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) — это нуклеотид, содержащий, помимо азотистого основания аденина и остатка рибозы, три остатка фосфорной кислоты (рис. 17). Связи между остатками фосфорной кислоты — *макроэргические* (при расщеплении выделяется 42 кДж/моль энергии, тогда как стандартная химическая связь при расщеплении дает 12 кДж/моль).

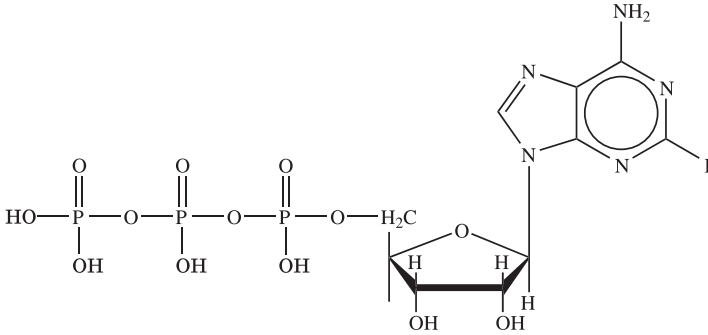


Рис. 17. Строение молекулы АТФ

При необходимости макроэргическая связь АТФ расщепляется с образованием аденозиндифосфорной кислоты (АДФ), фосфорного остатка и выделением энергии:

$$АТФ + H_2O \rightarrow АДФ + H_3PO_4 + 42 \text{ кДж}.$$

АДФ также может расщепляться с образованием АМФ (аденозинмонофосфорной кислоты) и остатка фосфорной кислоты:

$$АДФ + H_2O \rightarrow АМФ + H_3PO_4 + 42 \text{ кДж}.$$

В процессе энергетического обмена (при дыхании, брожении), а также в процессе фотосинтеза АДФ присоединяет фосфорный остаток и превращается в АТФ. Реакция восстановления АТФ называется *фосфорилированием*. АТФ является универсальным источником энергии для всех процессов жизнедеятельности живых организмов.

Типы клеток: прокариотические и эукариотические

Подавляющее большинство известных на сегодняшний день живых организмов (растения, животные, грибы и бактерии) имеет клеточное строение.

Форма клеток может быть округлой, цилиндрической, кубической, призматической, дисковидной, веретеновидной, звездчатой и др.

Несмотря на все разнообразие клеток, общий план строения для них един: все они содержат *наследственную информацию*, погруженную в *цитоплазму*, и окружающую клетку *плазматическую мембрану* (рис. 18). Снаружи от мембраны у клетки может быть еще клеточная стенка, со-

стоящая из различных веществ, которая служит для защиты клетки и является своего рода ее внешним скелетом.

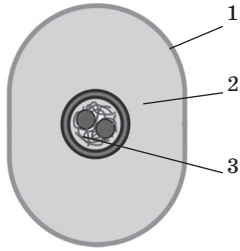


Рис. 18. Общий план строения клетки:
1 — плазматическая мембрана;
2 — цитоплазма;
3 — наследственная информация

В настоящее время различают два основных типа организации клеток: *прокариотические* и *эукариотические*.

Прокариотическая клетка не имеет ядра, ее наследственная информация не отделена от цитоплазмы мембранами.

Область цитоплазмы, в которой хранится наследственная информация в прокариотической клетке, называют *нуклеоидом*. Прокариотами являются бактерии.

Эукариотическая клетка — клетка, в которой хотя бы на одной из стадий развития имеется *ядро* — специальная структура, в которой находится ДНК.

К эукариотическим организмам относят растения, животные и грибы.

Размеры прокариотических клеток, как правило, на порядок меньше, чем размеры эукариотических. Большинство прокариот является одноклеточными организмами, а эукариоты — многоклеточными.

Строение эукариотической клетки

Строение биомембраны. Мембраны, ограничивающие клетки и мембранные органоиды эукариотических клеток, имеют общий химический состав и строение. В их состав входят липиды, бел-

ки и углеводы. Липиды мембраны представлены фосфолипидами, холестерином и гликолипидами. Большинство белков мембран относится к сложным белкам, например гликопротеинам. Углеводы не встречаются в мембране самостоятельно, они связаны с белками и липидами. Толщина мембран составляет 7—10 нм.

Согласно общепринятой в настоящее время *жидкостно-мозаичной модели* строения мембран (рис. 19), фосфолипиды образуют двойной слой, или *липидный бислой*, в котором гидрофильные «головки» молекул липидов обращены наружу, а гидрофобные «хвосты» спрятаны вовнутрь мембраны. Эти «хвосты» благодаря своей гидрофобности обеспечивают разделение водных фаз внутренней среды клетки и ее окружения. С липидами с помощью различных типов взаимодействия связаны белки. Часть белков расположена на поверхности мембраны. Такие белки называют *периферическими*, или *поверхностными*. Другие белки частично или полностью погружены в мембрану — это *интегральные*, или *погруженные*, *белки*.

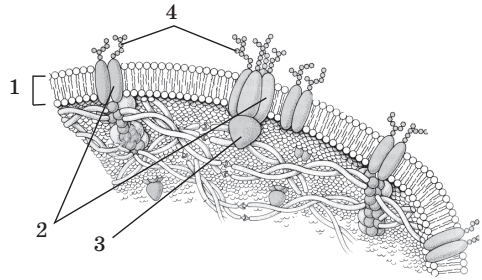


Рис. 19. Строение и функции плазматической мембраны:

1 — липидный бислой; 3 — периферический белок;
2 — интегральные белки; 4 — остатки углеводов

Биологические мембраны различаются по расположению в клетке, химическому составу и выполняемым функциям. Основные типы мембран — плазматические и внутренние. *Плазматическая мембрана* содержит около 45% липидов (в т. ч. гликолипидов), 50% белков и 5% углеводов. Цепочки углеводов, входящих в состав гликопротеинов и гликолипидов, выступают над поверхностью мембраны.

На поверхности животных клеток они образуют тонкий поверхностный слой — *гликокаликс*. Он обеспечивает непосредственную связь клетки с внешней средой, в нем происходит внеклеточное пищеварение. Клетки бактерий, растений и грибов, помимо плазмалеммы, окружены еще и клеточными оболочками.

Внутренние мембраны эукариотических клеток разграничивают различные части клетки, образуя своеобразные «отсеки» — *компартменты*, что способствует разделению различных процессов обмена веществ и энергии. Они могут различаться по химическому составу и выполняемым функциям, но общий план строения у них сохраняется.

Функции мембран. Биологическим мембранам приписывают многочисленные функции, основными из которых являются ограничивающая, барьерная, транспортная, рецепторная, каталитическая, энергетическая и образование межклеточных контактов.

Ограничивающая функция мембран заключается в том, что они отделяют внутреннее пространство клетки от внешней среды. Мембраны разграничивают также пространство внутри клетки, разделяя тем самым исходные вещества реакции и ферменты, которые могут осуществлять соответствующие реакции (*компартментализация*).

Мембрана является полупроницаемой, то есть ее свободно преодолевают только те вещества, которые необходимы клетке, при этом существуют механизмы транспорта необходимых веществ.

Рецепторная функция мембраны связана, в первую очередь, с восприятием сигналов окружающей среды и передачей этой информации вовнутрь клетки. За эту функцию отвечают специальные белки-рецепторы.

На мембранах расположены многочисленные ферментные комплексы, вследствие чего на них происходят интенсивные синтетические процессы (*каталитическая функция*).

Энергетическая функция мембран обусловлена образованием энергии, ее запасанием в виде АТФ и расходованием.

Мембранный транспорт. В связи с тем что клетки как элементарные биологические системы являются открытыми системами, для обеспечения обмена веществ и энергии, поддержания гомеостаза, роста, раздражимости и других процессов требуется перенос веществ через мембрану — мембранный транспорт (рис. 20). В настоящее время транспорт веществ через мембрану клетки делят на активный, пассивный, эндо- и экзоцитоз.

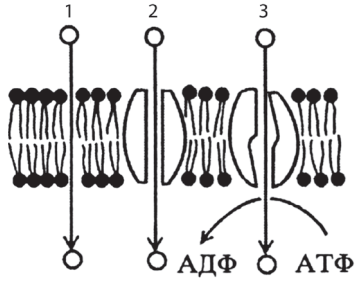


Рис. 20. Мембранный транспорт:

1 — простая диффузия;
2 — облегченная диффузия;
3 — активный транспорт (натрий-калиевый насос)

Пассивный транспорт — это вид транспорта, который происхо-

дит без затраты энергии, от большей концентрации к меньшей. Растворимые в липидах и незаряженные молекулы (O_2, CO_2) легко проникают в клетку путем *простой диффузии*. Нерастворимые же в липидах, в том числе заряженные небольшие частицы, подхватываются белками-переносчиками или проходят через специальные каналы (глюкоза, аминокислоты, K^+, PO_4^{3-}). Такой вид пассивного транспорта называется *облегченной диффузией*. Вода поступает в клетку по специальным белковым каналам. Транспорт воды через мембрану называется *осмосом* (рис. 21).

Осмос имеет чрезвычайно важное значение в жизни клетки, так как если ее поместить в раствор с более высокой концентрацией солей, чем в клеточном растворе, то вода начнет выходить из клетки, и объем живого содержимого начнет уменьшаться. У животных клеток происходит съеживание клетки в целом, а у растительных — отставание цитоплазмы от клеточной стенки, которое называется *плазмолизом* (рис. 22). При помещении клетки в менее концентрированный, чем цитоплазма, раствор, транспорт воды происходит

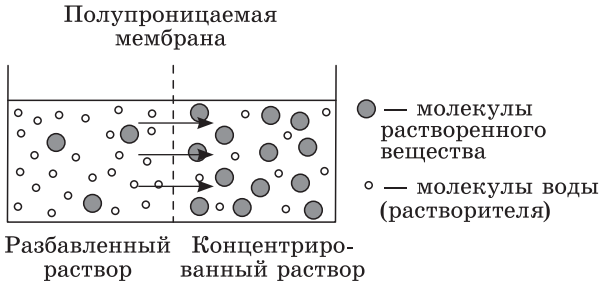


Рис. 21. Осмос

в обратном направлении — в клетку. Однако существуют пределы растяжимости цитоплазматической мембраны, и животная клетка в конце концов разрывается, а у растительной этого не позволяет сделать прочная клеточная стенка. Явление заполнения содержимым плазмолизированной клетки всего внутреннего пространства клетки вследствие поступления воды, называется *деплазмолизом*.

Активный транспорт протекает с затратой энергии АТФ, от меньшей концентрации вещества к большей. Он осуществляется с помощью специальных белков-насосов, или АТФаз. Белки перекачивают через мембрану ионы K^+, Na^+ и Ca^{2+}, что способствует транспорту важнейших органических веществ, а также возникновению нервных импульсов.

Эндоцитоз — это активный процесс поглощения веществ клеткой, при котором мембрана образует впячивания, а затем формирует мембранные пузырьки — *фагосомы*, в которых заключены поглощаемые объекты. Затем с фагосомой сливается

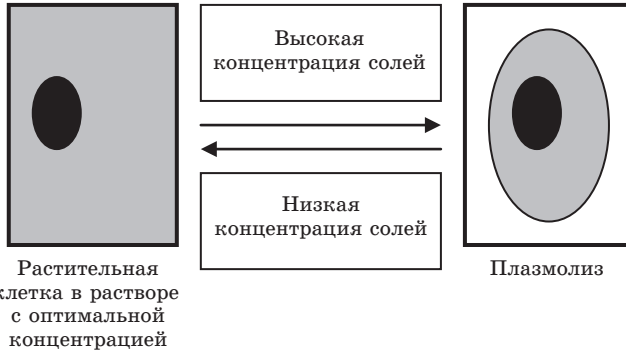


Рис. 22. Плазмолиз

первичная лизосома, и образуется *вторичная лизосома*, или *фаголизосома*, или *пищеварительная вакуоль*. Содержимое пузырька расщепляется ферментами лизосом, а продукты расщепления поглощаются и усваиваются клеткой. Непереваренные остатки удаляются из клетки путем экзоцитоза. Различают два основных вида эндоцитоза: фагоцитоз и пиноцитоз.

Фагоцитоз — это процесс захвата клеточной поверхностью и поглощения клеткой твердых частиц, а *пиноцитоз* — жидкости. Фагоцитоз протекает в основном в животных клетках (одноклеточные животные, лейкоциты человека), он обеспечивает их питание, а часто и защиту организма. Путем пиноцитоза происходит поглощение белков, комплексов антиген-антитела в процессе иммунных реакций и т. д. Однако путем пиноцитоза или фагоцитоза в клетку также попадают многие вирусы. В клетках растений и грибов фагоцитоз практически невозможен, так как они окружены прочными клеточными оболочками.

Фагоцитоз был открыт великим русским ученым И.И. Мечниковым в 1882 году.

Экзоцитоз — процесс, обратный эндоцитозу. Таким образом выделяются непереваренные остатки пищи из пищеварительных вакуолей, выводятся необходимые для жизнедеятельности клетки и организма в целом вещества. Например, передача нервных импульсов происходит благодаря выделению посылающим импульс нейроном химических посредников — *медиаторов*, а в растительных клетках так выделяются вспомогательные углеводы клеточной оболочки.

Клеточные оболочки клеток растений, грибов и бактерий. Снаружи от мембраны клетка может выделять прочный каркас — *клеточную оболочку*, или *клеточную стенку*.

У растений основу клеточной оболочки составляет *целлюлоза*, упакованная в пучки по 50—100 молекул. Промежутки между ними заполняют другие углеводы и вода. Оболочка растительной клетки пронизана каналами — *плазмодесмами*, через которые проходят мембраны эндоплазматической сети. По плазмодесмам осуществляется транспорт веществ между клетками. Однако транспорт веществ, например воды, может происходить и по самим клеточным стенкам. Со временем в клеточной оболочке растений накапливаются различные вещества, в том числе дубильные или жироподобные, что приводит к одревеснению или опробковению самой клеточной стенки, вытеснению воды и отмиранию клеточного содержимого. Между клеточными стенками соседних клеток растений располагаются желеобразные прокладки — срединные пластинки, которые скрепляют их между собой и цементируют тело растения в целом. Они разрушаются только в процессе созревания плодов и при опадании листьев.

ЗАПОМНИ

Основу клеточной оболочки растений составляет целлюлоза, грибов — хитин, бактерий — муреин.

Клеточные стенки клеток грибов образованы *хитином* — углеводом, содержащим азот. Они достаточно прочны и являются внешним скелетом клетки, но все же, как и у растений, препятствуют фагоцитозу.

У бактерий в состав клеточной стенки входит углевод с фрагментами пептидов — *муреин*, одна-

ко его содержание существенно различается у разных групп бактерий.

Оболочка определяет форму клетки, служит механической опорой, выполняет защитную функцию, обеспечивает осмотические свойства клетки, ограничивая растяжение живого содержимого и предотвращая разрыв клетки, увеличивающейся вследствие поступления воды. Кроме того, клеточную стенку преодолевают вода и растворенные в ней вещества.

Цитоплазма — это внутреннее содержимое клетки. В нее погружены все органоиды клетки, ядро и разнообразные продукты жизнедеятельности.

Цитоплазма связывает все части клетки между собой, в ней протекают многочисленные реакции обмена веществ.

Жидкая часть цитоплазмы без органоидов называется *гиалоплазмой*. Гиалоплазма, или цитозоль, представляет собой коллоидный раствор, в котором находится своеобразная взвесь достаточно крупных частиц, например белков, окруженных диполями молекул воды.

Органоиды — это постоянные компоненты клетки, выполняющие определенные функции.

В зависимости от особенностей строения органоиды делят на *двухмембранные* (митохондрии и пластиды), *одномембранные* (эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосомы и вакуоли) и *немембранные* (рибосомы, микротрубочки, микрофиламенты и клеточный центр), а также *органоиды* движения (жгутики, реснички и псевдоподии).

Митохондрии — двумембранные органоиды округлой, овальной или палочковидной формы.

Диаметр митохондрий составляет до 1 мкм, а длина — до 7 мкм. Пространство внутри митохондрий заполнено матриксом. *Матрикс* — это основное вещество митохондрий. В него погружены кольцевая молекула ДНК и рибосомы. Наружная мембрана митохондрий гладкая. Внутренняя мембрана имеет выросты — *кристы*, увеличивающие площадь поверхности мембран для протекания химических реакций (рис. 23). В митохондриях протекает аэробный этап дыхания, в ходе которого происходит синтез АТФ.

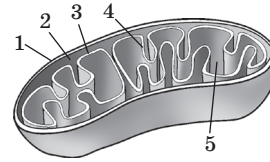


Рис. 23. Строение митохондрии:
1 — внешняя мембрана;
2 — межмембранное пространство;
3 — внутренняя мембрана;
4 — криста;
5 — матрикс

Пластиды — крупные двумембранные органоиды, характерные только для растительных клеток. Внутреннее пространство пластид заполнено *стромой*, или *матриксом*. В строме находится более или менее развитая система мембранных пузырьков — *тилакоидов*, которые собраны в стопки — *граны*, а также собственная кольцевая молекула ДНК и рибосомы. Различают три основных типа пластид: хлоропласты, хромопласты и лейкопласты.

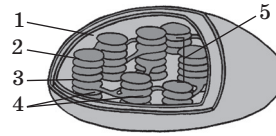


Рис. 24. Строение хлоропласта:
1 — внешняя мембрана;
2 — внутренняя мембрана;
3 — строма;
4 — тилакоиды;
5 — грана

Хлоропласты — это зеленые пластиды диаметром 3—10 мкм, хорошо различимые под микроскопом (рис. 24). Окраска хлоропла-

стов обусловлена основным пигментом фотосинтеза — *хлорофиллом*, их *каротиноиды* становятся заметными только осенью, когда хлорофилл в стареющих листьях разрушается. Основной функцией хлоропластов является фотосинтез.

Хромопласты — это желтые, оранжевые и красные пластиды, содержащие каротиноиды. Хромопласты придают окраску цветкам и плодам растений, привлекая опылителей и распространителей семян и плодов.

Лейкопласты — это белые или бесцветные пластиды. Они распространены в нефотосинтезирующих частях растений, например в кожице листа, клубнях картофеля и т. д. В них откладываются в запас питательные вещества, чаще всего крахмал.

Пластиды и митохондрии называют полуавтономными органоидами клетки, так как они имеют собственные молекулы ДНК и рибосомы, осуществляют синтез белка и делятся независимо от деления клеток.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), или **эндоплазматический ретикулум** (ЭР), — это одномембранный органоид, представляющий собой трехмерную сеть мембранных полостей — цистерн и канальцев. Различают два вида ЭПС — шероховатую и гладкую. *Шероховатая ЭПС* несет рибосомы, на ней происходит синтез белков (рис. 25). *Гладкая ЭПС* лишена рибосом. Ее функ-

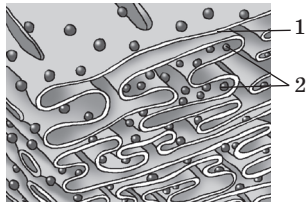


Рис. 25. Строение шероховатой эндоплазматической сети:
1 — мембрана;
2 — рибосомы

ция — синтез липидов и углеводов, образование лизосом, а также транспорт, запасание и обезвреживание токсических веществ. Вещества, синтезированные в ЭПС, транспортируются в аппарат Гольджи. В ЭПС происходит также сборка мембран клетки, однако их формирование завершается в аппарате Гольджи.

Аппарат (или **комплекс**) **Гольджи** — одномембранный органоид, образованный системой плоских цистерн, канальцев и отшнуровывающихся от них пузырьков (рис. 26). Структурной единицей аппарата Гольджи является *диктиосома* — стопка цистерн, на один полюс которой приходят вещества из ЭПС, а с противоположного полюса, подвергшись определенным превращениям, они упаковываются в пузырьки и направляются в другие части клетки. Основные функции комплекса Гольджи — синтез некоторых веществ и модификация (изменение) белков, липидов и углеводов, поступающих из ЭПС, окончательное формирование мембран, а также транспорт веществ по клетке, обновление ее структур и образование лизосом и вакуолей.

Лизосомы — небольшие одномембранные органоиды до 1 мкм в диаметре, в которых содержатся гидролитические ферменты, участвующие во внутриклеточном пищеварении. Так, они принимают активное участие в процессе фагоцитоза, образуя пищеварительные вакуоли, а в случае голодания или

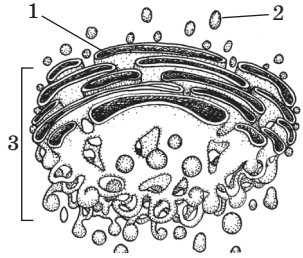


Рис. 26. Строение аппарата Гольджи:
1 — цистерна;
2 — пузырек;
3 — диктиосома

повреждения определенных частей клетки переваривают их, не затрагивая иных.

Вакуоль — это полость в цитоплазме растительных и животных клеток, ограниченная мембраной и заполненная жидкостью. В клетках простейших обнаруживаются пищеварительные и сократительные вакуоли. Первые принимают участие в процессе фагоцитоза, так как в них происходит расщепление питательных веществ. Вторые обеспечивают поддержание водно-солевого баланса за счет осморегуляции. У многоклеточных животных в основном встречаются пищеварительные вакуоли.

В растительных клетках вакуоли присутствуют всегда, они окружены специальной мембраной и заполнены клеточным соком.

Клеточный сок представляет собой водный раствор различных неорганических и органических веществ, в том числе минеральных солей, органических кислот, углеводов, белков, гликозидов, алкалоидов и др. Вакуоль может занимать до 90% объема клетки и оттеснять ядро на периферию. Эта часть клетки выполняет запасающую, выделительную, осмотическую, защитную, лизосомную и другие функции, поскольку в ней накапливаются питательные вещества и отходы жизнедеятельности, она обеспечивает поступление воды и поддержание формы и объема клетки, а также содержит ферменты расщепления многих компонентов клетки. К тому же биологически активные вещества вакуолей способны препятствовать поеданию этих растений многими животными. У ряда растений за счет разбухания вакуолей происходит рост клетки растяжением.

Рибосомы — небольшие немембранные органоиды, состоящие из двух субъединиц — большой

и малой (рис. 27). Субъединицы рибосом эукариот собираются в ядрышке, а затем транспортируются в цитоплазму. Рибосомы прокариот, митохондрий и пластид меньше по величине, чем рибосомы эукариот. В состав субъединиц рибосом входят рРНК и белки.

Количество рибосом к клетке может достигать нескольких десятков миллионов: в цитоплазме, митохондриях и пластидах они находятся в свободном состоянии, а на шероховатой ЭПС — в связанном. Они принимают участие в синтезе белка, в частности, осуществляют процесс трансляции — биосинтеза полипептидной цепи на молекуле иРНК.

Рибосомы могут находиться в гиалоплазме поодиночке или собираться в группы при одновременном синтезе на одной иРНК сразу нескольких полипептидных цепей. Такие группы рибосом называются *полирибосомами*, или *полисомами*.

Микротрубочки — это цилиндрические полые немембранные органоиды, которые пронизывают всю цитоплазму клетки. Они образованы многочисленными молекулами белка *тубулина*. Микротрубочки образуют цитоплазматическую сеть, которая придает клетке форму и объем, связывают плазматическую мембрану с другими частями клетки, обеспечивают транспорт веществ по клетке, принимают участие в движении клетки и внутриклеточных компонентов,

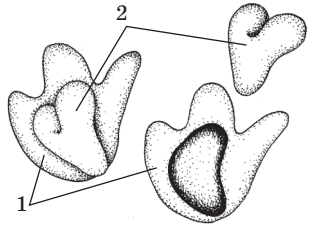


Рис. 27. Строение рибосомы:
1 — большая субъединица;
2 — малая субъединица

а также в делении генетического материала. Они входят в состав клеточного центра и органоидов движения — жгутиков и ресничек.

Микрофиламенты, или **микронити**, также являются немембранными органоидами, однако они имеют нитевидную форму и образованы не тубулином, а *актином*. Они принимают участие в процессах мембранного транспорта, межклеточном узнавании, делении цитоплазмы клетки и в ее движении. В мышечных клетках взаимодействие актиновых микрофиламентов с миозиновыми нитями обеспечивает сокращение.

Микротрубочки и микрофиламенты образуют внутренний скелет клетки — **цитоскелет**. Он представляет собой сложную сеть волокон, обеспечивающих механическую опору для плазматической мембраны; определяет форму клетки, расположение клеточных органоидов и их перемещение в процессе деления клетки.

Клеточный центр — немембранный органоид, располагающийся в животных клетках вблизи ядра: в растительных клетках он отсутствует (рис. 28). Клеточный центр образован двумя *центриолями*, лежащими во взаимно перпендикулярных плоскостях, и *лучистой сферой* из микротрубочек. Каждая центриоль образована девятью группами микротрубочек, собранных по три, то есть триплетами. Клеточный центр принимает участие в процессах сборки

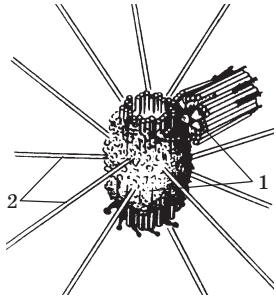


Рис. 28. Строение клеточного центра:
1 — центриоли;
2 — микротрубочки

микротрубочек, делении наследственного материала клетки, а также в образовании жгутиков и ресничек.

Органоиды движения. *Жгутики* и *реснички* представляют собой выросты клетки, покрытые плазмалеммой. Основу этих органоидов составляют девять пар микротрубочек, расположенных по периферии, и две свободные микротрубочки в центре. Микротрубочки связаны между собой различными белками, обеспечивающими их согласованное отклонение от оси — колебание. Колебания энергозависимы, то есть на этот процесс тратится энергия макроэргических связей АТФ. В основании жгутиков и ресничек лежат базальные тельца, которые обеспечивают возобновление утраченных органоидов движения. По структуре базальные тельца напоминают центриоли.

Длина ресничек составляет около 10—15 нм, а жгутиков — 20÷50 мкм. За счет строго направленных движений жгутиков и ресничек осуществляется не только движение одноклеточных животных, сперматозоидов и др., но и происходит очистка дыхательных путей, продвижение яйцеклетки по маточным трубам, поскольку все эти части организма человека выстланы реснитчатым эпителием.

Включения — это непостоянные компоненты клетки, которые образуются и исчезают в процессе ее жизнедеятельности. К ним относят как запасные вещества (например, зерна крахмала или белка в растительных клетках, гранулы гликогена в клетках животных и грибов, волютина у бактерий, капли жира во всех типах клеток), так и отходы жизнедеятельности, в частности,

непереваренные в результате фагоцитоза остатки пищи, образующие так называемые остаточные тельца.

Ядро — крупный двумембранный органоид, лежащий в центре клетки или на ее периферии. Размеры ядра могут колебаться в пределах 3—5 мкм. Форма ядра чаще сферическая или эллипсоидная.

Большинство клеток имеет одно ядро. Исключение составляют безъядерные эритроциты и ситовидные клетки флоэмы.

Ядро окружено *ядерной оболочкой*, а его внутреннее пространство заполнено *ядерным соком*, или *нуклеоплазмой* (*кариоплазмой*), в которую погружены *хроматин* и *ядрышко*. Ядро выполняет такие важнейшие функции, как хранение и передача наследственной информации, а также контроль жизнедеятельности клетки (рис. 29).

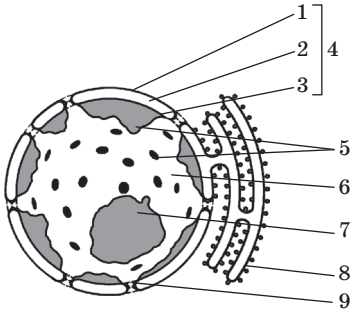


Рис. 29. Строение ядра:
1 — внешняя мембрана;
2 — межмембранное пространство;
3 — внутренняя мембрана;
4 — ядерная оболочка;
5 — гетерохроматин;
6 — эухроматин;
7 — ядрышко;
8 — шероховатая эндоплазматическая сеть;
9 — ядерная пора

Ядерная оболочка образована двумя мембранами — наружной и внутренней, между которыми есть пространство. Ядерная оболочка пронизана многочисленными порами. Через поры происходит транспорт веществ в ядро и из него. Таким образом, функциями ядерной оболочки являются отделение

содержимого ядра от цитоплазмы, а также регуляция обмена веществ между ядром и цитоплазмой.

Нуклеоплазмой называют содержимое ядра, в которое погружены хроматин и ядрышко. Она представляет собой коллоидный раствор, по химическому составу напоминающий гиалоплазму. Функции нуклеоплазмы состоят в обеспечении взаимосвязи всех структурных компонентов ядра и осуществлении ряда ферментных реакций.

Хроматином называют совокупность тонких нитей и гранул, погруженных в нуклеоплазму. Он представляет собой структурное видоизменение хромосом в неделящемся ядре.

Функции хроматина состоят, во-первых, в синтезе специфических для данного организма нуклеиновых кислот, которые направляют синтез специфических белков, и, во-вторых, в передаче наследственных свойств от материнской клетки дочерним, для чего хроматиновые нити в процессе деления упаковываются в хромосомы.

Ядрышко — сферическое, хорошо заметное под микроскопом тельце диаметром 1—3 мкм. Функции ядрышка — синтез рРНК и сборка субъединиц рибосом путем объединения рРНК с белками, поступающими из цитоплазмы.

Хромосомы. Кариотип

Хромосома — это структура клеточного ядра, которая содержит гены и несет определенную наследственную информацию о признаках и свойствах организма.

Основой хромосомы является двухцепочечная молекула ДНК, упакованная с белками. Лучше всего хромосомы видны под световым микроскопом в процессе деления клетки, когда они в результате уплотнения приобретают вид палочковидных телец, разделенных первичной перетяжкой — *центромерой* — на *плечи*. На хромосоме может быть также и *вторичная перетяжка*, которая в некоторых случаях отделяет от основной части хромосомы так называемый *спутник*. В начале деления хромосомы удвоены и состоят из двух дочерних хромосом — *хроматид*, скрепленных в центромере (рис. 30).

Хромосомы человека делятся на две группы: *аутосомы* и *половые хромосомы* (*гетерохромосомы*). Аутосом в соматических клетках человека насчитывается 22 пары, они одинаковы для мужчин и женщин, а половых хромосом только одна пара, но именно она определяет пол особи. Существует два вида половых хромосом — X и Y. Клетки тела женщины несут по две X-хромосомы, а мужчин — X и Y.

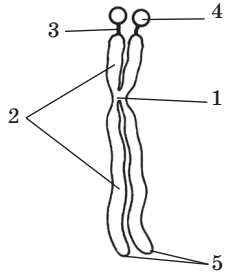


Рис. 30. Строение хромосомы:
1 — центромера;
2 — плечи;
3 — вторичная перетяжка;
4 — спутник

Кариотип — это совокупность признаков хромосомного набора организма (число хромосом, их форма и величина).

Условная запись кариотипа включает общее количество хромосом, половые хромосомы и возможные отклонения в наборе хромосом. Например,

кариотип нормального мужчины записывается как 46, XY, а кариотип нормальной женщины — 46, XX.

Клетки многоклеточных организмов можно разделить на соматические и половые.

Соматические клетки — это все клетки тела, образующиеся в результате митотического деления.

Изучение хромосом позволило установить, что для соматических клеток организма каждого биологического вида характерно постоянное число хромосом. Например, у человека их 46. Набор хромосом соматических клеток называют *диплоидным* ($2n$), или *двойным*.

Половые клетки, или **гаметы**, — это специализированные клетки, служащие для полового размножения.

В гаметах содержится всегда вдвое меньше хромосом, чем в соматических клетках (у человека — 23), поэтому набор хромосом половых клеток называется *гаплоидным* (n), или *одинарным*. Его образование связано с мейотическим делением клетки.

Количество ДНК соматических клеток обозначается как $2c$, а половых — $1c$. Генетическая формула соматических клеток записывается как $2n2c$, а половых — $1n1c$.

В ядрах некоторых соматических клеток количество хромосом может отличаться от их количества в соматических клетках. Если это различие больше на один, два, три и т. д. гаплоидных набора, то такие клетки называют *полиплоидными*.

Сравнительная характеристика строения клеток растений, животных, бактерий и грибов

Кроме характерных для прокариот и эукариот особенностей, клетки растений, животных, грибов и бактерий обладают еще целым рядом особенностей. Так, клетки растений содержат специфические органоиды — *хлоропласты*, которые обусловливают их способность к фотосинтезу, тогда как у остальных организмов эти органоиды не встречаются.

Растительные клетки, как правило, содержат крупные вакуоли, наполненные клеточным соком. В клетках животных, грибов и бактерий они также встречаются, но имеют совершенно иное происхождение и выполняют другие функции. Основным запасным веществом, встречающимся в виде твердых включений, у растений является крахмал, у животных и грибов — гликоген, а у бактерий — волютин.

Еще одним отличительным признаком этих групп организмов является организация поверхностного аппарата: у клеток животных организмов клеточная стенка отсутствует, их плазматическая мембрана покрыта лишь тонким гликокаликсом, тогда как у всех остальных она есть. Это целиком объяснимо, поскольку способ питания животных связан с захватом пищевых частиц в процессе фагоцитоза, а наличие клеточной стенки лишило бы их данной возможности. Химическая природа вещества, входящего в состав клеточной стенки, неодинакова у различных групп живых организмов: если у растений это целлюлоза, то у грибов — хитин, а у бактерий — муреин.

Обмен веществ и превращения энергии. Ферменты

Клетку можно уподобить миниатюрной химической фабрике, на которой происходят сотни и тысячи химических реакций.

Обмен веществ — совокупность химических превращений, направленных на сохранение и самовоспроизведение биологических систем.

Он включает в себя поступление веществ в организм в процессе питания и дыхания, внутриклеточный обмен веществ, или *метаболизм*, а также выделение конечных продуктов обмена.

Метаболизм складывается из двух одновременно протекающих в клетке процессов: пластического и энергетического обменов.

Пластический обмен (анаболизм, ассимиляция) представляет собой совокупность реакций синтеза, которые идут с затратой энергии АТФ. В процессе пластического обмена синтезируются органические вещества, необходимые клетке. Примерами реакций пластического обмена являются фотосинтез, биосинтез белка и репликация (самоудвоение) ДНК.

Энергетический обмен (катаболизм, диссимиляция) — это совокупность реакций расщепления сложных веществ до более простых. В результате энергетического обмена выделяется энергия, запасаемая в виде АТФ. Наиболее важными процессами энергетического обмена являются дыхание и брожение.

Пластический и энергетический обмены неразрывно связаны, поскольку в процессе пластического обмена синтезируются органические вещества

и для этого необходима энергия АТФ, а в процессе энергетического обмена органические вещества расщепляются и высвобождается энергия, которая затем будет израсходована на процессы синтеза.

Энергию организмы получают в процессе питания, а высвобождают ее и переводят в доступную форму в основном в процессе дыхания.

Протекание химических реакций в живых организмах обеспечивается благодаря биологическим катализаторам белковой природы — *ферментам*, или *энзимам*. Как и другие катализаторы, ферменты ускоряют протекание химических реакций в клетке в десятки и сотни тысяч раз, а иногда и вообще делают их возможными, но не изменяют при этом ни природы, ни свойств конечного продукта (продуктов) реакции и не изменяются сами. Ферменты могут быть как простыми, так и сложными белками, в состав которых, кроме белковой части, входит и небелковая — *кофактор* (*кофермент*). Примерами ферментов являются амилаза слюны, расщепляющая полисахариды при длительном пережевывании, и пепсин, обеспечивающий переваривание белков в желудке.

Ферменты отличаются от катализаторов небелковой природы высокой специфичностью действия, а также возможностью регуляции действия за счет изменения условий протекания реакции либо взаимодействия с ними различных веществ. К тому же и условия, в которых протекает ферментный катализ, существенно отличаются от тех, при которых идет неферментный: оптимальной для функционирования ферментов в организме человека является температура 37 °С, а давление должно быть близким к атмосферному.

Механизм действия ферментов заключается в снижении энергии активации веществ (субстратов), вступающих в реакцию, за счет образования промежуточных фермент-субстратных комплексов (рис. 31).

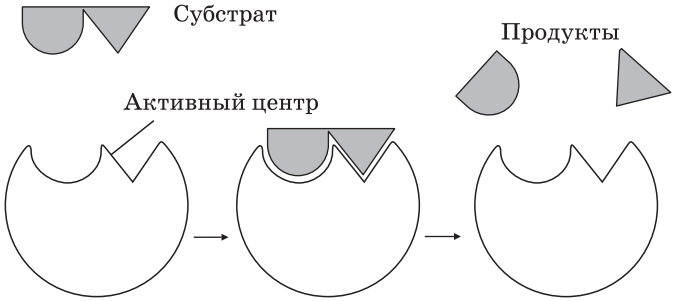


Рис. 31. Схема действия ферментов

Стадии энергетического обмена

Несмотря на всю сложность реакций энергетического обмена, его условно подразделяют на три этапа: подготовительный, анаэробный (бескислородный) и аэробный (кислородный).

На *подготовительном этапе* молекулы полисахаридов, липидов, белков, нуклеиновых кислот распадаются на более простые, например глюкозу, глицерин и жирные кислоты, аминокислоты, нуклеотиды и др. Этот этап может протекать непосредственно в клетках либо в кишечнике, откуда расщепленные вещества доставляются с током крови.

Анаэробный этап энергетического обмена сопровождается дальнейшим расщеплением мономеров органических соединений до еще более простых

промежуточных продуктов, например пировиноградной кислоты, или пирувата. Он не требует присутствия кислорода, и протекает в цитоплазме.

Бескислородному расщеплению могут подвергаться различные вещества, однако довольно часто субстратом реакций оказывается глюкоза. Процесс ее бескислородного расщепления называется *гликолизом*. При гликолизе молекула глюкозы теряет четыре атома водорода, то есть окисляется, при этом образуются две молекулы пировиноградной кислоты, две молекулы АТФ и две молекулы восстановленного переносчика водорода НАДН + H^+:

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_3PO_4 + 2АДФ + 2НАД \rightarrow 2C_3H_4O_3 + \\ + 2АТФ + 2НАДН + H^+ + 2H_2O.$$

Аэробный этап энергетического обмена может происходить только в присутствии кислорода, при этом промежуточные соединения, образовавшиеся в процессе бескислородного расщепления, окисляются до конечных продуктов (углекислого газа и воды) и выделяется большая часть энергии, запасенной в химических связях органических соединений. Она переходит в энергию макроэргических связей 36 молекул АТФ. Этот этап также называется *тканевым дыханием*. В случае отсутствия кислорода промежуточные соединения превращаются в другие органические вещества, и этот процесс называется *брожением*.

Дыхание

Механизм клеточного дыхания схематически изображен на рис. 32.

Аэробное дыхание происходит в митохондриях, при этом пировиноградная кислота сначала утрачивает один атом углерода, что сопровождается синтезом одного восстановительного эквивалента НАДН + + H^+ и молекулы ацетилкофермента А (ацетил-КоА):

$$C_3H_4O_3 + НАД + H\text{~}КоА \rightarrow CH_3CO\text{~}КоА + НАДН + H^+ + CO_2\uparrow.$$

Ацетил-КоА в матриксе митохондрий вовлекается в цепь химических реакций, совокупность которых называется *циклом Кребса*. В ходе этих превращений образуется две молекулы АТФ, ацетил-КоА полностью окисляется до углекислого газа, а его ионы водорода и электроны присоединяются к переносчикам водорода НАДН + H^+ и $ФАДН_2$. Переносчики транспортируют протоны водорода и электроны к внутренним мембранам митохондрий, образующим кристы. При помощи белков-переносчиков протоны водорода нагнетаются в межмембранное пространство, а электроны передаются по так называемой дыхательной цепи ферментов, расположенной на внутренней мембране митохондрий, и сбрасываются на атомы кислорода:

$$O_2 + 2e^- \rightarrow O_2^-$$

Следует отметить, что некоторые белки дыхательной цепи содержат железо и серу.

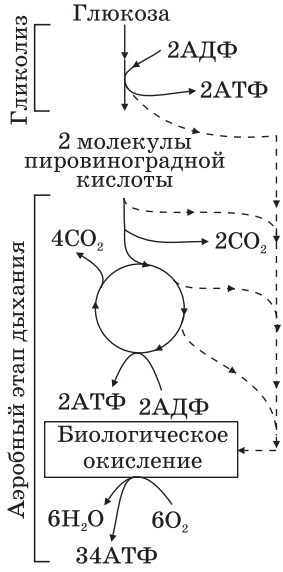


Рис. 32. Схема дыхания

Из межмембранного пространства протоны водорода транспортируются обратно в матрикс митохондрий с помощью специальных ферментов — АТФ-синтаз, а выделяющаяся при этом энергия расходуется на синтез 34 молекул АТФ из каждой молекулы глюкозы. Этот процесс называется *окислительным фосфорилированием*. В матриксе митохондрий протоны водорода реагируют с радикалами кислорода с образованием воды:

$$4H^+ + O_2^- \rightarrow 2H_2O.$$

Совокупность реакций кислородного этапа дыхания может быть выражена следующим образом:

$$2C_3H_4O_3 + 6O_2 + 36H_3PO_4 + 36АДФ \rightarrow 6CO_2\uparrow + \\ + 38H_2O + 36АТФ.$$

Суммарное уравнение дыхания выглядит таким образом:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38H_3PO_4 + 38АДФ \rightarrow 6CO_2\uparrow + \\ + 40H_2O + 38АТФ.$$

Брожение

В отсутствие кислорода или при его недостатке происходит брожение. Брожение является эволюционно более ранним способом получения энергии, чем дыхание, однако оно энергетически менее выгодно, поскольку в результате брожения образуются все еще богатые энергией органические вещества. Различают несколько основных видов брожения: молочнокислое, спиртовое, уксуснокислое и др. Так, в скелетных мышцах в отсутствие кислорода в ходе брожения пировиноградная кислота восстанавливается до молочной кислоты, при

этом образовавшиеся ранее восстановительные эквиваленты расходуются и остается всего две молекулы АТФ:

$$2C_3H_4O_3 + 2НАДН + H^+ \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2НАД.$$

При брожении с помощью дрожжевых грибов пировиноградная кислота в присутствии кислорода превращается в этиловый спирт и оксид углерода (IV):

$$C_3H_4O_3 + H_3PO_4 + АДФ + НАДН + H^+ \rightarrow C_2H_5OH + \\ + CO_2\uparrow + АТФ + H_2O + НАД^+.$$

При брожении с помощью микроорганизмов из пировиноградной кислоты могут образоваться также уксусная, масляная, муравьиная кислоты и др.

Фотосинтез

Фотосинтез — это процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических соединений с участием хлорофилла. В фотосинтезе различают световые и темновые реакции.

Световая фаза фотосинтеза (рис. 33) протекает на мембранах тилакоидов, несущих несколько типов белковых

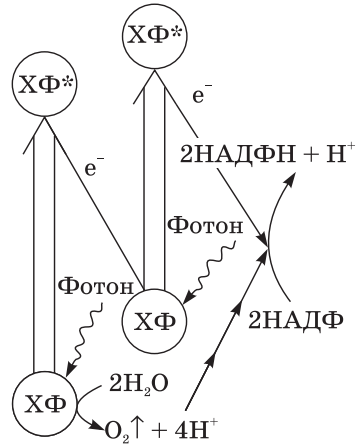


Рис. 33. Световая фаза фотосинтеза

комплексов, основными из которых являются фотосистемы I и II, а также АТФ-синтаза. В состав фотосистем входят пигментные комплексы, в которых, кроме хлорофилла, присуствуют и каротиноиды.

Кроме пигментных комплексов, фотосистемы включают и ряд белков-акцепторов электронов, которые последовательно передают друг другу электроны от молекул хлорифилла. Последовательность этих белков называется *электронтранспортной цепью хлоропластов*.

С фотосистемой II также ассоциирован кислородвыделяющий белковый комплекс.

В световой фазе кванты света, или фотоны, попадающие на молекулы хлорофилла, расположенные на мембранах тилакоидов, переводят их в возбужденное состояние, характеризующееся более высокой энергией электронов. При этом возбужденные электроны от хлорофилла фотосистемы I передаются через цепь посредников на переносчик водорода НАДФ, присоединяющий при этом протоны водорода, всегда имеющиеся в водном растворе:

$$\text{НАДФ} + 2e^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{НАДФН} + \text{H}^+.$$

Электроны от хлорофилла фотосистемы II также передаются по электронтранспортной цепи, однако они заполняют «электронные дырки» хлорофилла фотосистемы I. Недостаток электронов в хлорофилле фотосистемы II заполняется за счет отнимания у молекул воды, которое происходит с участием уже упоминавшегося выше кислородвыделяющего комплекса. В результате разложения молекул воды, которое называется *фотолизом*, образуются протоны водорода и выделяется

молекулярный кислород, являющийся побочным продуктом фотосинтеза:

$$H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2\uparrow$$

Протоны водорода, накопившиеся в полости тилакоида в результате фотолиза воды и нагнетания при переносе электронов по электронтранспортной цепи, вытекают из тилакоида через канал в мембранном белке — АТФ-синтазе, при этом из АДФ синтезируется АТФ. Данный процесс называется *фотофосфорилированием*. Образовавшаяся в световых реакциях АТФ впоследствии будет использована в темновых реакциях.

Суммарное уравнение реакций световой фазы фотосинтеза можно записать следующим образом:

$$2H_2O + 2НАДФ + 3АДФ + 3H_3PO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 2НАДФН + H^+ + 3АТФ.$$

В ходе *темновых реакций* фотосинтеза (рис. 34) происходит связывание молекул CO_2 в виде углеводов, на которое расходуются молекулы АТФ и НАДФН + H^+, синтезированные в световых реакциях:

$$6CO_2 + 12\ НАДФН +$$
$$+ H^+ + 18АТФ \rightarrow C_6H_{12}O_6 +$$
$$+ 6H_2O + 12\ НАДФ +$$
$$+ 18АДФ + 18H_3PO_4.$$

Процесс связывания углекислого газа является сложной цепью превращений, названной *циклом Кальвина* в честь его первооткры-

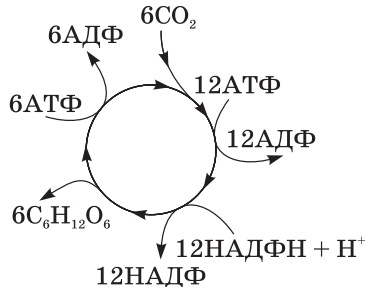


Рис. 34. Темновая фаза фотосинтеза

вателя. Темновые реакции протекают в строме хлоропластов. Для их протекания необходим постоянный приток углекислого газа извне.

Таким образом, в процессе фотосинтеза энергия солнечного света преобразуется в энергию химических связей сложных органических соединений не без участия хлорофилла. Суммарное уравнение фотосинтеза можно записать следующим образом:

$$6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2\uparrow + 6H_2O,$$

или

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2\uparrow.$$

Реакции световой и темновой фаз фотосинтеза взаимосвязаны, так как увеличение скорости лишь одной группы реакций влияет на интенсивность всего процесса фотосинтеза только до определенного момента, пока вторая группа реакций не выступит в роли лимитирующего фактора, и возникает потребность в ускорении реакций второй группы для того, чтобы первые происходили без ограничений.

В результате фотосинтеза образуется примерно 150 млрд тонн органического вещества и приблизительно 200 млрд тонн кислорода ежегодно. Этот процесс обеспечивает круговорот углерода в биосфере, не давая накапливаться углекислому газу и препятствуя тем самым возникновению парникового эффекта и перегреву Земли. Образующиеся в результате фотосинтеза органические вещества не расходуются другими организмами полностью, значительная их часть в течение миллионов лет образовала залежи полезных ископаемых (каменного и бурого угля, нефти). Из кислорода под дей-

ствием электрических разрядов образуется озон, который формирует озоновый экран, защищающий все живое на Земле от губительного действия ультрафиолетовых лучей.

Наш соотечественник, выдающийся физиолог растений К. А. Тимирязев (1843—1920) назвал роль фотосинтеза «космической», поскольку он связывает Землю с Солнцем (космосом), обеспечивая приток энергии на планету.

Хемосинтез

Хемосинтез — это процесс синтеза органических соединений за счет химической энергии неорганических соединений. Этот процесс был открыт выдающимся русским ученым С. Н. Виноградским в 1887 году.

К группе хемосинтетиков (хемотрофов) относятся в основном бактерии: нитрифицирующие, серобактерии, железобактерии и др. Они используют энергию окисления соединений азота, серы, ионов железа соответственно. При этом донором электронов выступает не вода, а другие неорганические вещества.

Так, нитрифицирующие бактерии окисляют образованный из атмосферного азота азотфиксирующими бактериями аммиак до нитритов и нитратов:

$$2NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + 663 \text{ кДж},$$
$$2HNO_2 + O_2 \rightarrow 2HNO_3 + 192 \text{ кДж}.$$

Серобактерии окисляют сероводород до серы, а в некоторых случаях — и до серной кислоты:

$$H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S + 272 \text{ кДж},$$
$$2S + 3O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 483 \text{ кДж}.$$

Железобактерии окисляют соли железа:

$$4FeCO_3 + O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 4CO_2\uparrow + 324 \text{ кДж}.$$

Водородные бактерии способны окислять молекулярный водород:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 235 \text{ кДж}.$$

Источником углерода для синтеза органических соединений у всех автотрофных бактерий выступает углекислый газ.

Хемосинтезирующие бактерии наиболее значительную роль играют в биогеохимических циклах химических элементов в биосфере, так как в процессе их жизнедеятельности образовались залежи многих полезных ископаемых. Кроме того, они являются источниками органического вещества на планете, то есть продуцентами, а также делают доступным целый ряд неорганических веществ и для растений, и для других организмов.

Генетический код

Структурной единицей наследственной информации является **ген**.

Наследственная информация организмов зашифрована в ДНК в виде определенных сочетаний нуклеотидов и их последовательности — *генетического кода*. Его свойствами являются триплетность, специфичность, универсальность, избыточность и неперекрываемость. Кроме того, в генетическом коде отсутствуют знаки препинания.

Каждая аминокислота закодирована в ДНК тремя нуклеотидами — *триплетом*, например метионин закодирован триплетом ТАЦ, то есть код триплетен. С другой стороны, каждый триплет

кодирует только одну аминокислоту, в чем заключается его специфичность, или однозначность. Генетический код универсален для всех живых организмов, то есть наследственная информация о белках человека может считываться бактериями и наоборот. Это свидетельствует о единстве происхождения органического мира. Однако 64 комбинациям нуклеотидов по три соответствует только 20 аминокислот, вследствие чего одну аминокислоту может кодировать 2—6 триплетов, то есть генетический код избыточен, или вырожден.

Репликация ДНК

ДНК представляет собой двухцепочечный биополимер, мономерами которого являются нуклеотиды. Процесс удвоения ДНК происходит *полуконсервативным способом*: молекула ДНК расплетается, и на каждой из цепей синтезируется новая цепь по принципу комплементарности. Процесс самовоспроизведения молекулы ДНК, обеспечивающий точное копирование наследственной информации и передачу ее из поколения в поколение, называется *репликацией*. В результате репликации образуются две абсолютно точные копии материнской молекулы ДНК, каждая из которых несет по одной копии материнской (рис. 35).

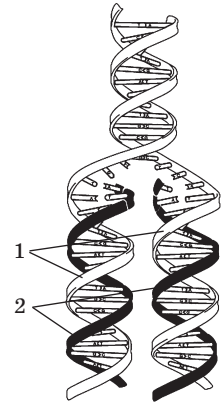


Рис. 35. Репликация ДНК:
1 — материнская цепь;
2 — дочерняя цепь

Ошибки в процессе репликации возникают крайне редко, однако если они и происходят, то очень быстро устраняются как ДНК-полимеразами, так и специальными ферментами *репарации*, поскольку любая ошибка в последовательности нуклеотидов может привести к необратимому изменению структуры и функций белка и, в конечном итоге, неблагоприятно сказаться на жизнеспособности новой клетки или даже особи.

Биосинтез белка

В биосинтезе белка выделяют два основных этапа: транскрипцию и трансляцию.

Транскрипция — это биосинтез молекул иРНК на соответствующих участках ДНК (рис. 36).

Транскрипция происходит только на одной цепи ДНК, которая называется *кодирующей*, в отличие от другой — *некодирующей*, или *кодогенной*.

Обеспечивает процесс переписывания специальный фермент РНК-полимераза, который подбирает нуклеотиды РНК по принципу комплементарности.

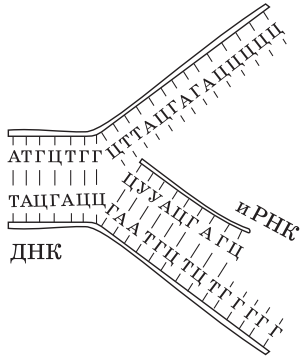


Рис. 36. Транскрипция

Синтезированные в процессе транскрипции в ядре молекулы иРНК покидают его через ядерные поры, а митохондриальные и пластидные иРНК остаются внутри органоидов. После транскрипции происходит процесс активации аминокислот, в ходе которого

аминокислота присоединяется к соответствующей свободной тРНК.

Трансляция — это биосинтез полипептидной цепи на молекуле иРНК, при котором происходит перевод генетической информации в последовательность аминокислот полипептидной цепи (рис. 37).

Второй этап синтеза белка чаще всего происходит в цитоплазме, например на шероховатой ЭПС. Для его протекания необходимы наличие рибосом, активация тРНК, в ходе которой они присоединяют соответствующие аминокислоты, присутствие ионов Mg^{2+}, а также оптимальные условия среды (температура, pH, давление и т. д.).

Для начала транскрипции (инициации) к молекуле иРНК присоединяется малая субъединица рибосомы, а затем по принципу комплементарности к первому кодону АУГ подбирается тРНК, несущая аминокислоту метионин. Лишь после этого присоединяется большая субъединица рибосомы. В пределах собранной рибосомы оказываются два кодона иРНК, первый из которых уже занят. К соседнему с ним кодону присоединяется вторая тРНК, также несущая аминокислоту, после чего между остатками аминокислот с помощью ферментов образуется пептидная связь. Когда рибосома передвигается на один кодон иРНК, первая из тРНК, освободившаяся от аминокислоты, возвращается в цитоплазму за следующей аминокислотой, а фрагмент будущей полипептидной цепи как бы

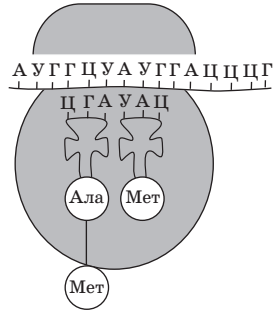


Рис. 37. Трансляция

повисает на оставшейся тРНК. К новому кодону, оказавшемуся в пределах рибосомы, присоединяется следующая тРНК, процесс повторяется, и шаг за шагом полипептидная цепь удлиняется, то есть происходит ее *элонгация*.

Окончание синтеза белка (*терминация*) происходит, как только в молекуле иРНК встретится специфическая последовательность нуклеотидов, которая не кодирует аминокислоту (стоп-кодон). После этого рибосома, иРНК и полипептидная цепь разделяются, а вновь синтезированный белок приобретает соответствующую структуру и транспортируется в ту часть клетки, где он будет выполнять свои функции.

Трансляция является весьма энергоемким процессом, поскольку на присоединение одной аминокислоты к тРНК расходуется энергия одной молекулы АТФ, еще несколько используются для продвижения рибосомы по молекуле иРНК.

Репликация ДНК и синтез белка в клетке протекают по *принципу матричного синтеза*, поскольку новые молекулы нуклеиновых кислот и белков синтезируются в соответствии с программой, заложенной в структуре ранее существовавших молекул тех же нуклеиновых кислот (ДНК или РНК).

Жизненный цикл клетки

Клетки не возникают каждый раз заново, они образуются только в результате деления материнских клеток. После разделения дочерним клеткам требуется некоторое время для формирования органоидов и приобретения соответствующей струк-

туры, которая обеспечила бы выполнение определенной функции.

Промежуток времени от появления клетки в результате деления до ее разделения или гибели называется *жизненным циклом клетки*.

У эукариотических клеток жизненный цикл делится на две основные стадии: интерфазу и митоз.

Интерфаза — это промежуток времени в жизненном цикле, в который клетка не делится и нормально функционирует. Интерфаза делится на три периода: G_1-, S- и G_2-периоды.

G_1-период (пресинтетический, постмитотический) — это период роста и развития клетки, в который происходит активный синтез РНК, белков и других веществ, необходимых для полного жизнеобеспечения вновь образовавшейся клетки. К концу этого периода клетка может начать готовиться к удвоению ДНК.

В *S-периоде* (синтетическом) происходит сам процесс репликации ДНК. Однако образовавшиеся молекулы ДНК не расходятся полностью, а остаются скрепленными в центромере, и в начале деления хромосома имеет Х-образный вид. Генетическая формула клетки после удвоения ДНК — $2n4c$.

G_2-период (постсинтетический, премитотический) характеризуется интенсивным синтезом РНК, белков и АТФ, необходимых для процесса деления клетки, а также разделением центриолей, митохондрий и пластид. До конца интерфазы хроматин и ядрышко остаются хорошо различимыми, целостность ядерной оболочки не нарушается, а органоиды не изменяются.

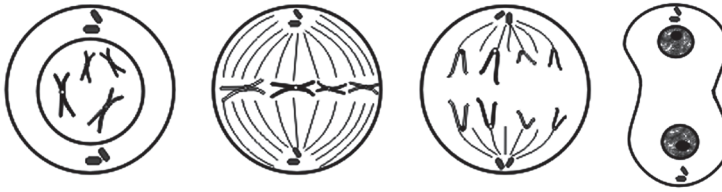
Продолжительность интерфазы в клетках растений и животных составляет в среднем 10—20 часов, тогда как митоз занимает около 1—2 часов.

Некоторые клетки со временем перестают делиться и погибают, что может быть связано с завершением выполнения определенных функций, как в случае клеток эпидермиса кожи и клеток крови или с повреждением этих клеток факторами окружающей среды, в частности возбудителями болезней. Генетически запрограммированная смерть клетки называется *апоптозом*, тогда как случайная гибель — *некрозом*.

Митоз

Митоз — способ непрямого деления соматических клеток.

Он делится на четыре основные фазы: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (рис. 38). *Профаза* — наиболее длительная стадия митоза, в процессе которой происходит конденсация хроматина, в результате чего становятся видны Х-образные хромосомы, состоящие из двух хроматид (дочерних хромосом). При этом исчезает ядрышко, центриоли расходятся к полюсам клетки, и начинает формироваться ахроматиновое веретено (веретено деления) из микротрубочек.



Б Профаза | В Метафаза | Г Анафаза | Д Телофаза

Рис. 38. Митоз

В конце профазы ядерная оболочка распадается на отдельные пузырьки.

В *метафазе* хромосомы выстраиваются по экватору клетки своими центромерами, к которым прикрепляются микротрубочки полностью сформированного веретена деления. На этой стадии деления хромосомы наиболее уплотнены и имеют характерную форму, что позволяет изучить кариотип.

В *анафазе* хромосомы расщепляются в центромерах и хроматиды расходятся к полюсам клетки, растягиваемые микротрубочками. Распределение хроматид должно быть абсолютно равным, поскольку именно этот процесс обеспечивает поддержание постоянства числа хромосом в клетках организма.

На стадии *телофазы* дочерние хромосомы собираются на полюсах, деспирализуются, вокруг них из пузырьков формируются ядерные оболочки, а во вновь образовавшихся ядрах возникают ядрышки.

После деления ядра происходит деление цитоплазмы — *цитокинез*, в ходе которого должно произойти более или менее равномерное распределение всех органоидов материнской клетки.

Таким образом, в результате митоза из одной материнской клетки образуется две дочерние, каждая из которых является генетической копией материнской.

В больных, поврежденных, стареющих клетках и специализированных тканях организма может происходить несколько иной процесс деления — амитоз. *Амитозом* называют прямое деление эукариотических клеток, при котором не происходит

образования генетически равноценных клеток, так как клеточные компоненты распределяются неравномерно. Он встречается у растений в эндосперме, а у животных — в печени, хрящах и роговице глаза.

В результате митоза происходит равномерное распределение наследственного материала между дочерними клетками — точными копиями материнской. Без митоза было бы невозможным существование и рост многоклеточных организмов, развивающихся из единственной клетки — зиготы, поскольку все клетки таких организмов должны содержать одинаковую генетическую информацию.

Мейоз

Мейоз — это способ непрямого деления первичных половых клеток ($2n4c$), в результате которого образуются гаплоидные клетки ($1n1c$), чаще всего половые.

В отличие от митоза, мейоз состоит из двух последовательных делений клетки, каждому из которых предшествует интерфаза (рис. 39). Первое деление мейоза (мейоз I) называется *редукционным*, так как при этом количество хромосом уменьшается вдвое, а второе деление (мейоз II) — *эквационным*, так как в его процессе количество хромосом сохраняется.

Интерфаза I протекает подобно интерфазе митоза. *Мейоз I* делится на четыре фазы: профазу I, метафазу I, анафазу I и телофазу I. В *профазе I* происходят два важнейших процесса — конъюгация и кроссинговер. *Конъюгация* — это процесс

слияния гомологичных (парных) хромосом по всей длине. Образовавшиеся в процессе конъюгации пары хромосом сохраняются до конца метафазы I.

Кроссинговер — взаимный обмен гомологичными участками гомологичных хромосом (рис. 40). В результате кроссинговера хромосомы, полученные организмом от обоих родителей, приобретают новые комбинации генов, что обусловливает появление генетически разнообразного потомства.

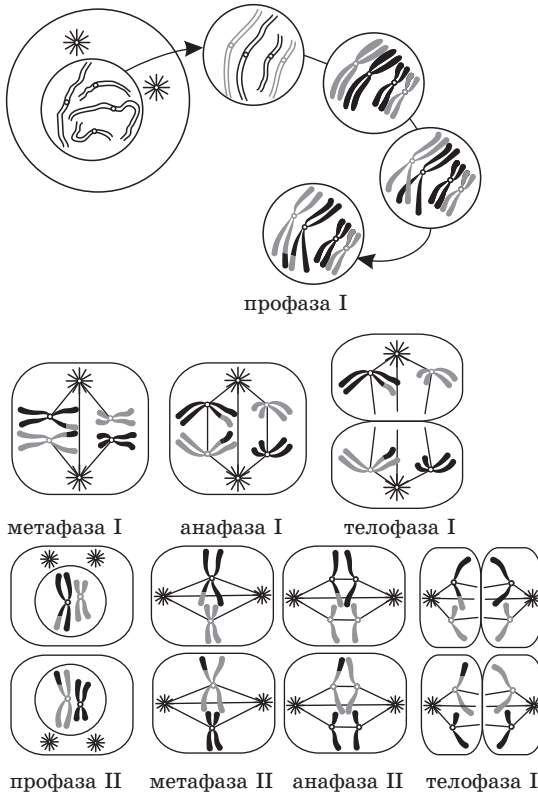


Рис. 39. Мейоз

В конце профазы I, как и в профазе митоза, исчезает ядрышко, центриоли расходятся к полюсам клетки, а ядерная оболочка распадается.

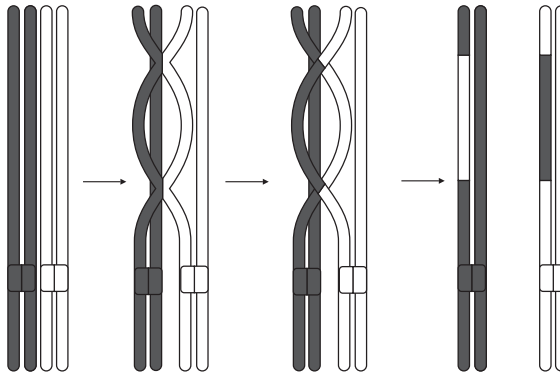


Рис. 40. Кроссинговер

В *метафазе I* пары хромосом выстраиваются по экватору клетки, к их центромерам прикрепляются микротрубочки веретена деления.

В *анафазе I* к полюсам расходятся целые гомологичные хромосомы, состоящие из двух хроматид.

В *телофазе I* вокруг скоплений хромосом у полюсов клетки образуются ядерные оболочки, формируются ядрышки.

Цитокинез I обеспечивает разделение цитоплазм дочерних клеток.

Образовавшиеся в результате мейоза I дочерние клетки ($1n2c$) генетически разнородны, поскольку их хромосомы, случайным образом разошедшиеся к полюсам клетки, содержат неодинаковые гены.

Интерфаза II (интеркинез) очень короткая, так как в ней не происходит удвоения ДНК, то здесь отсутствует S-период.

Мейоз II также делится на четыре фазы: профазу II, метафазу II, анафазу II и телофазу II. В *профазе II* протекают те же процессы, что и в профазе I, за исключением конъюгации и кроссинговера.

В *метафазе II* хромосомы располагаются вдоль экватора клетки.

В *анафазе II* хромосомы расщепляются в центромерах и к полюсам растягиваются уже хроматиды.

В *телофазе II* вокруг скоплений дочерних хромосом формируются ядерные оболочки и ядрышки.

После *цитокинеза II* генетическая формула всех четырех дочерних клеток — $1n1c$, однако все они имеют различный набор генов, что является результатом кроссинговера и случайного сочетания хромосом материнского и отцовского организмов в дочерних клетках.

Мейоз обеспечивает постоянство кариотипа при половом размножении, так как уменьшает вдвое набор хромосом перед половым размножением, который затем восстанавливается в результате оплодотворения. Кроме того, мейоз приводит к появлению новых комбинаций родительских генов благодаря кроссинговеру и случайному сочетанию хромосом в дочерних клетках.

ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ

1. Какое из утверждений является положением клеточной теории?

1) прокариотические клетки отличаются от эукариотических отсутствием оформленного ядра
2) клетки грибов отличаются от клеток растений отсутствием пластид
3) эукариотические клетки отделены от окружающей среды клеточной стенкой
4) клетки всех живых организмов сходны по химическому составу, строению и функциям

2. Выберите правильную последовательность уровней организации живой материи от низшего к высшему.

1) клетка, ткань, орган, система органов, организм, популяция, сообщество, экосистема
2) организм, система органов, ткань, популяция, орган, сообщество, клетка, экосистема
3) экосистема, популяция, система органов, клетка, сообщество, орган, организм, ткань
4) экосистема, клетка, ткань, организм, система органов, орган, сообщество

3. При расщеплении каких связей в молекуле АТФ выделяется значительное количество энергии?

1) гликозидных
2) фосфодиэфирных
3) водородных
4) пептидных

4. Функции какой молекулы можно сравнить с функциями жесткого диска компьютера?

1) кератина
2) холестерина
3) глюкозы
4) ДНК

5. Присутствие какого класса белков обеспечивает высокую скорость превращения веществ в клетках?
1) хромопротеинов
2) гликопротеинов
3) сократительных белков
4) ферментов

6. Какой вид мембранного транспорта используется при переносе в клетку этанола (C_2H_5OH)?
1) простая диффузия
2) облегченная диффузия
3) осмос
4) пиноцитоз

7. Что произойдет, если эритроциты крови человека поместить в 1%-ный раствор хлорида натрия?
1) плазмолиз
2) набухание и разрыв клеток
3) сморщивание клеток
4) изменений не будет

8. Сходство фотосинтеза и дыхания заключается в том, что в ходе этих процессов
1) синтезируется глюкоза
2) выделяются H_2O и CO_2
3) образуется АТФ
4) расщепляется АТФ

9. Каким процессом в наибольшей степени может быть обусловлено накопление определенного белка в клетке?
1) увеличением скорости реакций матричного синтеза
2) формированием новых ядерных пор и усилением транспорта иРНК в цитоплазму
3) ускорением оборота тРНК в цитоплазме
4) присоединением к иРНК нескольких рибосом

ЭКСПРЕСС-ПОМОЩНИК

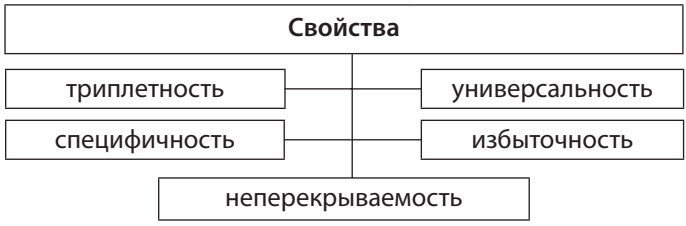
Методы познания живой природы

Значение макро- и микроэлементов в организме человека

Фосфор	Входит в состав белков и нуклеиновых кислот, участвует в формировании костей и зубов
Сера	Входит в состав белков и нуклеиновых кислот
Натрий, хлор	Участвует в процессах возбуждения клеток
Калий	Участвует в процессах возбуждения клеток, работе ферментов, удержании воды в клетке
Кальций	Входит в состав клеточных стенок растений, костей, зубов, раковин моллюсков; необходим для сокращения мышц, внутриклеточного движения
Магний	Компонент хлорофилла; участвует в биосинтезе белка
Железо	Компонент гемоглобина; участвует в процессах дыхания и фотосинтеза
Цинк	Компонент гормона поджелудочной железы — инсулина
Медь	Участвует в процессах фотосинтеза и дыхания
Кобальт	Компонент витамина B_{12}
Йод	Необходим для синтеза гормонов щитовидной железы
Фтор	Участвует в формировании эмали зубов

Схема мембранного транспорта

Свойства генетического кода



Последовательность оснований в триплетах ДНК и кодируемые ими аминокислоты

1-е основание		2-е основание: А		Г		Т		Ц		3-е основание
	А	ААА	Фен	АГА	Сер	АТА	Тир	АЦА	Цис	А
		ААГ		АГГ		АТГ		АЦГ		Г
		ААТ	Лей	АГТ		АТТ	Стоп*	АЦТ	Стоп*	Т
		ААЦ		АГЦ		АТЦ	Стоп*	АЦЦ	Три	Ц
	Г	ГАА	Лей	ГГА	Про	ГТА	Гис	ГЦА	Арг	А
		ГАГ		ГГГ		ГТГ		ГЦГ		Г
		ГАТ		ГГТ		ГТТ	Глн	ГЦТ		Т
		ГАЦ		ГГЦ		ГТЦ		ГЦЦ		Ц
	Т	ТАА	Иле	ТГА	Тре	ТТА	Асн	ТЦА	Сер	А
		ТАГ		ТГГ		ТТГ		ТЦГ		Г
		ТАТ		ТГТ		ТТТ	Лиз	ТЦТ	Арг	Т
		ТАЦ	Мет	ТГЦ		ТТЦ		ТЦЦ		Ц
	Ц	ЦАА	Вал	ЦГА	Ала	ЦТА	Асп	ЦЦА	Гли	А
		ЦАГ		ЦГГ		ЦТГ		ЦЦГ		Г
		ЦАТ		ЦГТ		ЦТТ	Глу	ЦЦТ		Т
		ЦАЦ		ЦГЦ		ЦТЦ		ЦЦЦ		Ц

* *Стоп-кодон, обозначающий конец синтеза полипептидной цепи.*

Сокращения названий аминокислот

Ала — аланин	Иле — изолейцин
Арг — аргинин	Лей — лейцин
Асн — аспарагин	Лиз — лизин
Асп — аспарагиновая кислота	Мет — метионин
Вал — валин	Про — пролин
Гис — гистидин	Сер — серин
Гли — глицин	Тир — тирозин
Глн — глутамин	Тре — треонин
Глу — глутаминовая кислота	Три — триптофан
	Фен — фенилаланин
	Цис — цистеин

Виды деления клеток

Амитоз	Митоз	Мейоз
Прямое деление ядра	Непрямое деление	Редукционное деление
Не спирализуются хромосомы	Спирализуются хромосомы	Спирализуются хромосомы
Не образуется веретено деления	Образуется веретено деления	Образуется веретено деления
Наследственная информация распределяется неравномерно	Образуются клетки, идентичные материнской	Происходит образование гамет

Сравнительная характеристика митоза и мейоза

Признак	Митоз	Мейоз	
Делящиеся клетки	Соматические (2*n*)	Первичные половые клетки (2*n*)	
Число делений	1	2	
Образующиеся клетки	2 соматические (2*n*)	4 половые (*n*)	
Интерфаза	подготовка клетки к делению, удвоение ДНК	подготовка клетки к делению, удвоение ДНК	очень короткая, удвоения ДНК не происходит
Фазы деления:		Мейоз I	Мейоз II
— профаза	конденсация хромосом, исчезновение ядрышка, распад ядерной оболочки	конденсация хромосом, исчезновение ядрышка, распад ядерной оболочки, конъюгация и кроссинговер	конденсация хромосом, исчезновение ядрышка, распад ядерной оболочки
— метафаза	расположение хромосом по экватору, формирование веретена деления	расположение по экватору пар хромосом, формирование веретена деления	расположение хромосом по экватору, формирование веретена деления
— анафаза	расхождение к полюсам хроматид	расхождение к полюсам гомологичных хромосом из двух хроматид	расхождение к полюсам хроматид
— телофаза	деконденсация хромосом, формирование новых ядерных оболочек и ядрышек	деконденсация хромосом, формирование новых ядерных оболочек и ядрышек	деконденсация хромосом, формирование новых ядерных оболочек и ядрышек
Цитокинез	деление цитоплазмы материнской клетки		

РАЗМНОЖЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

Способы размножения

В природе различают два основных способа размножения — бесполое и половое.

Бесполое размножение — это способ размножения, при котором не происходит ни образования, ни слияния специализированных половых клеток — гамет, в нем принимает участие всего один родительский организм.

В основе бесполого размножения лежит митотическое деление клетки. В зависимости от того, сколько клеток материнского организма дает начало новой особи, бесполое размножение подразделяют на собственно бесполое и вегетативное. При *собственно бесполом размножении* дочерняя особь развивается из единственной клетки материнского организма, а при *вегетативном* — из группы клеток или целого органа.

ЗАПОМНИ

В основе бесполого размножения организмов лежит митотическое деление клетки.

В природе встречается четыре основных вида собственно бесполого размножения: бинарное деление, множественное деление, спорообразование и почкование.

Бинарное деление представляет собой простое митотическое деление одноклеточного материнского организма, при котором вначале делится ядро,

а затем и цитоплазма. Оно характерно для амебы протей и инфузории-туфельки.

Множественному делению, или *шизогонии*, предшествует неоднократное деление ядра, после чего цитоплазма делится на соответствующее число фрагментов. Такой вид бесполого размножения встречается у малярийного плазмодия.

У многих растений и грибов в жизненном цикле происходит *образование спор* — одноклеточных специализированных образований, содержащих запас питательных веществ и покрытых плотной защитной оболочкой. Споры разносятся ветром и водой.

Характерным примером *почкования* является почкование дрожжей, при котором на поверхности материнской клетки после деления ядра появляется небольшое выпячивание, в которое перемещается одно из ядер, после чего новая маленькая клетка отшнуровывается. Таким образом сохраняется способность материнской клетки к дальнейшему делению, а численность особей быстро увеличивается.

Вегетативное размножение может осуществляться в форме почкования, фрагментации, полиэмбрионии и др.

При *почковании* у гидры образуется маленькая гидра, которая отделяется затем от материнского организма. Почкование характерно также для ряда коралловых полипов и кольчатых червей.

Фрагментация сопровождается разделением тела на две и более части, причем из каждой развиваются полноценные особи (медузы, актинии, плоские и кольчатые черви, иглокожие).

При *полиэмбрионии* происходит разделение зародыша на несколько зародышей. Такое явление наблюдается у броненосцев, но может происходить и у человека в случае однояйцевых близнецов.

Для бесполого размножения требуется только одна родительская особь, что экономит время и энергию, необходимые на поиски полового партнера. Однако в связи с тем, что единственным источником изменчивости являются случайные мутации, практически полное отсутствие изменчивости среди потомков снижает их приспособляемость к новым условиям среды обитания при расселении и, как следствие, они погибают в больших количествах, нежели при половом размножении.

Половое размножение — способ размножения, при котором происходит образование и слияние половых клеток, или гамет, в одну клетку — зиготу, из которой развивается новый организм.

Для полового размножения необходимо предварительное уменьшение количества хромосом в ходе мейоза, которое будет восстанавливаться при оплодотворении.

Особыми формами полового размножения являются *партеногенез* и *конъюгация*. При партеногенезе, или девственном развитии, новый организм развивается из неоплодотворенной яйцеклетки, как, например, у дафний, медоносных пчел и некоторых скальных ящериц.

В процессе конъюгации, которая характерна, например, для инфузорий, особи обмениваются фрагментами наследственной информации, а затем размножаются бесполым путем. Строго говоря, конъюгация является половым процессом, а не примером полового размножения.

Существование полового размножения требует выработки по меньшей мере двух видов половых клеток: мужских и женских. Животные организмы, у которых мужские и женские половые клетки вырабатываются разными особями, называются *раздельнополыми*, тогда как способные вырабатывать оба вида гамет — *гермафродитами*. Гермафродитизм характерен для многих плоских и кольчатых червей, брюхоногих моллюсков.

ЗАПОМНИ

Для полового размножения необходимо предварительное уменьшение количества хромосом в половых клетках.

Растения, у которых мужские и женские цветки или другие разноименные половые органы располагаются на разных особях, называются *двудомными*, а имеющие одновременно оба вида цветков — *однодомными*.

Половое размножение обеспечивает возникновение генетического разнообразия потомков, основу которого составляют мейоз и рекомбинация родительских генов при оплодотворении. Наиболее удачные комбинации генов обеспечивают лучшее приспособление потомков к среде обитания, их выживание и большую вероятность передачи своей наследственной информации следующим поколениям.

Онтогенез и присущие ему закономерности

Онтогенез — это процесс индивидуального развития организма от зарождения до смерти.

Зарождением организма считается возникновение зиготы в результате оплодотворения яйце-

клетки. В процессе онтогенеза происходят рост, дифференцировка и интеграция частей развивающегося организма. *Дифференцировкой* называют процесс возникновения различий между однородными тканями и органами, изменения их в ходе развития особи, приводящие к формированию специализированных тканей и органов. Ход онтогенеза определяется генетическими программами, закрепившимися в процессе эволюции.

Существует несколько периодизаций онтогенеза, однако чаще всего в онтогенезе животных выделяют эмбриональный и постэмбриональный периоды.

Эмбриональный период начинается с образования зиготы в процессе оплодотворения и заканчивается рождением организма или выходом его из зародышевых (яйцевых) оболочек.

Постэмбриональный период продолжается от рождения до смерти организма. Иногда выделяют и *проэмбриональный период*, или *прогенез*, к которому относят гаметогенез и оплодотворение.

Индивидуальное развитие у животных

Процесс образования зрелых половых клеток называется **гаметогенезом**.

Так как для полового размножения чаще всего необходимы две особи — женская и мужская, продуцирующие различные половые клетки — яйцеклетки и спермии, то и процессы образования этих гамет должны быть различны.

Развитие половых клеток. У животных различают два процесса образования половых клеток — сперматогенез и овогенез.

Сперматогенез — это процесс образования зрелых мужских половых клеток — сперматозоидов. У человека он протекает в семенниках, или яичках, и делится на четыре периода: размножение, рост, созревание и формирование.

В *период размножения* первичные половые клетки делятся митотически, вследствие чего образуются диплоидные *сперматогонии*. В *период роста* сперматогонии накапливают питательные вещества в цитоплазме, увеличиваются в размерах и превращаются в *первичные сперматоциты*, или *сперматоциты 1-го порядка*. Лишь после этого они вступают в мейоз (*период созревания*), в результате которого образуется сначала два *вторичных сперматоцита*, или *сперматоцита 2-го порядка*, а затем — четыре гаплоидных клетки с еще достаточно большим количеством цитоплазмы — *сперматиды*. В *период формирования* они утрачивают почти всю цитоплазму и формируют жгутик, превращаясь в сперматозоиды.

Сперматозоиды, или *живчики*, — очень мелкие подвижные мужские половые клетки, имеющие головку, шейку и хвостик (рис. 41).

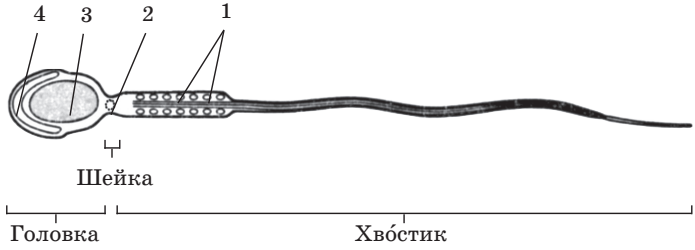


Рис. 41. Сперматозоид:
1 — митохондрии; 2 — центриоль;
3 — ядро; 4 — акросома

В *головке*, кроме ядра, находится *акросома* — видоизмененный комплекс Гольджи, обеспечивающий растворение оболочек яйцеклетки в процессе оплодотворения. В *шейке* находятся центриоли клеточного центра, а основу *хвостика* образуют микротрубочки, непосредственно обеспечивающие движение сперматозоида. В нем также расположены митохондрии, обеспечивающие сперматозоид энергией АТФ для движения.

Овогенез — это процесс образования зрелых женских половых клеток — яйцеклеток. У человека он происходит в яичниках и состоит из трех периодов: размножения, роста и созревания. Периоды размножения и роста, аналогичные таковым в сперматогенезе, происходят еще во время внутриутробного развития. При этом из первичных половых клеток в результате митоза образуются диплоидные *оогонии*, которые превращаются затем в диплоидные первичные *ооциты*, или *ооциты 1-го порядка*. Мейоз и последующий цитокинез, протекающие в *период созревания*, характеризуются неравномерностью деления цитоплазмы материнской клетки, так что в итоге сначала получается один *вторичный ооцит*, или *ооцит 2-го порядка*, и *первое полярное тельце*, а затем из вторичного ооцита — яйцеклетка, сохраняющая весь запас питательных веществ, и второе полярное тельце, тогда как первое полярное тельце делится на два. Полярные тельца забирают избыток генетического материала.

У человека яйцеклетки вырабатываются с промежутком 28—29 суток. Цикл, связанный с созреванием и выходом яйцеклеток, называется менструальным.

Яйцеклетка — крупная женская половая клетка, которая несет не только гаплоидный набор

хромосом, но и значительный запас питательных веществ для последующего развития зародыша (рис. 42).

Яйцеклетка у млекопитающих покрыта четырьмя оболочками, снижающими вероятность ее повреждения различными факторами. Диаметр яйцеклетки у человека достигает 150—200 мкм, тогда как у страуса он может составлять несколько сантиметров.

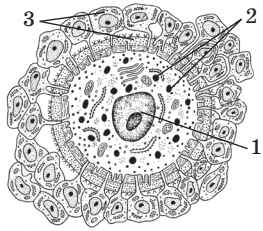


Рис. 42. Яйцеклетка:
1 — ядро;
2 — запас питательных веществ в цитоплазме;
3 — оболочки

Оплодотворение — это процесс слияния мужских и женских половых клеток с образованием зиготы.

В процессе оплодотворения сначала происходит узнавание и физический контакт мужских и женских гамет, затем слияние их цитоплазмы, и только на последнем этапе объединение наследственного материала. Оплодотворение позволяет восстановить диплоидный набор хромосом, редуцированный в процессе формирования половых клеток.

Чаще всего в природе встречается оплодотворение мужскими половыми клетками другого организма, однако в целом ряде случаев возможно также и проникновение собственных сперматозоидов — *самооплодотворение*.

У цветковых растений оплодотворению предшествует *опыление* — перенос пыльцы, содержащей мужские половые клетки — спермии — на рыльце пестика. Сам способ оплодотворения, присущий цветковым растениям, получил название *двойного оплодотворения*.

У животных, в частности позвоночных, оплодотворению предшествует сближение гамет, или *осеменение*.

Эмбриональное развитие, или эмбриогенез, у животных и человека делят на ряд стадий: дробление, гаструляция, гистогенез и органогенез, а также период дифференцированного зародыша.

Дробление — это процесс митотического деления зиготы на все более мелкие клетки — *бластомеры* (рис. 43). Сначала образуются две клетки, затем четыре, восемь и т. д. Уменьшение размеров клеток связано в основном с тем, что в интерфазе клеточного цикла по разным причинам отсутствует G_1-период, в котором должно происходить увеличение размеров дочерних клеток. В результате дробления вначале образуется *морула*, а затем, при последующем расхождении клеток — *бластула* — однослойный многоклеточный зародыш, представляющий собой полый шарик, стенки которого образованы клетками — бластомерами, а полость внутри заполнена жидкостью и называется *бластоцелем*.

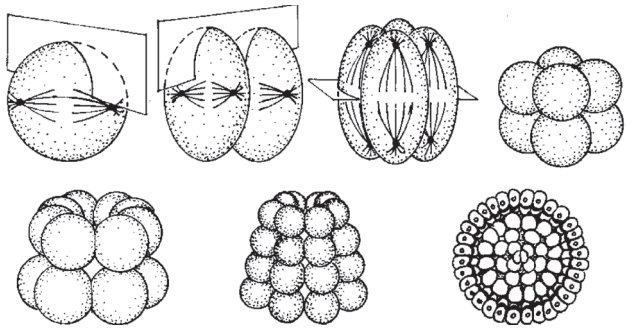


Рис. 43. Дробление

Гаструляцией называют процесс образования двух- или трехслойного зародыша — *гаструлы*, который происходит сразу после образования бластулы. Гаструляция осуществляется путем движения клеток и их групп относительно друг друга, например впячиванием одной из стенок бластулы. Помимо двух или трех слоев клеток, гаструла имеет также первичный рот — *бластопор*.

Слои клеток гаструлы называются *зародышевыми листками*. Различают три зародышевых листка: эктодерму, мезодерму и энтодерму. *Эктодерма* — это наружный зародышевый листок, *мезодерма* — средний, а *энтодерма* — внутренний.

Несмотря на то что все клетки развивающегося организма ведут свое происхождение от единственной клетки — зиготы — и содержат такой же набор генов, то есть являются ее клонами, поскольку образуются в результате митотического деления, процесс гаструляции сопровождается дифференцировкой клеток. Дифференцировка обусловлена переключением групп генов в различных частях зародыша и синтезом новых белков, определяющих в дальнейшем специфические функции клетки и накладывающих отпечаток на ее строение.

ЗАПОМНИ

Все клетки развивающегося организма ведут свое происхождение от единственной клетки — зиготы.

На специализации клеток сказывается и соседство других клеток, а также гормональный фон. Например, если от одного зародыша лягушки пересадить другому фрагмент, на котором развивается хорда, то это вызовет образование зачатка

нервной системы в неположенном месте и начнет формироваться как бы двойной зародыш. Это явление получило название *эмбриональной индукции*.

Гистогенезом называют процесс формирования зрелых тканей, присущих взрослому организму, а *органогенезом* — процесс формирования органов.

В процессе гисто- и органогенеза из эктодермы формируются эпителий кожи и ее производные (волосы, ногти, когти, перья), эпителий ротовой полости и эмаль зубов, прямая кишка, нервная система, органы чувств, жабры и др. Производными энтодермы являются кишечник и связанные с ним железы (печень и поджелудочная), а также легкие. А мезодерма дает начало всем видам соединительной ткани, в т. ч. костной и хрящевой тканям скелета, мышечной ткани скелетных мышц, кровеносной системе, многим эндокринным железам и т. д.

Закладка нервной трубки на спинной стороне зародыша хордовых животных символизирует начало еще одной промежуточной стадии развития — *нейрулы*. Этот процесс также сопровождается закладкой комплекса осевых органов, например хорды.

После протекания органогенеза наступает период *дифференцированного зародыша*, который характеризуется продолжением специализации клеток организма и быстрым ростом.

У многих животных в процессе эмбрионального развития возникают зародышевые оболочки и другие временные органы, которые не пригодятся в последующем развитии, например плацента, пуповина и др.

Постэмбриональное развитие животных делят на дорепродуктивный (ювенильный), репродуктивный и пострепродуктивный периоды.

Ювенильный период продолжается от рождения до полового созревания, он характеризуется интенсивным ростом и развитием организма.

По характеру развития различают прямое и непрямое развитие. При *прямом развитии* появляющийся на свет организм уже похож на взрослую особь, и процесс развития заключается в основном в увеличении линейных размеров особи, а также в формировании половых органов, как у человека. При *непрямом развитии* особь непохожа на взрослую, и в процессе развития происходит существенная перестройка ее организма, как у амфибий.

ЗАПОМНИ

Рост многоклеточного организма происходит за счет увеличения количества клеток вследствие деления и за счет увеличения размеров клеток.

Рост организма происходит за счет увеличения количества клеток вследствие деления и увеличения их размеров. Выделяют два основных типа роста: ограниченный и неограниченный. *Ограниченный*, или *закрытый*, *рост* происходит только в определенные периоды жизни, в основном до полового созревания. Он характерен для большинства животных. Например, человек растет в основном до 13—15 лет, хотя окончательное формирование тела происходит до 25 лет. *Неограниченный*, или *открытый*, *рост* продолжается в течение всей жизни особи, как у растений и некоторых рыб. Также существуют *периодический* и *непериодический* рост.

Эмбриональное развитие растений

Развитие половых клеток. У покрытосеменных растений образование мужских и женских половых клеток происходит в различных частях цветка — тычинках и пестиках соответственно.

Перед образованием мужских половых клеток — *микрогаметогенезом* — происходит *микроспорогенез*, то есть формирование микроспор в пыльниках тычинок. Этот процесс связан с мейотическим делением материнской клетки, в результате которого возникают четыре гаплоидные микроспоры. Микрогаметогенез сопряжен с митотическим делением микроспоры, дающим мужской гаметофит из двух клеток — крупной *вегетативной* и мелкой *генеративной*. После деления мужской гаметофит покрывается плотными оболочками и образует пыльцевое зерно. Впоследствии генеративная клетка делится митотически с образованием двух неподвижных мужских половых клеток — *спермиев*. Из вегетативной клетки после опыления формируется пыльцевая трубка, по которой спермии проникают в завязь пестика для оплодотворения.

ЗАПОМНИ

У растений при образовании гамет происходит только митоз, а у животных — и митоз, и мейоз.

Развитие женских половых клеток у растений называется *мегагаметогенезом*. Он происходит в завязи пестика, чему предшествует *мегаспорогенез*, в результате которого из материнской клетки мегаспоры, лежащей в семязачатке, путем мейотического деления формируются четыре мегаспоры. Одна из мегаспор трижды делится митотически,

давая женский гаметофит — зародышевый мешок с восемью ядрами. При последующем обособлении цитоплазм дочерних клеток одна из образовавшихся клеток становится яйцеклеткой, по бокам от которой лежат так называемые синергиды, на противоположном конце зародышевого мешка формируются три антипода, а в центре в результате слияния двух гаплоидных ядер образуется диплоидная центральная клетка.

У цветковых растений эмбриональное развитие протекает после двойного оплодотворения, при котором один спермий оплодотворяет яйцеклетку, а второй — центральную клетку. Из зиготы образуется зародыш, который претерпевает ряд делений. После первого деления из одной клетки формируется собственно зародыш, а из второй — подвесок, через который происходит снабжение зародыша питательными веществами. Центральная клетка дает начало триплоидному эндосперму, содержащему питательные вещества для развития зародыша.

Эмбриональное и постэмбриональное развитие семенных растений зачастую разделены во времени, поскольку им требуются определенные условия для прорастания.

Постэмбриональный период у растений делится на вегетативный, генеративный периоды и период старения. В вегетативном периоде происходит увеличение биомассы растения, в генеративном они приобретают способность к половому размножению (у семенных — к цветению и плодоношению), тогда как в период старения способность к репродукции утрачивается.

Жизненные циклы и чередование поколений

Вновь образовавшиеся организмы не сразу приобретают способность к воспроизведению себе подобных.

Жизненный цикл — совокупность стадий развития, начиная от зиготы, пройдя которые организм достигает зрелости и приобретает способность к размножению.

В жизненном цикле происходит чередование стадий развития с гаплоидным и диплоидным наборами хромосом, при этом у высших растений и животных преобладает диплоидный набор, а у низших — наоборот.

Жизненные циклы могут быть простыми и сложными. В отличие от простого жизненного цикла, в сложном половое размножение чередуется с партеногенетическим и бесполым. Например, рачки дафнии, дающие в течение лета бесполые поколения, осенью размножаются половым способом. Особенно сложны жизненные циклы некоторых грибов. У ряда животных чередование полового и бесполого поколений происходит регулярно, и такой жизненный цикл называется *правильным*. Он характерен, например, для ряда медуз.

Длительность жизненного цикла определяется числом поколений, развивающихся в течение года, или числом лет, на протяжении которых организм осуществляет свое развитие. Например, растения делят на однолетние и многолетние.

Знание жизненных циклов необходимо для генетического анализа, поскольку в гаплоидном и диплоидном состояниях различным образом выявляется действие генов: в первом случае имеются

большие возможности для проявления всех генов, тогда как во втором некоторые гены не обнаруживаются.

Причины нарушения развития организмов

Изменение условий среды может ускорить развитие эмбриона или затормозить его и даже вызвать возникновение различных нарушений вследствие неполного формирования его собственных защитных систем.

Факторы, вызывающие отклонения в развитии зародыша человека, называются *тератогенными*, или *тератогенами*. В зависимости от природы этих факторов их делят на физические, химические и биологические.

К *физическим* факторам относится, прежде всего, ионизирующая радиация, провоцирующая многочисленные мутации плода, которые могут быть несовместимыми с жизнью.

Химическими тератогенами являются тяжелые металлы, бензапирен, выбрасываемый автомобилями и промышленными предприятиями, фенолы, ряд лекарственных препаратов, алкоголь, наркотики и никотин.

К *биологическим* тератогенам относят гормональные нарушения в материнском организме, инфекции во время беременности (краснуха, паротит, цитомегалия).

Особо вредное влияние на развитие эмбриона человека оказывает употребление его родителями алкоголя, наркотиков, курение табака, поскольку алкоголь и никотин угнетают клеточное дыхание.

ГЕНЕТИКА

Генетика как наука

Генетика — это наука, изучающая закономерности наследственности и изменчивости и методы управления ими.

Задачами генетики на современном этапе являются исследование качественных и количественных характеристик наследственного материала, анализ структуры и функционирования генотипа, расшифровка тонкой структуры гена и методов регуляции генной активности, поиск генов, вызывающих развитие наследственных болезней человека и методов их «исправления», создание нового поколения лекарственных препаратов по типу ДНК-вакцин, конструирование с помощью средств генной и клеточной инженерии организмов с новыми свойствами, которые могли бы производить необходимые человеку лекарственные препараты и продукты питания, а также полная расшифровка генома человека.

ЗАПОМНИ

Труды чешского исследователя Г. Менделя стали краеугольным камнем современной генетики.

Наследственность — это способность организмов передавать свои признаки и свойства в ряду поколений.

Изменчивость — свойство организмов приобретать новые признаки в течение жизни.

Признаки организмов можно разделить на *качественные* и *количественные*. Качественные при-

знаки имеют два-три контрастных проявления, которые называют *альтернативными признаками*, например голубой и карий цвет глаз, тогда как количественные (удойность коров, урожайность пшеницы) не имеют четко выраженных различий.

Материальным носителем наследственности является ДНК. У эукариот различают два типа наследственности: *генотипическую* и *цитоплазматическую*. Носители генотипической наследственности локализованы в ядре, а носителями цитоплазматической наследственности являются находящиеся в митохондриях и пластидах кольцевые молекулы ДНК. Цитоплазматическая наследственность передается в основном с яйцеклеткой, поэтому называется также *материнской*.

ЗАПОМНИ

Материальным носителем наследственности является ДНК, которая локализована в ядре, митохондриях и пластидах.

В митохондриях клеток человека локализовано небольшое количество генов, однако их изменение может оказывать существенное влияние на развитие организма, например приводить к развитию слепоты или постепенному снижению подвижности. Пластиды играют не менее важную роль в жизни растений. Так, в некоторых участках листа могут присутствовать бесхлорофильные клетки, что приводит, с одной стороны, к снижению продуктивности растения, а с другой — такие пестролистные организмы ценятся в декоративном озеленении. Воспроизводятся такие экземпляры в основном бесполым способом, так как при половом размножении чаще получаются обычные зеленые растения.

Методы генетики:

1. *Гибридологический*, или метод скрещиваний, заключается в подборе родительских особей и анализе потомства. При этом о генотипе организма судят по фенотипическим проявлениям генов у потомков, полученных при определенной схеме скрещивания.
2. *Цитогенетический* основан на исследовании кариотипа: числа, формы и величины хромосом организма. Изучение этих особенностей позволяет выявить различные патологии развития.
3. *Биохимический* позволяет определять содержание различных веществ в организме, в особенности их избыток или недостаток, а также активность целого ряда ферментов.
4. *Молекулярно-генетические* направлены на выявление вариаций в структуре и расшифровку первичной последовательности нуклеотидов исследуемых участков ДНК. Они позволяют выявить гены наследственных болезней даже у эмбрионов, установить отцовство и т. д.
5. *Популяционно-статистический* позволяет определить генетический состав популяции, частоту определенных генов и генотипов, генетический груз, а также наметить перспективы развития популяции.
6. *Гибридизации соматических клеток* в культуре, который позволяет определить локализацию определенных генов в хромосомах при слиянии клеток различных организмов, например мыши и хомяка, мыши и человека и т. д.

Основные генетические понятия и символика

Ген — это участок молекулы ДНК, или хромосомы, несущий информацию об определенном

признаке или свойстве организма. Некоторые гены могут оказывать влияние на проявление сразу нескольких признаков. Такое явление называется *плейотропией*.

Каждый ген занимает в хромосоме строго определенное место — *локус*. Так как в соматических клетках большинства эукариотических организмов хромосомы парные (гомологичные), то в каждой из парных хромосом находится по одной копии гена, отвечающего за определенный признак. Такие гены называются *аллельными*.

Аллельные гены чаще всего существуют в двух вариантах — доминантном и рецессивном. *Доминантной* называют аллель, которая проявляется вне зависимости от того, какой ген находится в другой хромосоме и подавляет развитие признака, кодируемого *рецессивным геном*. Доминантные аллели обозначаются обычно прописными буквами латинского алфавита (*A*, *B*, *C* и др.), а рецессивные — строчными (*a*, *b*, *c* и др.). Рецессивные аллели могут проявляться только в том случае, если они занимают локусы в обеих парных хромосомах.

Организм, у которого в обеих гомологичных хромосомах находятся одинаковые гены, называется *гомозиготным по данному гену*, или гомозиготой (*AA*, *aa*, *AABB*, *aabb* и т. д.), а организм, у которого в обеих гомологичных хромосомах находятся разные варианты гена — доминантный и рецессивный — называется *гетерозиготным* по данному гену, или гетерозиготой (*Aa*, *AaBb* и т. д.).

Ряд генов может иметь три и более структурных вариантов, например, группы крови по системе АВО кодируются тремя аллелями — I^A, I^B, i. Такое явление называется *множественным алле-*

лизмом. Однако даже в этом случае каждая хромосома из пары несет только один аллель, то есть все три варианта гена у одного организма представлены быть не могут.

Совокупность генов, характерную для гаплоидного набора хромосом называют *геномом*, тогда как *генотипом* — совокупность генов, характерную для диплоидного набора хромосом. Совокупность признаков и свойств организма, которая является результатом взаимодействия генотипа и окружающей среды, называется *фенотипом*.

Для записи схем скрещиваний чаще всего применяются следующие условные обозначения:

P — родительские организмы

♀ — (алхимический знак Венеры — зеркало с ручкой) — материнская особь

♂ — (алхимический знак Марса — щит и копье) — отцовская особь

× — знак скрещивания

F_1, F_2, F_3 и т. д. — гибриды первого, второго, третьего и последующих поколений;

F_a — потомство от анализирующего скрещивания.

Современные представления о гене и геноме

Гены, кодирующие первичную структуру белка, рибосомальной или транспортной РНК, называются *структурными*, а гены, обеспечивающие активацию или подавление считывания информации со структурных генов, — *регуляторными*.

Структура прокариотического гена. Структурный ген прокариот имеет сложное строение, поскольку в его состав входят регуляторные участки

и кодирующие последовательности. К регуляторным участкам относятся промотор, оператор и терминатор (рис. 44). *Промотором* называют участок гена, к которому прикрепляется фермент РНК-полимераза, обеспечивающий синтез иРНК в процессе транскрипции. С *оператором*, располагающимся между промотором и структурной последовательностью, может связываться *белок-репрессор*, не позволяющий РНК-полимеразе начать считывание наследственной информации с кодирующей последовательности, и только его удаление позволяет начать транскрипцию. Структура репрессора закодирована обычно в *регуляторном гене*, находящемся в другом участке хромосомы. Считывание информации заканчивается на участке гена, который называется *терминатором*.

Кодирующая последовательность структурного гена содержит информацию о последовательности аминокислот в соответствующем белке. Кодирующую последовательность у прокариот называют *цистроном*, а совокупность кодирующих и регуляторных участков гена прокариот — *опероном*. Структура оперона кишечной палочки и регуляция его активности были открыты Ф. Жакобом, Ж. Л. Моно и А. Львовым (1961 г.).

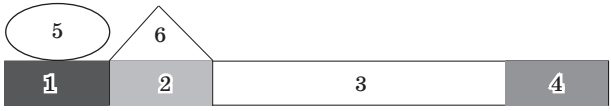


Рис. 44. Схема строения оперона:

1 — промотор; 2 — оператор; 3 — структурная последовательность; 4 — терминатор; 5 — РНК-полимераза; 6 — репрессор

В целом прокариоты, к которым относится и кишечная палочка, имеют сравнительно небольшое количество генов, расположенных в единственной кольцевой хромосоме.

Структура эукариотического гена. В отличие от прокариот, гены эукариот не имеют оперонной структуры, поскольку не содержат оператора, и каждый структурный ген сопровождается только промотором и терминатором. Кроме того, в генах эукариот значащие участки (*экзоны*) чередуются с незначащими (*интронами*), которые полностью переписываются на иРНК, а затем вырезаются в процессе их созревания. Биологическая роль интронов состоит в снижении вероятности мутаций в значащих участках. Регуляция генов эукариот намного сложнее, нежели описанная для прокариот.

Геном человека. В ходе международного проекта «Геном человека» (1988—2001 гг.) были осуществлена полная расшифровка последовательности нуклеотидов человеческой ДНК, обнаружение некоторых генов и картирование хромосом. Считается, что у человека 25—30 тыс. структурных генов, причем некоторые из них повторяются сотни и тысячи раз. При этом два разных человека на 99,9 % имеют сходные последовательности нуклеотидов, и лишь остающиеся 0,1 % определяют нашу индивидуальность. Вместе с тем расшифровка генома человека пока не дает прямого эффекта, поскольку мы получили своеобразную инструкцию по сборке такого сложного организма как человек, но не научились изготавливать его или хотя бы исправлять погрешности в нем.

Закономерности наследования, установленные Г. Менделем, их цитологические основы (моно- и дигибридное скрещивание)

Основные закономерности независимого наследования признаков были открыты Г. Менделем, который достиг успеха, применив в своих исследованиях новый на тот момент гибридологический метод.

Для исследования Г. Мендель отобрал только семь признаков, имеющих альтернативные (контрастные) проявления. Уже в первых скрещиваниях он обратил внимание, что в потомстве первого поколения при скрещивании растений с желтыми и зелеными семенами все потомство имело желтые семена. Аналогичные результаты были получены и при исследовании других признаков (см. «Экспресс-помощник», с. 148).

Признаки, которые преобладали в первом поколении, Г. Мендель назвал *доминантными*. Те же из них, которые не проявлялись в первом поколении, получили название *рецессивных*.

Особи, которые давали расщепление в потомстве, получили название *гетерозиготных*, а особи, не дававшие расщепления, — *гомозиготных*.

Скрещивание, при котором исследуется проявление только одного признака, называется *моногибридным*. В таком случае прослеживаются закономерности наследования только двух вариантов одного признака, развитие которых обусловлено парой аллельных генов. Например, признак «окраска венчика цветка» у гороха имеет только два проявления — красная и белая. Все остальные

признаки, свойственные данным организмам, во внимание не принимаются и не учитываются в расчетах.

Схема моногибридного скрещивания такова:

P	♀ *AA*	×	♂ *AA*
Гаметы	*A*		*A*
F_1		*AA*	

Скрестив два растения гороха, одно из которых имело желтые семена, а другое — зеленые, в первом поколении Г. Мендель получал растения исключительно с желтыми семенами, независимо от того, какое растение было выбрано в качестве материнского, а какое — отцовского. Такие же результаты были получены и в скрещиваниях по другим признакам, что дало Г. Менделю основания сформулировать *закон единообразия гибридов первого поколения*, который также называют *первым законом Менделя* и *законом доминирования*.

Первый закон Менделя:

При скрещивании гомозиготных родительских форм, отличающихся по одной паре альтернативных признаков, все гибриды первого поколения будут единообразны как по генотипу, так и по фенотипу.

A — желтые семена; *a* — зеленые семена.

P	♀ *AA* желтые семена	×	♂ *aa* зеленые семена
Гаметы	*A*		*a*
F_1		*Aa* желтые семена	

При самоопылении (скрещивании) гибридов первого поколения оказалось, что 6 022 семени имеют желтую окраску, а 2 001 — зеленую, что примерно соответствует соотношению 3:1. Обнаруженная закономерность получила название *закона расщепления*, или *второго закона Менделя*.

Второй закон Менделя:

При скрещивании гетерозиготных гибридов первого поколения в потомстве будет наблюдаться преобладание одного из признаков в соотношении 3:1 по фенотипу (1:2:1 по генотипу).

P_2	♀ *AA* желтые семена	×	♂ *Aa* желтые семена	
Гаметы	*A*	*a*	*A*	*a*
F_2	$\underbrace{1AA : 2Aa}$: $1aa$			
Фенотип	3 : 1			
	желтые семена		зеленые семена	

Однако по фенотипу особи далеко не всегда удается установить ее генотип, поскольку как гомозиготы по доминантному гену (*AA*), так и гетерозиготы (*Aa*) будут иметь в фенотипе проявление доминантного гена. Поэтому для организмов с перекрестным оплодотворением применяют *анализирующее скрещивание* — скрещивание, при котором организм с неизвестным генотипом скрещивается с гомозиготой по рецессивному гену для проверки генотипа. При этом гомозиготные особи по доминантному гену расщепления в потомстве не дают, тогда как в потомстве гетерозиготных наблюдается равное количество особей как с доминантным, так и с рецессивным признаками:

P	♀ *Aa*	×	♂ *aa*
Гаметы	*A* *a*		*a*
F_1	1*Aa* : 1*aa*		

P	♀ *AA*	×	♂ *aa*
Гаметы	*A*		*a*
F_1	*Aa*		

Основываясь на результатах собственных экспериментов, Г. Мендель предположил, что наследственные факторы при образовании гибридов не смешиваются, а сохраняются в неизменном виде. Поскольку связь между поколениями осуществляется через гаметы, то он допустил, что в процессе их образования в каждую из гамет попадает только один фактор из пары (то есть гаметы генетически чисты), а при оплодотворении пара восстанавливается. Эти предположения получили название *правила чистоты гамет*.

Правило чистоты гамет:

При гаметогенезе гены одной пары разделяются, то есть каждая гамета несет только одну аллель.

Однако организмы отличаются друг от друга по многим признакам, поэтому установить закономерности их наследования возможно только при анализе двух и более признаков в потомстве. Скрещивание, при котором рассматривается наследование и производится точный количественный учет потомства по двум парам признаков, называется *дигибридным*. Если же анализируется проявление большего числа наследственных признаков, то это уже *полигибридное скрещивание*.

Схема дигибридного скрещивания:

P	♀ *AABB*	×	♂ *AAbb*
Гаметы	*AB*		*Ab*
F_1	♀ *AABb*	×	♂ *aaBb*
Гаметы	*AB* *Ab*		*aB* *ab*
F_2	*AaBB* *AaBb*		*AaBb* *Aabb*

При большем разнообразии гамет определение генотипов потомков становится затруднительным, поэтому для анализа широко используется решетка Пеннета, в которую по горизонтали заносятся мужские гаметы, а по вертикали — женские. Генотипы потомков определяются сочетанием генов в столбцах и строках.

♀ \ ♂	***aB***	***ab***
AB	*AaBB*	*AaBb*
Ab	*AaBb*	*Aabb*

Для дигибридного скрещивания Г. Мендель выбрал два признака: окраску семян (желтую и зеленую) и их форму (гладкую и морщинистую). В первом поколении соблюдался закон единообразия гибридов первого поколения, а во втором поколении было 315 желтых гладких семян, 108 — зеленых гладких, 101 — желтое морщинистое и 32 зеленых морщинистых. Подсчет показал, что расщепление приближалось к 9:3:3:1, но по каждому из признаков сохранялось соотношение 3:1 (желтые — зеленые, гладкие — морщинистые). Эта закономерность получила название *закона*

независимого ра*щепления признаков*, или *третьего закона Менделя.*

Третий закон Менделя:

При скрещивании гомозиготных родительских форм, отличающихся по двум и более парам признаков, во втором поколении будет происходить независимое расщепление данных признаков в соотношении 3:1 (9:3:3:1 при дигибридном скрещивании).

P	♀ *AABB* желтые гладкие	×	♂ *aabb* зеленые морщинистые
Гаметы	*AB*		*ab*
F_1		*AaBb* желтые гладкие	

P_2	♀ *AaBb*	×	♂ *AaBb*
Гаметы	*AB*, *Ab*, *aB*, *ab*		*AB*, *Ab*, *aB*, *ab*
F_2			

♀ \ ♂	***AB***	***Ab***	***aB***	***ab***
AB	*AABB*	*AABb*	*AaBB*	*AaBb*
Ab	*AABb*	*AAbb*	*AaBb*	*Aabb*
aB	*AaBB*	*AaBb*	*aaBB*	*aaBb*
ab	*AaBb*	*Aabb*	*aaBb*	*aabb*

9*A_B_**	:	3*A_bb*	:	3*aaB_*	:	1*aabb*
желтые гладкие		желтые морщинистые		зеленые гладкие		зеленые морщинистые

* На месте, обозначенном «_», может находиться как доминантный, так и рецессивный ген.

Третий закон Менделя применим только к случаям независимого наследования, когда гены расположены в разных парах гомологичных хромосом. В тех случаях, когда гены расположены в одной паре гомологичных хромосом, действительны закономерности сцепленного наследования. Закономерности независимого наследования признаков, установленные Г. Менделем, также часто нарушаются и при взаимодействии генов.

Закономерности наследственности, их цитологические основы

Согласно хромосомной теории наследственности каждая пара генов локализована в паре гомологичных хромосом, причем каждая из хромосом несет только по одному из этих факторов. Если представить, что гены являются точечными объектами на прямых — хромосомах, то схематически гомозиготные особи могут быть записаны как $A\|A$ или $a\|a$, тогда как гетерозиготная — $A\|a$. При образовании гамет в процессе мейоза каждый из генов пары гетерозиготы окажется в одной из половых клеток (рис. 45).

Например, если скрестить двух гетерозиготных особей, то при условии образования у каждой из них только пары гамет возможно получение всего лишь четырех дочерних организмов, три из которых будут нести хотя бы один доминантный ген A, и только один будет гомозиготен по рецессивному гену a, то есть закономерности наследственности носят статистический характер (рис. 46).

Если гены располагаются в разных хромосомах, то при образовании гамет распределение между ними аллелей из данной пары гомологичных хромосом происходит совершенно независимо от распределения аллелей из других пар.

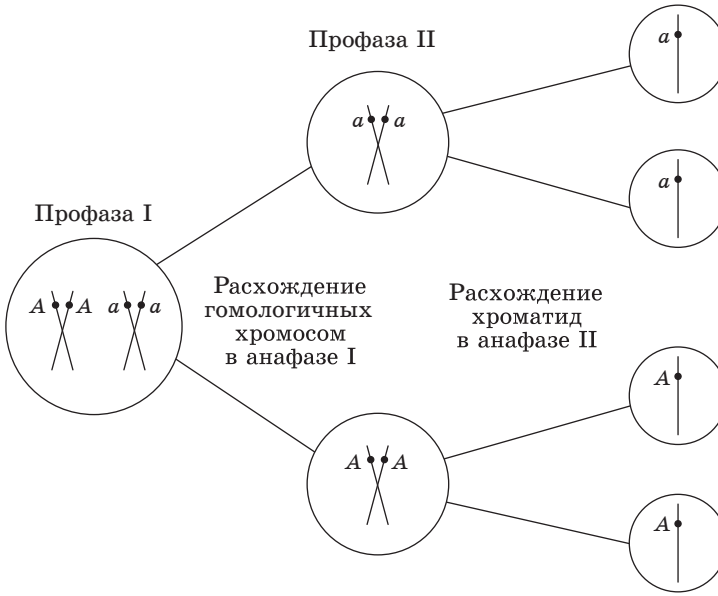


Рис. 45. Расхождение аллельных генов в процессе гаметогенеза

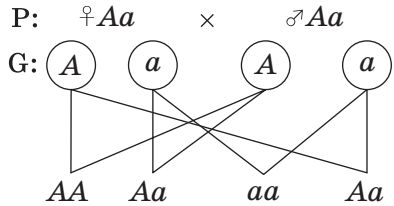


Рис. 46. Сочетания гамет в процессе оплодотворения

Именно случайное расположение гомологичных хромосом на экваторе веретена в метафазе I мейоза и их последующее расхождение в анафазе I ведет к разнообразию рекомбинаций аллелей в гаметах (рис. 47).

Число возможных сочетаний аллелей в мужских или женских гаметах можно определить по общей формуле 2^n, где n — число хромосом, характерное для гаплоидного набора. У человека $n = 23$, а возможное число сочетаний составляет $2^{23} = 8\,388\,608$. Последующее объединение гамет при оплодотворении является также случайным, и поэтому в потомстве можно зафиксировать независимое расщепление по каждой паре признаков.

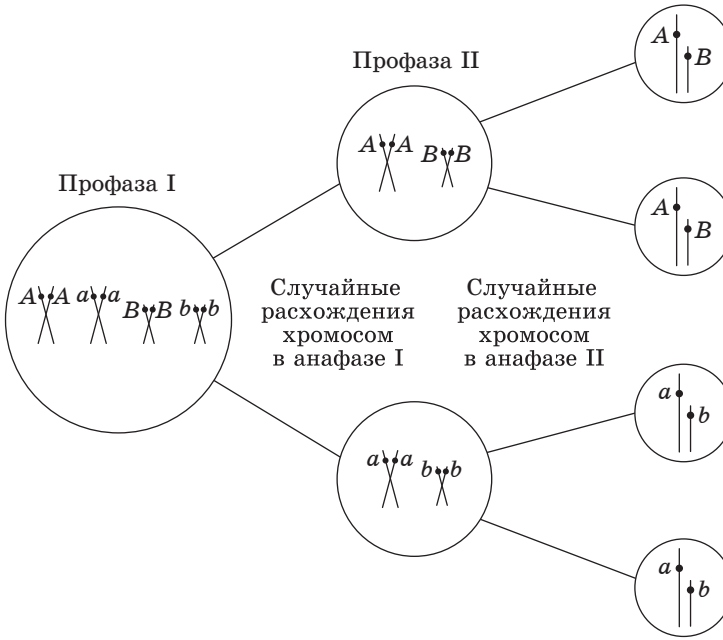


Рис. 47. Независимое расщепление каждой пары признаков

Однако число признаков у каждого организма во много раз больше числа его хромосом, которые можно различить под микроскопом, следовательно, каждая хромосома должна содержать множество факторов. Если представить себе, что у некоторой особи, гетерозиготной по двум парам генов, расположенных в гомологичных хромосомах, образуются гаметы, то следует учитывать не только вероятность образования гамет с исходными хромосомами, но и гамет, получивших измененные в результате кроссинговера в профазе I мейоза хромосомы. Следовательно, в потомстве возникнут новые сочетания признаков. Данные, полученные в экспериментах на дрозофиле, легли в основу *хромосомной теории наследственности*.

Закон Моргана: сцепленное наследование признаков, нарушение сцепления генов

Новый организм получает от родителей не россыпь генов, а целые хромосомы, при этом количество признаков и соответственно определяющих их генов гораздо больше, чем хромосом. В соответствии с хромосомной теорией наследственности, гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются сцепленно. Вследствие этого при дигибридном скрещивании они не дают ожидаемого расщепления 9:3:3:1 и не подчиняются третьему закону Менделя. Можно было бы ожидать, что сцепление генов является полным, и при скрещивании гомозиготных по данным генам особей и во втором поколении дает исходные фенотипы в соотношении 3:1, а при анализирующем скрещивании гибридов

первого поколения расщепление должно составлять 1:1.

Для проверки этого предположения американский генетик Т. Морган выбрал у дрозофилы пару генов, контролирующих окраску тела (серое — черное) и форму крыла (длинные — зачаточные), которые расположены в одной паре гомологичных хромосом. Серое тело и длинные крылья являются доминантными признаками. При скрещивании гомозиготной мухи с серым телом и длинными крыльями и гомозиготной мухи с черным телом и зачаточными крыльями во втором поколении действительно были получены в основном родительские фенотипы в соотношении, близком к 3:1, однако имелось и незначительное количество особей с новыми комбинациями этих признаков. Данные особи называются *рекомбинантными*.

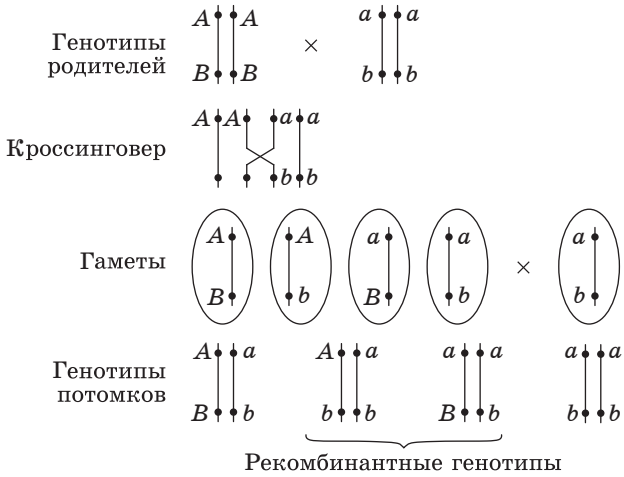


Рис. 48. Сцепленное наследование признаков и кроссинговер

Однако, проведя анализирующее скрещивание гибридов первого поколения с гомозиготами по рецессивным генам, Т. Морган обнаружил, что 41,5 % особей имели серое тело и длинные крылья, 41,5 % — черное тело и зачаточные крылья, 8,5 % — серое тело и зачаточные крылья, и 8,5 % — черное тело и зачаточные крылья. Он связал полученное расщепление с кроссинговером, происходящим в профазе I мейоза, и предложил считать единицей расстояния между генами в хромосоме 1 % кроссинговера, впоследствии названный в его честь *морганидой*.

Закономерности сцепленного наследования, установленные в ходе экспериментов на дрозофиле, получили название *закона Моргана*.

Закон Моргана:

Гены, локализованные в одной хромосоме, занимают определенное место, называемое локусом, и наследуются сцепленно, причем сила сцепления обратно пропорциональна расстоянию между генами.

Гены, расположенные в хромосоме непосредственно друг за другом (вероятность кроссинговера крайне мала), называются сцепленными полностью, а если между ними находится еще хотя бы один ген, то они сцеплены не полностью и их сцепление нарушается при кроссинговере в результате обмена участками гомологичных хромосом.

Хромосомная теория наследственности

Результаты экспериментов основоположника генетики Г. Менделя, английских генетиков У. Бэтсона, Р. Пеннета, Л. Донкастера и группы ученых,

возглавляемой Т. Морганом, позволили к середине 20-х гг. XX в. сформулировать основные положения хромосомной теории наследственности, определить порядок расположения генов в хромосомах и расстояния между ними, то есть составить первые карты хромосом.

Основные положения хромосомной теории наследственности:

1. Гены расположены в хромосомах.
2. Гены одной хромосомы наследуются совместно, или сцепленно, и называются *группой сцепления*.
3. Число групп сцепления численно равно гаплоидному набору хромосом.
4. В каждой хромосоме сосредоточены определенные гены, отвечающие за целый ряд признаков.
5. Каждый ген занимает в хромосоме строго определенное место — *локус*.
6. Гены в хромосомах расположены линейно.
7. Нарушение сцепления генов происходит только в результате кроссинговера.
8. Расстояние между генами в хромосоме пропорционально проценту кроссинговера между ними.
9. Независимое наследование характерно только для генов негомологичных хромосом.

Генетика пола

Пол — это совокупность морфологических и физиологических особенностей организма, обеспечивающих половое размножение, сущность которого сводится к оплодотворению, то есть слиянию

мужских и женских половых клеток в зиготу, из которой развивается новый организм.

Признаки, по которым один пол отличается от другого, делят на первичные и вторичные. К *первичным половым признакам* относятся половые органы, а все остальные — ко *вторичным*.

У человека вторичными половыми признаками являются тип телосложения, тембр голоса, преобладание мышечной или жировой ткани, наличие оволосения на лице, кадыка, молочных желез. Так, у женщин таз обычно шире плеч, преобладает жировая ткань, выражены молочные железы, голос высокий. Мужчины же отличаются от них более широкими плечами, преобладанием мышечной ткани, наличием оволосения на лице и кадыка, а также низким голосом.

В кариотипе мужчин есть две непарные хромосомы. По форме эти хромосомы в начале деления напоминают латинские буквы X и Y, и поэтому были названы X- и Y-хромосомами. Сперматозоиды мужчины могут нести одну из этих хромосом и определять пол будущего ребенка. В связи с этим хромосомы человека и многих других организмов делят на две группы: *аутосомы* и *гетерохромосомы*, или *половые хромосомы*.

В тех случаях, когда пол несет одинаковые половые хромосомы, например XX, говорят, что он *гомозиготен*, или *гомогаметен* (образует одинаковые гаметы). Другой же пол, имеющий разные половые хромосомы (XY), называется *гемизиготным* (не имеющим полного эквивалента аллельных генов), или *гетерогаметным*. У человека, большинства млекопитающих, мушки дрозофилы и других организмов гомогаметен женский

пол (XX), а мужской — гетерогаметен (XY), тогда как у птиц гомогаметен мужской пол (ZZ, или XX), а женский — гетерогаметен (ZW, или XY).

Кариотип мужчины записывается как ♂ 46, XY, а кариотип женщины — как ♀ 46, XX.

Поскольку некоторые гены находятся в половых хромосомах, неодинаковых у представителей противоположных полов, характер наследования признаков, кодируемых данными генами, отличается от общего. Такой тип наследования называется *крис-кросс наследованием*, поскольку мужчины наследуют признаки матери, а женщины — отца. Признаки, определяемые генами, которые находятся в половых хромосомах, называются *сцепленными с полом*. Примерами признаков, сцепленных с полом, являются рецессивные признаки гемофилии и дальтонизма, которые в основном проявляются у мужчин, так как в Y-хромосоме нет аллельных генов. Женщины болеют такими болезнями только в том случае, если и от отца, и от матери они получили такие признаки.

Например, если мать была гетерозиготным носителем гемофилии, то у половины ее сыновей свертываемость крови будет нарушена:

X^H — нормальное свертывание крови;

X^h — несвертываемость крови (гемофилия).

P	♀ X^HX^h нормальная свертываемость крови	×	♂ X^HY нормальная свертываемость крови
Гаметы	X^H, X^h		X^H, Y
F_1	X^HX^H, X^HX^h, X^HY нормальная свертываемость крови		X^hY гемофилия

Признаки, закодированные в генах Y-хромосомы, передаются сугубо по мужской линии и называются *голандрическими* (наличие перепонки между пальцами ног, повышенное оволосение края ушной раковины).

Генотип как целостная система. Взаимодействие генов

Генотип не является механической суммой генов, поскольку возможность проявления гена и форма его проявления зависят от условий среды. В данном случае под средой понимается не только окружающая среда, но и генотипическая среда — другие гены.

Проявление качественных признаков редко зависит от условий окружающей среды, хотя, если у горностаевого кролика выбрить участок тела с белой шерстью и прикладывать к нему пузырь со льдом, то со временем на этом месте вырастет черная шерсть.

Развитие количественных признаков намного сильнее зависит от условий окружающей среды, например, если современные сорта пшеницы возделывать без применения минеральных удобрений, то ее урожайность будет существенно отличаться от генетически запрограммированных 100 и более центнеров с гектара.

Таким образом, в генотипе записаны лишь «способности» организма, однако проявляются они только во взаимодействии с условиями окружающей среды.

Кроме того, гены взаимодействуют друг с другом и, оказавшись в одном генотипе, могут сильно влиять на проявление действия соседних генов.

В связи с этим известный российский генетик М. Е. Лобашев определил генотип как *систему взаимодействующих генов*. Сложилась эта целостная система в процессе эволюции органического мира, при этом выживали лишь те организмы, у которых взаимодействие генов давало наиболее благоприятную реакцию в онтогенезе.

Ко **взаимодействию аллельных генов** относят полное и неполное доминирование, кодоминирование и сверхдоминирование. *Полным доминированием* считают все случаи взаимодействия аллельных генов, при которых в гетерозиготе наблюдается проявление исключительно доминантного признака, как, например, окраска и форма семени у гороха.

Неполное доминирование — это тип взаимодействия аллельных генов, при котором проявление рецессивного аллеля в большей или меньшей степени ослабляет проявление доминантного, как в случае окраски венчика ночной красавицы (белая + красная = розовая) и шерсти у крупного рогатого скота.

Кодоминированием называют такой тип взаимодействия аллельных генов, при котором оба аллеля проявляются, не ослабляя эффектов друг друга. Типичным примером кодоминирования является наследование групп крови по системе *AB0* (табл. 2). IV (AB) группа крови у человека (генотип — I^AI^B).

Как видно из таблицы, I, II и III группы крови наследуются по типу полного доминирования,

тогда как IV (AB) группа (генотип — I^AI^B) является случаем кодоминирования.

Сверхдоминирование — это явление, при котором в гетерозиготном состоянии доминантный признак проявляется намного сильнее, чем в гомозиготном; сверхдоминирование часто используется в селекции и считается причиной *гетерозиса* — явления гибридной силы.

Особым случаем взаимодействия аллельных генов можно считать так называемые *летальные* гены, которые в гомозиготном состоянии приводят к гибели организма чаще всего в эмбриональном периоде. Причиной гибели потомства является плейотропное действие генов серой окраски шерсти у каракулевых овец, платиновой окраски у лис и отсутствие чешуи у зеркальных карпов. При скрещивании двух гетерозиготных по этим генам особей расщепление по исследуемому признаку в потомстве будет равняться 2:1 вследствие гибели 1/4 потомства.

ЗАПОМНИ

И аллельные, и неаллельные гены способствуют проявлению признаков других генов или подавляют их.

Основными типами **взаимодействия неаллельных генов** являются комплементарность, эпистаз и полимерия. *Комплементарность* — это тип взаимодействия неаллельных генов, при котором для проявления определенного состояния признака необходимо присутствие как минимум двух доминантных аллелей разных пар, например, у тыквы при скрещивании растений со сферическими (*AAbb*) и длинными (*aaBB*) плодами в первом поколении появляются растения с дисковидными плодами (*AaBb*).

К *эпистазу* относят такие явления взаимодействия неаллельных генов, при которых один неаллельный ген подавляет развитие признака другого, например, у кур окраска оперения определяется одним доминантным геном, тогда как другой доминантный ген подавляет развитие окраски, в результате чего большинство кур имеют белое оперение.

Полимерией называют явление, при котором неаллельные гены оказывают одинаковое влияние на развитие признака. Таким образом чаще всего кодируются количественные признаки, например, цвет кожи человека определяется как минимум четырьмя парами неаллельных генов — чем больше доминантных аллелей в генотипе, тем темнее кожа.

Генетика человека

Для человека как биологического вида в полной мере справедливы генетические закономерности наследственности и изменчивости, установленные для растений и животных. Вместе с тем генетика человека, изучающая закономерности наследственности и изменчивости у человека на всех уровнях его организации и существования, занимает особое место среди других разделов генетики.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Генетика человека занимается исследованием наследственных болезней, которых описано уже более 4 тыс.

Биосоциальная природа человека накладывает значительный отпечаток на исследования в области его генетики вследствие позднего полового созревания и больших временных разрывов между поколениями, малочисленности потомства, невоз-

можности направленных скрещиваний для генетического анализа, отсутствия чистых линий, недостаточной точности регистрации наследственных признаков и небольших родословных, невозможности создания одинаковых и строго контролируемых условий для развития потомков от разных браков, сравнительно большого числа плохо различающихся хромосом и невозможности экспериментального получения мутаций.

Методы, применяемые в генетике человека, принципиально не отличаются от общепринятых для других объектов — это: генеалогический, близнецовый, цитогенетический, дерматоглифический, молекулярно-биологический и популяционно-статистический методы, метод гибридизации соматических клеток и метод моделирования. Их использование в генетике человека учитывает специфику человека как генетического объекта.

Генеалогический метод — это метод составления родословных, с помощью которых определяют характер наследования изучаемых признаков, в том числе наследственных болезней, и прогнозируют рождение потомков с соответствующими признаками. Он позволил выявить наследственную природу таких заболеваний, как гемофилия и дальтонизм, еще до открытия основных закономерностей наследственности. При составлении родословных ведут записи о каждом из членов семьи и учитывают степень родства между ними. Далее на основании полученных данных с помощью специальной символики строится родословное древо.

Генеалогический метод можно использовать на одной семье, если есть сведения о достаточном количестве прямых родственников человека, ро-

дословная которого — *пробанда* — составляется по отцовской и материнской линиям, в противном случае собирают сведения о нескольких семьях, в которых проявляется данный признак. Генеалогический метод позволяет установить не только наследуемость признака, но и характер наследования: доминантный или рецессивный, аутосомный или сцепленный с полом и т. д.

При составлении родословных принято использовать условные обозначения (рис. 49).

Близнецовый метод помогает определить вклад наследственности и влияние условий окружающей среды на проявление признака на основе анализа совпадения этих признаков у однояйцевых и разнояйцевых близнецов. Так, у большинства однояйцевых близнецов совпадают группы крови, цвет глаз и волос, а также целый ряд других признаков, тогда как корью болеют одновременно оба типа близнецов.

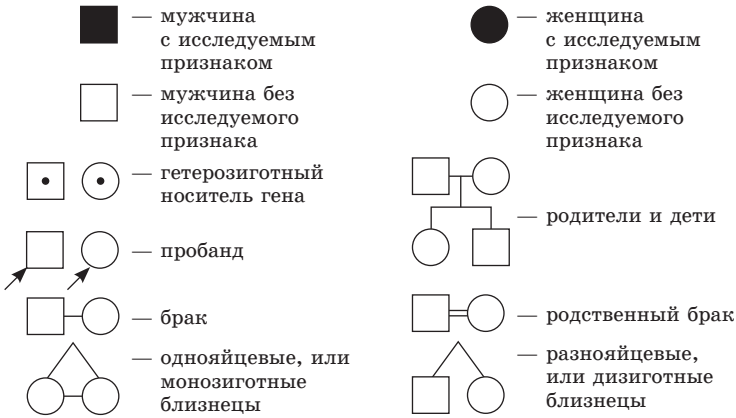


Рис. 49. Условные обозначения, используемые при составлении родословных

Дерматоглифический метод основан на исследовании индивидуальных особенностей кожных рисунков пальцев рук (дактилоскопия), ладоней и ступней ног. На основе этих особенностей он зачастую позволяет своевременно выявить наследственные заболевания, в частности хромосомные аномалии, такие как синдром Дауна, Шерешевского—Тернера и др.

Закономерности изменчивости

Давно было подмечено, что даже однояйцевые близнецы-клоны, выросшие в разных условиях, приобретают целый ряд различий, обусловленных, прежде всего, условиями среды. Это свойство организмов приобретать новые признаки в течение жизни называется *изменчивостью*. Ее изучение является одной из основных задач генетики, так как выявление причин и пределов изменчивости позволяет установить соотношение наследственных задатков и приобретенных отклонений в проявлении признака, создать оптимальные условия для реализации генетически заложенного потенциала породами животных и сортами растений, а также предотвратить проявление нежелательных признаков.

Изменчивость делят на наследственную, или генотипическую, и ненаследственную, или фенотипическую.

Наследственная изменчивость закрепляется в генотипе и передается в ряду поколений. К наследственной изменчивости относят комбинативную и мутационную изменчивости. Она является основой разнообразия живых организмов и эволюции в целом.

Ненаследственная, или **групповая**, **изменчивость** не связана с изменениями генотипа и не передается в ряду поколений. К ней относится прежде всего модификационная изменчивость.

Ненаследственная (модификационная) изменчивость

Фенотипические изменения организма, не связанные с изменениями наследственного аппарата, называют *модификациями*.

Модификации являются результатом взаимодействия генотипа и окружающей среды. Примерами модификационной изменчивости является разнолистность у растений, окраска крыльев у бабочки пестрокрыльницы изменчивой, загар у человека и т. д. Так, у стрелолиста надводные листья имеют традиционную стреловидную форму, плавающие — округлую, а подводные — удлиненную.

Модификации имеют приспособительное значение, поскольку у стрелолиста лентовидный лист менее подвержен риску повреждения течением, а загар защищает организм человека от губительного действия ультрафиолетовых лучей. Скорее всего модификации возникли в процессе эволюции каждого вида как адаптации к наиболее часто встречающимся изменениям факторов окружающей среды. При попадании организма в непривычные условия могут возникать модификации, лишенные биологического смысла, например, при затенении нижней части стебля картофеля на нем начинают образовываться надземные клубни.

При всей пластичности признаков живых организмов даже модификационная изменчивость имеет определенные пределы, обусловленные возможностями генотипа.

Норма реакции — это диапазон фенотипических проявлений одного и того же генотипа в разных условиях среды.

Норма реакции, по-видимому, сформировалась в процессе эволюции, поскольку в конкретных условиях среды выживали только те организмы, фенотипические изменения которых способствовали их существованию, то есть норма реакции имеет приспособительный характер.

Исследовав конкретный признак у многих особей, можно составить *вариационный ряд* — последовательность количественных показателей состояния признака, или вариант, расположенных в порядке их возрастания или убывания. Длина данной последовательности будет зависеть как от пластичности генотипа, так и от изменчивости условий среды. Распределение отдельных вариантов в популяции носит статистический характер, поскольку наиболее часто встречается среднее значение признака, тогда как его крайние проявления достаточно редки, что обусловлено более редким воздействием экстремальных значений факторов среды. Например, если измерить листья одного

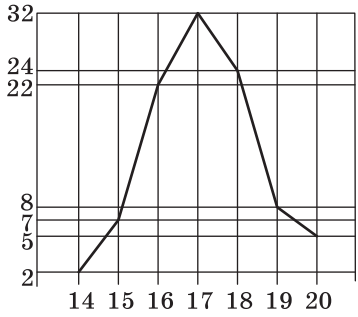


Рис. 50. Вариационная кривая количества колосков в колосе пшеницы

из видов эвкалипта, то на 100 листьев довольно редко встречаются не достигающие в длину 14 см или превышающие 20 см, тогда как средние размеры колеблются в пределах 16—18 см. На основании измерений или взвешиваний строятся графические отображения изменчивости признака, отражающие норму реакции и частоту встречаемости отдельных вариант — *вариационные кривые* (рис. 50).

Наследственная изменчивость: мутационная, комбинативная

Наследственная изменчивость закрепляется в генотипе и передается потомкам. Она является основой разнообразия живых организмов и эволюции в целом. К наследственной изменчивости относят, прежде всего, комбинативную и мутационную изменчивости.

Комбинативная изменчивость — форма наследственной изменчивости, обусловленная сочетанием генов, полученных от обоих родителей в процессе оплодотворения.

Она возникает как результат рекомбинации генов при кроссинговере, независимого расхождения хромосом в анафазе I мейоза и случайной встречи гамет при оплодотворении. Все генотипическое и фенотипическое разнообразие особей любой систематической группы является результатом комбинативной изменчивости, поскольку только в этом процессе возникают уникальные сочетания генов и устанавливаются новые взаимодействия между ними, что в конечном

итоге и определяет появление новых признаков и свойств организмов.

Комбинативная изменчивость может наблюдаться и у организмов, размножающихся бесполым способом, например, у бактерий при переносе информации бактериофагами от одной бактерии к другой в процессе заражения.

Мутационная изменчивость — это форма изменчивости, связанная с возникновением и проявлением мутаций.

Мутация — это внезапно возникающее естественное или вызванное искусственно изменение генетического материала, приводящее к изменению тех или иных наследственных признаков организма.

Существует несколько классификаций мутаций. По месту возникновения их делят на *соматические* и *генеративные*. Наиболее опасными являются генеративные мутации, так как они не отражаются на жизнедеятельности родительских особей, проявляясь только у потомков.

По влиянию на жизнеспособность организмов выделяют летальные, полулетальные и нейтральные мутации. *Летальные* мутации вызывают гибель организма чаще всего в эмбриональном периоде развития, как, например, у некоторых каракулевых овец. *Полулетальные*, или *сублетальные*, мутации снижают жизнеспособность особей (серповидноклеточная анемия у человека), тогда как *нейтральные* мутации не влияют на их жизнеспособность.

В зависимости от того, насколько большой участок наследственной информации затрагивает мутация, выделяют генные, хромосомные и геномные

мутации. *Генные*, или *точечные*, *мутации* — это мутации, связанные с перестановками нуклеотидов, их выпадением и вставками в пределах одного гена. Многие генные мутации приводят к тяжелым генным заболеваниям, таким как гемофилия, дальтонизм, серповидноклеточная анемия и др.

Хромосомные мутации вызваны изменениями более крупных участков ДНК, затрагивающих уже несколько генов. Примером болезни, вызванной такой мутацией, является синдром «кошачьего крика».

Геномными называют мутации, связанные с изменением числа хромосом, то есть их нехваткой или избытком. Изменение количества хромосом на число, кратное гаплоидному набору хромосом, называется *полиплоидией*. Полиплоидизация широко используется при выведении новых сортов растений, так как они обычно обладают большей продуктивностью, чем диплоидные растения.

Явлением, обратным полиплоидизации, является *гаплоидизация*. Несмотря на то что гаплоидные формы обычно имеют меньшие размеры и сниженную продуктивность, их используют в селекции для выявления рецессивных аллелей и получения форм, гомозиготных по всем генам.

Изменение числа хромосом на некратное гаплоидному набору называется *анеуплоидией*. У животных и человека анеуплоидии вызывают тяжелые расстройства состояния здоровья и часто смертельно опасны. Примерами анеуплоидий у человека являются синдромы Дауна, Шерешевского—Тернера, Клайнфельтера.

Мутации возникают спонтанно (под действием внутренних факторов) или под действием различ-

ных факторов, которые называют *мутагенами*. Мутагены делят на физические, химические и биологические. В качестве *физических мутагенов* могут выступать ионизирующая радиация, ультрафиолетовое излучение, повышенные температуры и др. *Химическими мутагенами* являются не только различные органические растворители, нефтепродукты, соли тяжелых металлов, многие лекарственные препараты, но и алкоголь, никотин, наркотические вещества. К *биологическим мутагенам* относят, прежде всего, вирусы, способные встраиваться в наследственный аппарат клетки, повреждая его, а также переносить фрагменты другим организмам, как это происходит у бактерий с помощью бактериофагов.

Значение изменчивости в жизни организмов и в эволюции

Изменчивость играет важную роль в процессах как индивидуального развития организмов, так и в их историческом развитии. Особое место в этом процессе занимают мутации, поскольку они могут оказаться как полезными, так и вредными, в том числе и летальными. Так, у человека значительная часть беременностей заканчивается самопроизвольным выкидышем на ранних сроках вследствие наличия у зародыша геномных и хромосомных аномалий. Хромосомные мутации могут также привести к возникновению и закреплению новых благоприятных признаков, являющихся результатом взаимодействия генов, которые оказались рядом.

Генные мутации обеспечивают полиморфизм аллелей в определенных локусах, что увеличивает гетерозиготность популяции, делает более разнообразным ее генофонд и ведет к усилению внутрипопуляционной изменчивости. При этом доминантные мутации сравнительно редко закрепляются в потомстве, поскольку особи с такими признаками непосредственно подвергаются естественному отбору, тогда как рецессивные мутации могут длительное время пребывать в популяции в скрытом состоянии и становятся объектом отбора только в том случае, когда их концентрация в популяции достигнет определенного значения и начнут появляться особи с рецессивными признаками.

Таким образом, мутационная изменчивость обеспечивает резерв выживаемости данного вида в меняющихся условиях среды.

Новые сочетания генов, которые создаются в результате кроссинговера, независимого расхождения хромосом и случайности встречи гамет (комбинативная изменчивость), с одной стороны, обеспечивают многообразие генотипов и фенотипов в популяциях, а с другой — являются преходящими, то есть так же легко создаются, как и разрушаются. Это явление объясняет появление у выдающихся родителей посредственных потомков.

Модификационная изменчивость не наследуется, однако она является своеобразной проверкой правильности выбранной стратегии адаптации к определенным условиям среды, и впоследствии возможно появление мутаций, которые бы закрепляли генетически лучшие варианты модификаций.

Селекция

Селекция — это наука о выведении сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов с ценными для человека свойствами. Под селекцией подразумевают также и сам процесс их выведения.

Первым этапом селекции было *одомашнивание* (*доместикация*), в процессе которого шел отбор по поведению животных и способности размножаться под контролем человека. Оно позволило сохранить огромное разнообразие признаков, в том числе неблагоприятных для вида.

Выдающийся русский генетик и селекционер Н. И. Вавилов в ходе многочисленных экспедиций изучил мировые растительные ресурсы и установил, что наибольшее разнообразие форм определенного вида характерно для тех районов, где этот вид был введен в культуру. В соответствии с этим он определил семь центров происхождения культурных растений (табл. 3).

Дальнейшие исследования позволили выделить уже 12 центров происхождения культурных растений, тесно связанных с центрами одомашнивания животных.

На основании изучения признаков культурных растений и близких к ним диких видов Н. И. Вавилов в 1920 году сформулировал **закон гомологических рядов в наследственной изменчивости**:

Генетически близкие виды и роды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других видов

и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды и виды, тем полнее сходство в рядах их изменчивости. Целые семейства растений в общем характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды и виды, составляющие семейство.

Генетической основой данного закона является то, что степень исторического родства прямо пропорциональна количеству их общих генов, вследствие чего и мутации этих генов могут быть сходными. В фенотипе это проявляется одинаковым характером изменчивости многих признаков у близких видов, родов и других таксонов.

Закон гомологических рядов наследственной изменчивости организмов объясняет направленность исторического развития родственных групп организмов. Опираясь на него и изучив наследственную изменчивость близких видов, в селекции планируют работу по созданию новых сортов растений и пород животных с определенным набором наследственных признаков. В систематике организмов этот закон позволяет предвидеть существование неизвестных науке систематических групп (видов, родов и т. д.) с подобными сочетаниями признаков, выявленных в близкородственных группах.

Основные **методы селекции** — *гибридизация* и *искусственный отбор*.

Гибридизация — это процесс образования или получения гибридов, в основе которого лежит объединение генетического материала разных клеток в одной клетке.

Для достижения результата в процессе гибридизации особое внимание уделяется подбору

родительских пар. В селекции растений подбор ведется по определенным признакам с учетом генетической и географической удаленности; в селекции животных — только по хозяйственно ценным признакам, которые определяют по экстерьеру, родословной и потомству.

Выделяют родственную и неродственную гибридизации. Родственное скрещивание, или *инбридинг*, приводит к появлению чистых линий, но при этом снижается жизнеспособность потомства вследствие перехода различных летальных и полулетальных генов в гомозиготное состояние.

ЗАПОМНИ

Гибриды растений довольно часто являются бесплодными, и поэтому их либо каждый раз выводят заново, либо размножают вегетативно.

Неродственное скрещивание, или *аутбридинг*, бывает внутривидовым и межвидовым (в т. ч. отдаленная гибридизация). Аутбридинг в первом поколении дает эффект гетерозиса.

Гетерозис — явление повышения жизнеспособности и продуктивности у гибридов первого поколения по сравнению с исходными родительскими формами.

Данное явление объясняется благоприятным сочетанием родительских генов, а также переходом сублетальных и летальных аллелей в гетерозиготное состояние. Во втором и последующих поколениях эффект гетерозиса ослабевает вследствие расщепления генов и гомоготизации. Эффект гетерозиса широко применяется в сельском хозяйстве, так как он позволяет существенно повысить урожайность растений (кукурузы, огурцов, томатов) и продуктивность животных (яйценоскость гибри-

дов леггорнов, скорость роста и улучшение качества мяса бройлеров).

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

Выделяют две формы искусственного отбора: *бессознательный*, ведущийся без определенного плана, и *методический*, производимый с определенной целью. Примером искусственного отбора являются породы домашних голубей, выведенные от дикого скалистого голубя. Также он применяется в форме *массового* и *индивидуального* отбора. Массовый отбор является эффективным при высокой наследуемости признака. В основном он используется в селекции растений и микроорганизмов. При индивидуальном отборе учитываются не только показатели продуктивности или иные качества организма, но и наследование данного признака в ряду поколений. В комбинации с инбридингом он позволяет получить чистые линии. Индивидуальный отбор характерен для селекции животных и самоопыляющихся растений.

Теорию искусственного отбора создал великий английский ученый Ч. Дарвин.

ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ

1. Для предотвращения инфицирования вирусом иммунодефицита человеку следует
1) сделать профилактическую прививку
2) мыть овощи и фрукты перед едой
3) избегать случайных половых связей
4) кипятить питьевую воду

2. Какие признаки характерны для процесса дробления в эмбриогенезе?
1) недлительный митоз, длительная интерфаза, увеличение количества хромосом
2) длительный митоз, недлительная интерфаза, уменьшение количества хромосом
3) недлительный митоз, недлительная интерфаза, сохранение постоянства количества хромосом
4) недлительный митоз, недлительная интерфаза, уменьшение количества хромосом

3. Стадия эмбрионального развития зародыша многоклеточных животных, на которой он имеет однослойную стенку и полость, — это
1) зигота
2) бластула
3) морула
4) гаструла

4. Процесс обособления двух первичных зародышевых листков (наружного — эктодермы и внутреннего — энтодермы) у зародышей многоклеточных животных — это
1) гаструляция
2) бластуляция
3) нейруляция
4) дробление

5. Ген у прокариот — это участок
1) ДНК
2) рРНК
3) иРНК
4) тРНК

6. Известно, что растение имеет генотип *CcDd*. Какое расщепление по фенотипу можно ожидать в потомстве этого растения при самоопылении при условии полного доминирования по всем парам аллелей?
1) 9:3:3:1
2) 9:7
3) 3:1
4) 1:1

7. Примером какого скрещивания является схема

P	♀ *ccdd* ×	♂ *CCDD*
Гаметы	*cd*	*CD*
F_1	*CcDd*	

1) моногибридного
2) дигибридного дигомозиготных особей
3) дигибридного дигетерозиготных особей
4) тригибридного тригомозиготных особей

8. Пол будущего ребенка определяется
1) характером питания матери
2) набором хромосом в яйцеклетке
3) набором хромосом в сперматозоиде
4) условиями окружающей среды

9. Какую последовательность аминокислот будет иметь белок, если в процессе транскрипции гена с последовательностью нуклеотидов АГАТГЦЦГТГТТЦАЦ произойдет делеция второго, шестого и одиннадцатого нуклеотидов?
1) сер — тре — ала — глн — вал
2) лей — тре — ала — арг — вал
3) сер — тре — ала — вал
4) лей — арг — тре — вал

ЭКСПРЕСС-ПОМОЩНИК

Признаки гороха, наследование которых изучено Г. Менделем

Признак	Вариант проявления	
	Доминантный	*Рецессивный*
Окраска семян	Желтая	Зеленая
Форма семян	Гладкая	Морщинистая
Форма плода (боба)	Простая	Членистая
Окраска плода	Зеленая	Желтая
Окраска венчика цветка	Красная	Белая
Положение цветков	Пазушное	Верхушечное
Длина стебля	Длинный	Короткий

Наследование групп крови по системе *AB0*

Группа крови	Фенотип		Генотип
	агглютиногены	агглютинины	
I (0)	—	α, β	*ii*
II (A)	A	β	$I^A I^A$ или $I^A i$
III (B)	B	α	$I^B I^B$ или $I^B i$
IV (AB)	A и B	—	$I^A I^B$

Центры происхождения культурных растений

Название центра	Географическое положение	Примеры культурных растений
Южно-азиатский тропический	Тропическая Индия, Индокитай, Южный Китай, о-ва Юго-Восточной Азии	Рис, сахарный тростник, цитрусовые, огурец, баклажан, черный перец и др. (50 % культурных растений)
Восточно-азиатский	Центральный и Восточный Китай, Япония, Корея, Тайвань	Соя, просо, гречиха, плодовые и овощные культуры — слива, вишня, редька и др. (20 % культурных растений)
Юго-Западно-азиатский	Малая Азия, Средняя Азия, Иран, Афганистан, Юго-Западная Индия	Пшеница, рожь, бобовые культуры, лен, конопля, репа, морковь, чеснок, виноград, абрикос, груша и др. (14 % культурных растений)
Средиземноморский	Страны Средиземноморского бассейна	Капуста, сахарная свекла, маслины, клевер, чечевица, кормовые травы (11 % культурных растений)
Абиссинский	Абиссинское нагорье Африки	Твердая пшеница, ячмень, кофейное дерево, сорго, бананы
Центральноамериканский	Южная Мексика	Кукуруза, длинноволокнистый хлопчатник, какао, тыква, табак
Южноамериканский	Южная Америка вдоль западного побережья	Картофель, ананас, хинное дерево

Сравнительная характеристика полового и бесполого размножения

Признаки	Половое размножение	Бесполое размножение
Участвующие клетки	Гаметы, продуцированные обоими родителями	Одна или несколько соматических клеток одного организма
Потомство	Сочетает признаки родителей	Генетически однородно и не отличается от родителей (если нет соматических мутаций)
Основной механизм деления	Мейоз	Митоз
Увеличение численности особей	Медленное	Быстрое воспроизведение большого числа потомков
Значение	Способствует генетическому разнообразию; создает предпосылки для освоения разнообразных условий существования, дает эволюционные перспективы	Усиливает роль стабилизирующих функций естественного отбора; способствует сохранению наибольшей приспособленности к условиям существования

Общая схема гаметогенеза у животных

		Сперматогенез (процесс образования мужских половых клеток в половых железах)		**Овогенез** (процесс образования женских половых клеток в половых железах)	
Зона размножения	• митоз • происходит увеличение количества клеток		• клетки зачаткового эпителия • сперматогонии • сперматоцит I порядка (46 хромосом)		• клетки зачатков эпителия • овогонии • овоцит I порядка (46 хромосом)
Зона роста	• рост клеток до размеров, свойственных половым клеткам данного вида		• сперматоцит I порядка		• овоцит I порядка
Зона созревания	• I деление мейоза • II деление мейоза		• сперматоциты II порядка (23 хромосомы)		• овоцит II порядка (23 хромосомы) • 1-е полярное тельце
Зона формирования			• сперматозоиды (23 хромосомы)		• яйцо (23 хромосомы) • 2-е полярное тельце

Этапы развития половых клеток у растений

I. Спорогенез (происходит путем мейоза, формируются гаплоидные клетки)	
Микроспорогенез (формирование мужских половых клеток, происходит в ткани пыльника)	**Макроспорогенез** (формирование женских половых клеток, происходит в тканях семяпочки)
• в результате митозов возникают материнские клетки микроспор ↓ • после двух мейотических делений возникают четыре гаплоидные микроспоры (тетрады) ↓ • тетрады распадаются на отдельные микроспоры (пыльцевые зерна) ↓ • пыльцевое зерно покрывается двумя оболочками: внутренней и внешней	• обособляется одна или несколько клеток ↓ • клетки растут и становятся крупнее окружающих их клеток семяпочки ↓ • клетка делится митозом, превращается в материнскую клетку макроспоры ↓ • происходит мейоз, образуются четыре гаплоидные клетки ↓ • одна клетка дает начало зародышевому мешку, а три — постепенно дегенерируют ему

Окончание таблицы

II. Гаметогенез (происходит путем нескольких митотических делений, митозы не сопровождаются цитокинезом)	
Микрогаметогенез (2 последовательных митотических деления)	**Макрогаметогенез** (3 последовательных митотических деления)
• образуются две клетки: вегетативная и генеративная: — генеративная клетка претерпевает один митоз; — образуются 2 собственно половые клетки (спермии)	• образуется 8-ядерный зародышевый мешок: — яйцеклетка; — 2 клетки синергиды (содержат ферменты, способствующие растворению оболочек пыльцевых трубок); — 3 клетки антиподы в противоположной части зародышевого мешка (передают питательные вещества из семяпочки в зародышевый мешок); — 2 клетки сливаются, образуя диплоидную центральную клетку

Памятка для решения задач по генетике

1. Прочитав текст задачи, запишите ее условие в виде таблицы. Помните, что в *первой колонке* указывается альтернативное проявление признака (при моногибридном скрещивании) или признаков (при ди- и полигибридных скрещиваниях), причем сначала записывается доминантный признак, потом — рецессивный и так для каждой пары альтернативных признаков; во *второй* — обозначения генов; а в *третьей* — ВСЕ возможные генотипы особей с данным фенотипом.

Признак	Ген	Генотип

2. Определите тип задачи: прямая (если из условия известно, какими признаками обладают родители, и спрашивается, какими могут быть их дети) или обратная (если в условии говорится о фенотипе детей и требуется определить генотипы и (или) фенотипы родителей).
3. Если задача прямая, запишите с помощью общепринятых символов схему скрещивания. Если задача обратная, под таблицей с условием запишите данные о генотипах и фенотипах потомков, применяя символы, обозначающие расщепление:
   F_1: *n (фенотип/возможный генотип) : m (фенотип/возможный генотип)*
   Ниже запишите схему скрещивания.
4. Определите, какие генетические законы и закономерности применяются в данной задаче. Вспомните прямую и обратную формулировку закона, спроецируйте их на задачу.
5. Гетерозиготы всегда образуют четное количество сортов гамет, равное 2^n, где n — число «гетеро» пар аллельных генов (*Aa*, *AaBB*, $n = 1$, $2^1 = 2 \Rightarrow$ два сорта гамет; *AaBb*, *AabbDd*, $n = 2$, $2^2 = 4 \Rightarrow 4$ сорта гамет; *AaBbDd*, $n = 3$, $2^3 = 8 \Rightarrow 8$ сортов гамет и т. д.). Гаметы образуются в соответствии с правилом чистоты гамет!!!
6. При анализирующих скрещиваниях число образованных в поколении гибридов фенотипических классов указывает на число сортов гамет, образуемых гетерозиготной особью, при этом все фенотипические классы будут представлены в равных пропорциях (1:1; 1:1:1:1 и т. д.).

СИСТЕМА И МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Систематика как наука

В настоящее время на Земле известно около 2 млн видов живых организмов, что чрезвычайно затрудняет ориентирование в данном изобилии. В связи с этим сформировался особый раздел биологии, задачей которого является описание и обозначение всех существующих и вымерших видов организмов, а также их классификация по различным группам — *систематика*.

Современная систематика стремится к созданию естественной, или филогенетической системы организмов, поэтому прежде всего учитываются не только существенные признаки, объединяющие живые существа в более или менее крупные группы, но и общность происхождения.

Систематика стала наукой благодаря трудам великого шведского ученого К. Линнея (1707—1778).

Он привел в порядок ботаническую терминологию, внес существенный вклад в разработку понятия «вид», описал более 10 тыс. видов растений, а также ввел в обиход бинарную номенклатуру — способ обозначения организма двумя словами, первое из которых является родовым названием, а второе — определением к нему.

И по сей день венцом научной деятельности К. Линнея является его знаменитая система органического мира, в которой он установил строгую

соподчиненность систематических групп: класс — порядок — род — вид — разновидность.

Младший современник К. Линнея — Ж.-Б. Ламарк (1744—1829) внес не менее ощутимый вклад в развитие систематики, поскольку он не только разделил животных на беспозвоночных и позвоночных, но и выделил 10 их классов. Кроме того, он построил первую естественную систему животного мира, расположив в ней систематические группы по принципу усложнения организации, приблизившись тем самым к пониманию эволюции органического мира.

Вид — это совокупность особей, сходных по морфологическим, физиолого-биохимическим, эколого-географическим и генетическим критериям, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство.

Виды объединяются в *роды*, роды — в *семейства*, семейства — в *отряды* (у животных) или *порядки* (у растений). Отряды или порядки входят в состав *классов*. Из классов состоят *типы* (у животных) и *отделы* (у растений). Эти крупные группы организмов объединяются в *царства*.

Вид, род, семейство, отряд (порядок), класс, тип (отдел), царство — это основные *таксономические*, или *систематические*, *категории*, то есть соподчиненные группы растений и животных, имеющих различную степень родства.

Наибольшей таксономической категорией является царство. До настоящего времени нет устоявшейся точки зрения на количество царств живой природы, их могут выделять от 4 до 22. Обобщая представления о живых организмах, их клеточ-

ном строении и особенностях жизнедеятельности, можно выделить, по крайней мере, четыре царства клеточных организмов — бактерий, растений, грибов и животных, относящиеся к двум *надцарствам* — Прокариоты и Эукариоты, а также царство неклеточных — Вирусы.

Вирусы — неклеточные формы жизни.

Наряду с клеточной формой жизни существуют также и неклеточные ее формы — вирусы и прионы.

Вирусы — мельчайшие живые объекты, неспособные к проявлению каких-либо признаков жизни вне клеток. Факт их существования был доказан в 1892 году русским ученым Д. И. Ивановским. Единственным свойством живого, которое они проявляют, является способность к воспроизведению. Вирусы существуют в *двух формах*: покоящейся, или *внеклеточной*, и воспроизводящейся, или *внутриклеточной*. Свободноживущих вирусов не существует, все они являются внутриклеточными паразитами на генетическом уровне.

Все вирусы условно делят на простые и сложные. Простые вирусы состоят из нуклеиновой кислоты и белковой оболочки — *капсида*. Капсид не монолитен, он собран из субъединиц белка — *капсомеров*.

К ним относятся и вирусы бактерий — *бактериофаги*, у которых выделяют головку и отросток, или хвост. Головка бактериофага образована белковым капсидом и заключенной в нее нуклеиновой кислотой. В хвосте различают белковый чехол и спрятанный внутри него полый стержень. В нижней части стержня имеется специальная пластинка

с шипами и нитями, ответственными за взаимодействие бактериофага с поверхностью клетки (рис. 51).

У сложных вирусов капсид покрыт липопротеиновой мембраной — *суперкапсидом*, в состав которого входят также гликопротеины и неструктурные белки-ферменты.

В отличие от клеточных форм жизни, у которых имеется и ДНК, и РНК, в вирусах присутствует только один вид нуклеиновой кислоты (либо ДНК, либо РНК), поэтому их делят на ДНК- (вирусы оспы, простого герпеса, аденовирусы, некоторые вирусы гепатита и бактериофаги) и РНК-содержащие вирусы (вирусы табачной мозаики, ВИЧ, энцефалита, кори, краснухи, бешенства, гриппа, остальные вирусы гепатита, бактериофаги и др.). У вирусов ДНК может быть представлена одноцепочечной молекулой, а РНК — двухцепочечной.

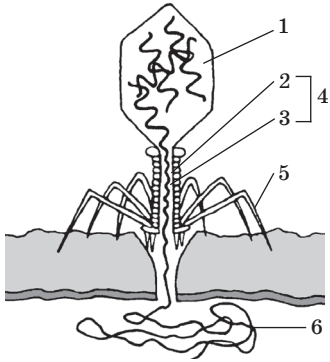


Рис. 51. Введение бактериофагом своей нуклеиновой кислоты в цитоплазму клетки-хозяина:

1 — головка;
2 — чехол;
3 — стержень;
4 — отросток, или «хвост»;
5 — нитки;
6 — нуклеиновая кислота бактериофага

Так как вирусы лишены органоидов движения, заражение происходит при непосредственном контакте вируса с клеткой. В основном это происходит воздушно-капельным путем (грипп), через пищеварительную систему (гепатиты), кровь (ВИЧ) или переносчика (вирус энцефалита).

Непосредственно в клетку вирусы могут попадать случайно, с жидкостью, поглощаемой путем пиноцитоза, однако чаще их проникновению предшествует контакт с мембраной клетки-хозяина, в результате которого нуклеиновая кислота вируса или вся вирусная частица оказывается в цитоплазме. Большинство вирусов проникает не в любую клетку организма-хозяина, а в строго определенную, например, вирусы гепатита поражают клетки печени, а вирусы гриппа — клетки слизистой оболочки верхних дыхательных путей, так как они способны взаимодействовать со специфическими белками-рецепторами на поверхности мембраны клетки-хозяина, которые отсутствуют в других клетках.

После проникновения в клетку происходит «раздевание» вируса, то есть утрата капсида. Дальнейшие события зависят от характера нуклеиновой кислоты вируса: ДНК-содержащие вирусы встраивают свою ДНК в геном клетки-хозяина (бактериофаги), а на РНК либо сначала синтезируется ДНК, которая затем встраивается в геном клетки-хозяина (ВИЧ), либо на ней может непосредственно происходить синтез белка (вирус гриппа). Воспроизведение нуклеиновой кислоты вируса и синтез белков капсида с использованием белоксинтезирующего аппарата клетки являются обязательными компонентами вирусной инфекции, после чего происходят самосборка вирусных частиц и их выход из клетки. Вирусные частицы в одних случаях покидают клетку, постепенно отпочковываясь от нее, а в других случаях происходит микровзрыв, сопровождающийся гибелью клетки.

Вирусы не только угнетают синтез собственных макромолекул в клетке, но и способны вызывать повреждение клеточных структур, особенно во время массового выхода из клетки.

Несмотря на то, что проникшие в клетку вирусы часто быстро подавляют ее системы репарации и вызывают гибель, вероятен также и иной сценарий развития событий — активация защитных сил организма, которая связана с синтезом противовирусных белков, например интерферона и иммуноглобулинов. При этом размножение вируса прерывается, новые вирусные частицы не образуются, а остатки вируса выводятся из клетки.

Происхождение вирусов не совсем ясно, однако полагают, что вирусы и бактериофаги — это обособившиеся генетические элементы клеток (например, плазмиды бактерий), которые эволюционировали вместе с клеточными формами жизни. Существуют также гипотезы упрощения прокариотных организмов вследствие паразитирования и доклеточного происхождения вирусов.

Вирусы вызывают заболевания человека, животных и растений. Однако инфицирование способно и повышать устойчивость организма к разнообразным возбудителям заболеваний, и таким образом способствовать их эволюционному прогрессу. Кроме того, вирусы способны «прихватывать» части генетической информации клетки-хозяина и переносить их следующей жертве, обеспечивая тем самым возникновение мутаций.

В наше время вирусы широко используют в изучении строения и функций генетического аппарата, а также принципов и механизмов реализации наследственной информации, они приме-

няются как инструмент генетической инженерии и биологической борьбы с возбудителями некоторых заболеваний растений, грибов, животных и человека.

Царство бактерий

Строение бактерий. Бактерии — типичные прокариоты, представленные в основном одноклеточными и колониальными, реже многоклеточными формами. Среди них есть как автотрофы, так и гетеротрофы.

Изучением бактерий занимается наука *бактериология*, являющаяся разделом *микробиологии*. Впервые бактерии были описаны в XVII веке выдающимся микроскопистом А. ван Левенгуком.

Средние размеры клетки бактерий составляют 0,5—10 мкм. Бактериальная клетка имеет типичное для прокариот строение: кольцевая молекула ДНК, или хромосома бактерий не отделена от цитоплазмы мембраной, а располагается в особом ее участке — *нуклеоиде*. Хромосома может быть не единственной молекулой ДНК в клетке — дополнительные маленькие кольцевые молекулы ДНК, способные встраиваться в хромосому, называются *плазмидами*. Плазмиды могут нести гены болезнетворности или устойчивости к антибиотикам.

Органоиды бактерий представлены в основном рибосомами, на которых происходит синтез белков. Все ферменты этих организмов находятся либо в цитоплазме, либо на немногочисленных мембранах, например, впячивании плазмалеммы — *мезосоме*.

Запасные вещества бактерий чаще всего откладываются в виде зерен крахмала или гликогена, капель жира и гранул волютина. У ряда бактерий, особенно у синезеленых водорослей, клетки содержат также вакуоли с белковыми оболочками, выполняющие функцию связывания атмосферного азота.

Как и эукариотические клетки, клетка бактерий окружена плазмалеммой, поверх которой чаще всего расположены клеточная стенка и капсула или облако слизи. Основу клеточной стенки большинства бактерий составляет сложное органическое вещество — *муреин*, цианобактерии имеют целлюлозные клеточные стенки. Муреин расщепляется компонентом слюны человека — *лизоцимом*, на чем и основывается его бактерицидное действие (рис. 52).

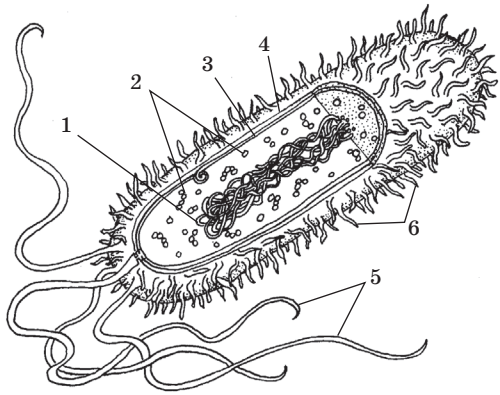


Рис. 52. Строение бактерии:

1 — нуклеоид;
2 — рибосомы;
3 — плазмалемма;
4 — клеточная стенка;
5 — жгутики;
6 — ворсинки

Капсула бактерий представляет собой уплотненный слой слизи, тогда как облако не имеет четко очерченных границ. Бактериальная слизь в основном имеет углеводную природу.

Так как многие бактерии подвижны, они имеют органоиды движения — *жгутики*. Кроме того, у них могут быть другие образования — *ворсинки*, служащие для прикрепления к субстрату или обмена наследственной информацией.

ЗАПОМНИ

Некоторые бактерии не образуют ни клеточной стенки, ни капсулы, а некоторые утратили их в результате воздействия антибиотиков и факторов окружающей среды.

Компоненты поверхностного аппарата защищают бактериальную клетку от воздействия факторов окружающей среды, в том числе от проникновения бактериофагов, придают ей форму, помогают удерживать воду и принимают участие в транспорте веществ, служат резервуаром питательных веществ, объединяют клетки в колонии и цепочки, а также обеспечивают их прикрепление к субстрату.

В зависимости от формы клетки бактерии делят на кокки, бациллы, вибрионы, спириллы и спирохеты. *Кокки* — это бактерии сферической формы, *бациллы* — палочковидной, *спириллы* — спиральной, *вибрионы* имеют вид запятой, тогда как *спирохетами* называют тонкие, длинные и извитые бактерии, способные к движению.

Если настоящие бактерии представлены одиночными клетками или колониальными формами, то среди цианобактерий встречаются также многоклеточные формы, у которых клетки могут различаться по строению и выполняемым

функциям. Так, у водоросли анабены среди вегетативных клеток встречаются и большие по размерам клетки — *гетероцисты*, имеющие общий чехол со всеми остальными клетками. Гетероцисты выполняют функции связывания атмосферного азота и вегетативного размножения, так как именно по этим клеткам происходит разрыв нити водоросли. Цианобактерии содержат хлорофилл и другие пигменты фотосинтеза (каротиноиды и фикобилины), что обусловливает их окраску. К ним принадлежат носток, анабена, осциллатория и др. Особенности строения и процессов жизнедеятельности синезеленых водорослей способствовали их выделению в отдельное подцарство Цианобактерий (синезеленых водорослей), тогда как остальные представители царства относятся к подцарству Бактерии.

Жизнедеятельность бактерий. Бактериям присущи все признаки живого, в том числе обмен веществ и превращения энергии, способность к самовоспроизведению и др. По способу питания бактерии относят к гетеротрофам и автотрофам. Среди гетеротрофных бактерий есть сапротрофы, паразиты, мутуалисты и даже хищники. Большинство бактерий поглощают пищу в растворенном виде из-за наличия клеточной стенки, а не заглатывают ее. Автотрофные бактерии осуществляют как фотосинтез, так и хемосинтез.

По потребности в кислороде бактерии делят на *анаэробов* и *аэробов*. Соотношение этих форм бактерий зависит от особенностей среды обитания.

При неблагоприятных условиях бактерии образуют споры и цисты, имеющие плотные капсулы. Споры способны находиться в неактивном состоянии в течение многих лет (например, споры сибир-

ской язвы — свыше 30 лет), однако при благоприятных условиях «спящая» бактерия возобновляет свою жизнедеятельность.

Бактерии размножаются в основном делением клетки надвое, которому предшествует удвоение ДНК. При благоприятных условиях среды бактерии способны делиться каждые 20—30 мин., нетрудно подсчитать какое количество бактерий дает одна-единственная материнская клетка в течение суток.

ЗАПОМНИ

Большинство бактерий, вызывающих заболевания человека, имеют палочковидную форму: дизентерийная, ботулиническая, дифтерийная, столбнячная.

Вегетативное размножение характерно только для многоклеточных цианобактерий, у которых образуются и отделяются специальные нити для размножения, однако нити могут разрываться и по гетероцистам.

У бактерий наблюдаются также процессы одностороннего переноса наследственной информации, например, при передаче плазмиды от одной бактерии к другой с помощью специальной ворсинки — это *конъюгация*.

Роль бактерий в природе. Бактерии играют исключительную роль в круговороте углерода, кислорода, водорода, азота, фосфора, серы, кальция и других элементов. Они возвращают в почву неорганические вещества (совместно с грибами), разлагая органические, в результате их деятельности образовались кислород земной атмосферы, залежи железной руды, карбонатов и других полезных ископаемых, они связывают азот в почве, образуя симбиоз с корнями бобовых и других растений (клубеньковые бактерии), переводя его в доступную

для растений форму. Бактерии принимают активное участие и в биологической очистке водоемов. При отсутствии этих организмов существенно замедляются процессы почвообразования.

Бактерии нашли широкое применение в хозяйственной деятельности человека. Так, молочнокислые бактерии используются не только в производстве молочнокислых продуктов, но и в процессе квашения овощей и силосования кормов. Кишечная палочка с помощью методов генной инженерии «освоила» производство инсулина, а также является индикатором загрязнения воды. Паразитические бактерии вызывают заболевания человека, животных и растений, называемые *бактериозами*.

Царство грибов

Строение грибов. К грибам относят одноклеточные и многоклеточные эукариотические организмы, которым присущи гетеротрофное питание, прикрепленный способ жизни и неограниченный рост. Клетки грибов обычно имеют хитиновые клеточные стенки, а их основным запасным веществом является гликоген. Размножаются грибы преимущественно спорами.

Тело многоклеточного гриба представляет собой совокупность тонких нитей — *гиф* и называется *грибницей*, или *мицелием*. По строению мицелия грибы делятся на низшие и высшие. У *низших грибов* поперечные стенки между клетками гиф разрушены, поэтому их мицелий называется *неклеточным*. В отличие от низших, мицелий *высших грибов* является *клеточным*, однако и у них

в поперечных клеточных стенках имеются отверстия, связывающие цитоплазмы соседних клеток. На грибнице могут образовываться органы спороношения со спорами, которые часто окрашены в различные цвета. К многоклеточным грибам относятся белый гриб, опята, лисички, мухоморы, плесневые грибы и др.

Мицелий ряда грибов может формировать плотные скопления гиф, например *плодовые тела* — вместилища спороносных органов. Плодовые тела могут быть крайне разнообразными по величине и строению, однако наибольшее внимание привлекают шляпочные грибы, к которым относится большинство съедобных.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Первые грибоподобные организмы, по-видимому, появились на Земле около 800 млн лет назад, однако широко распространились они только около 400—450 млн лет назад.

Плодовое тело у шляпочных грибов четко делится на *шляпку* и *ножку*. На нижней стороне шляпки могут быть заметны пластинки (у пластинчатых грибов — шампиньона, лисичек, вешенки) или мельчайшие трубочки (у трубчатых грибов — боровика, подосиновика). На пластинках и в трубочках образуются споры, обеспечивающие распространение грибов.

Одноклеточные грибы не имеют гиф и мицелия. Клетки грибов содержат одно-два или несколько ядер и все типичные для эукариотических организмов органоиды, за исключением пластид. У ряда грибов в клетках имеются вакуоли, выполняющие функцию осморегуляции. В качестве основного запасающего вещества они накапливают гликоген. Клеточные стенки грибов содержат

хитин, который организм человека переварить не может, в связи с чем питательная ценность грибов является сомнительной.

Жизнедеятельность грибов. Грибы — типичные гетеротрофы. Наличие разветвленного мицелия позволяет им максимально оккупировать окружающее пространство для извлечения из него питательных веществ.

Большинство грибов является сапротрофами или мутуалистами, однако есть среди них и паразитические формы, вызывающие болезни человека, животных и растений.

Несмотря на то что грибы — аэробные организмы, они также могут осуществлять и процессы брожения (дрожжи, аспергилл). Дрожжи извлекают энергию из субстрата в процессе спиртового брожения, в результате которого образуются этиловый спирт и углекислый газ. Они широко используются в хлебопечении, виноделии, пивоварении и других отраслях пищевой промышленности.

Мутуалистические грибы могут образовывать с корнями приблизительно 80 % видов современных растений грибокорень, или микоризу. Оплетая корни или проникая в них вглубь мицелий гриба как бы заменяет собой корневые волоски, увеличивая площадь поверхности всасывания.

Микоризный гриб поставляет растению воду и минеральные соли, тогда как растение предоставляет ему органические вещества. Микоризными грибами являются белый гриб, трюфель и др.

Грибы-паразиты вызывают специфические заболевания растений, животных и человека — *микозы*.

Размножаются грибы бесполым и половым способом. Бесполое размножение у одноклеточных грибов, таких как дрожжи, происходит почкованием, тогда как у многоклеточных возможно разделение мицелия на несколько частей, однако чаще у них образуются споры. Споры грибов — это очень мелкие одноклеточные образования, с помощью которых происходит расселение.

У грибов известны и половые процессы, однако они настолько разнообразны, что учитываются при классификации грибов. Но даже после полового процесса у них образуются споры.

Систематика грибов. По особенностям строения, спороношения и полового процесса грибы делят на ряд отделов, наиболее крупными из которых являются Зигомицеты, Аскомицеты, Базидиомицеты и Лишайники. Зигомицеты — это низшие грибы. К ним относятся грибы, образовывающие серые или черные плесени на хлебе и других углеводных продуктах, — мукор и ризопус.

Аскомицеты и базидиомицеты принадлежат к высшим грибам. Отличительной особенностью аскомицетов, или сумчатых грибов, является спороношение в особых сумках, или *асках*. К данной группе относятся дрожжи, сморчки, строчки, трюфели, пеницилл, аспергилл и паразит злаков — спорынья.

У базидиомицетов сумки не образуются, их споры созревают на иных образованиях — *базидиях*. Базидиальными грибами являются белый гриб, опенок, мухомор, бледная поганка, головня и др.

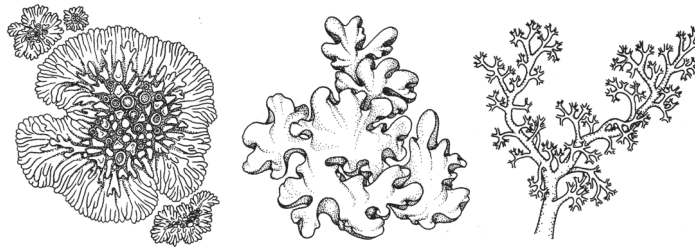
К грибам также относятся и лишайники.

Лишайники. Представляют собой особую форму симбиотических организмов, образованных

грибами и водорослями. Фотосинтезирующий компонент лишайников — это чаще всего цианобактерии или зеленые водоросли (всего около 150 видов). Водоросль предоставляет грибу органические вещества, а гриб обеспечивает ее водой и минеральными солями, поглощаемыми из субстрата.

Тело лишайника не расчленено на ткани и органы, поэтому его называют *слоевищем*, или *талломом*. Внутри слоевища лишайника грибы могут проникать в клетки водоросли при помощи особых выростов гиф, в большинстве же случаев между клетками компонентов лишайника находится толстая прослойка межклеточного вещества, через которое и происходит обмен веществ.

В зависимости от морфологии слоевища лишайники делят на *накипные*, *листоватые* и *кустистые* (рис. 53). Наиболее высокоорганизованными из них являются кустистые лишайники. Кустистыми являются так называемый олений мох, образующий сплошной ковер в тундре, и уснеи, свисающие с деревьев. Накипные лишайники покрывают камни, кору деревьев, заборы и т. д.



а *б* *в*

Рис. 53. Морфология слоевища лишайника:
а — накипные; *б* — листоватые; *в* — кустистые

Особенностью лишайников является их неприхотливость и способность высыхать до воздушно-сухого состояния, а затем вновь насыщать ткани водой и возобновлять процессы жизнедеятельности. Это позволило лишайникам занять самые невероятные экологические ниши, вплоть до бесплодных скал Антарктиды. Наиболее богата лишайниками северная флора.

Растут лишайники очень медленно — по 1—8 мм в год. По скорости этого роста можно не только определить возраст лишайника, но и установить, когда произошли изменения состояния окружающей среды, так как многие лишайники чутко реагируют на загрязнение воздуха.

Размножаются лишайники вегетативно или спорами. При вегетативном размножении от слоевища отделяются небольшие фрагменты, содержащие как грибной, так и водорослевый компоненты. Споры в лишайниках образует только гриб, однако при захвате им клеток водоросли образуется новое слоевище.

Всего известно около 25 тыс. видов лишайников.

Роль грибов и лишайников в природе. Грибы, с одной стороны, завершают биогеохимический круговорот веществ, обеспечивают процессы почвообразования и питание растений, используются в пищу и являются источниками лекарственных препаратов, а, с другой стороны, вызывают болезни человека, животных и растений, снижают урожайность последних, делают продукты питания непригодными для употребления (дрожжи, плесневые грибы мукор, ризопус, пеницилл, аспергилл и др.), поражают древесные породы (трутовик,

опенок) и предметы культуры — книги, ткани, картины, кожу (дрожжи).

Поселяясь на непригодных для жизни других организмов субстратах, лишайники принимают непосредственное участие процессах почвообразования. Кустистые лишайники, носящие собирательное название «олений мох», в природе являются основным кормом для северных оленей в тундре. Они применяются в парфюмерной (фиксатор для духов) и химической промышленности (лакмус), медицине (для приготовления слизистых отваров и как средство от кашля) и в экологических исследованиях как индикатор загрязнения атмосферы.

Царство растений

Общая характеристика царства

Царство растений объединяет около 400 тыс. видов. Характерными признаками растений являются автотрофный способ питания (фотоавтотрофный), преобладание процессов синтеза над процессами распада, сильное расчленение тела, прикрепленный способ жизни и открытый рост.

В клетках растений есть пластиды, вакуоли и целлюлозные клеточные оболочки. Их запасным веществом является крахмал.

В зависимости от наличия тканей и органов растения делят на низшие и высшие. Тело *низших растений* представлено практически одинаковыми клетками и называется *слоевищем*, или *талломом*. К низшим растениям относят водоросли. Тело *высших растений* расчленено на ткани и орга-

ны, а их органы бесполого и полового размножения представлены не одноклеточными, а многоклеточными образованиями. В отличие от животных, тело растений расчленено на небольшое количество органов. Они делятся на вегетативные и генеративные. *Вегетативные органы* поддерживают жизнедеятельность организма, но не участвуют в процессе полового размножения, тогда как *генеративные органы* выполняют именно эту функцию. К вегетативным органам относят корень и побег, а к генеративным (у цветковых) — цветок, семя и плод. Высшими растениями являются семенные и споровые. Формирование тканей и органов явилось следствием выхода растений на сушу.

ЗАПОМНИ

Растения являются объектом науки ботаники, которая включает в себя анатомию, физиологию, биохимию, генетику и систематику растений.

Ткани растений

Ткани растений делят на образовательные и постоянные.

Образовательные, или *меристематические, ткани* принимают участие в процессах роста растения. Они расположены на верхушках побегов и корней, в основаниях междоузлий, образуют слой камбия между лубом и древесиной в стебле, а также подстилают пробку в одревесневших побегах. Постоянное деление этих клеток поддерживает процесс неограниченного роста растений: верхушечные и вставочные меристемы обеспечивают рост растений в длину, а боковые — в толщину.

Постоянные ткани растений специализируются на выполнении определенных функций, что

отражается на их строении. К постоянным тканям относятся покровные, механические, проводящие и основные.

Покровные ткани растений защищают их от испарения, механических и термических повреждений, проникновения микроорганизмов, обеспечивают обмен веществ с окружающей средой. К покровным тканям относятся кожица и пробка.

ЗАПОМНИ

Растения относятся к эукариотическим организмам – их клетки обязательно содержат ядро хотя бы на одном из этапов развития.

Кожица, или *эпидерма*, — это однослойная ткань, лишенная хлоропластов. Кожица покрывает листья, молодые побеги, цветки и плоды. Она пронизана устьицами и может нести различные волоски и железки. Сверху кожица покрыта *кутикулой* из жироподобных веществ, которая защищает растения от избыточного испарения. Для этого же предназначены и некоторые волоски на ее поверхности, тогда как железки и железистые волоски могут выделять различные секреты, в том числе воду, соли, нектар и др.

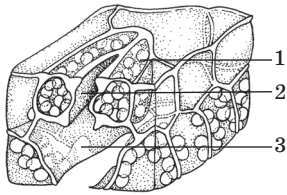


Рис. 54. Устьице в разрезе

1 — замыкающая клетка;
2 — устьичная щель;
3 — пространство под устьицем

Устьица — это специальные образования, через которые происходят испарение воды — *транспирация* — и газообмен. В устьицах две замыкающие клетки окружают устьичную щель, под ними располагается свободное пространство (рис. 54). Замыкающие клетки устьиц чаще всего имеют бобовидную форму. Внутренние стен-

ки замыкающих клеток устьиц утолщены. Если замыкающие клетки насыщены водой, то внутренние стенки растягиваются и устьице открывается. Насыщение водой замыкающих клеток связано с активным транспортом в них ионов калия и других осмотически активных веществ, а также накоплением растворимых углеводов в процессе фотосинтеза.

Клетки *пробки*, пропитанные жироподобным веществом — суберином, в основном покрывают одревесневшие побеги. В пробке, как и в кожице, имеются специальные образования для проветривания — *чечевички*. Клетки пробки образуются в результате деления пробкового камбия, подстилающего ее.

Механические ткани растений выполняют опорную и защитную функции (рис. 55). К ним относят колленхиму и склеренхиму. *Колленхима* — это живая механическая ткань, имеющая удлиненные клетки с утолщенными целлюлозными стенками. Она характерна для молодых, растущих органов растений — стеблей, листьев, плодов и т. д. *Склеренхима* — это мертвая механическая ткань, живое содержимое клеток которой отмирает вследствие одревеснения клеточных стенок. По сути, от клеток склеренхимы остаются только утолщенные и одревесневшие клеточные стенки, что как нельзя лучше способствует выполнению ими соответствующих функций. Клетки механической ткани чаще всего

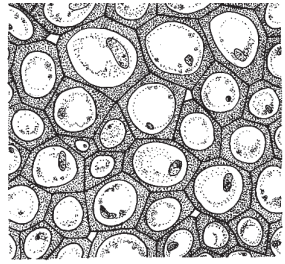


Рис. 55. Механическая ткань

вытянуты в длину и называются *волокнами*. Они сопровождают клетки проводящей ткани в составе луба и древесины. Одиночные или собранные в группы *каменистые клетки* склеренхимы округлой или звездчатой формы обнаруживаются в незрелых плодах груши, боярышника и рябины, в листьях кувшинки и чая.

По *проводящей ткани* осуществляется транспорт веществ по телу растения. Существует два вида проводящей ткани: ксилема и флоэма. В состав *ксилемы*, или *древесины*, входят проводящие элементы, механические волокна и клетки основной ткани (рис. 56). Живое содержимое клеток проводящих элементов ксилемы — *сосудов* и *трахеид* — рано отмирает, от них остаются только одревесневшие клеточные стенки, как и в склеренхиме. Функцией ксилемы является восходящий транспорт воды и растворенных в ней минеральных солей от корня к побегу. Позднее она выполняет механическую функцию.

Рис. 56. Проводящие элементы ксилемы

Флоэма, или *луб*, также является сложной тканью, поскольку образована проводящими элементами, механическими волокнами и клетками основной ткани. Клетки проводящих элементов — *ситовидных трубок* — живые, однако в них исчезают ядра, а цитоплазма смешивается с клеточным соком для облегчения транспорта веществ (рис. 57). Клетки располага-

ются одна над другой, клеточные стенки между ними имеют многочисленные отверстия, что делает их похожими на сито, из-за чего клетки называют *ситовидными*. По флоэме транспортируются вода и растворенные в ней органические вещества из надземной части растения в корень и другие органы растения.

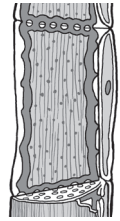


Рис. 57. Ситовидная клетка

Основная ткань не только заполняет промежутки между другими тканями, но и выполняет питательную, выделительную и другие функции. Питательную функцию выполняют фотосинтезирующие и запасающие клетки. Большей частью это *паренхимные* клетки, то есть они имеют почти одинаковые линейные размеры: длину, ширину и высоту (рис. 58). Основные ткани расположены в листьях, молодых стеблях, плодах, семенах и других запасающих органах. Выделение осуществляют разнообразные волоски, железки, нектарники, смоляные ходы и вместилища. Особое место среди основных тканей принадлежит млечникам, в клеточном соке которых накапливаются каучук, гутта и другие вещества. У водных растений возможно разрастание межклетников основной ткани, вследствие чего образуются крупные полости, с помощью которых осуществляется проветривание.

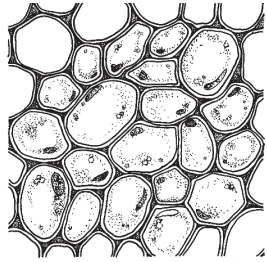


Рис. 58. Основная ткань

Корень

Это подземный вегетативный орган, выполняющий функции почвенного питания, закрепления растения в почве, транспорта и запасания веществ, а также вегетативного размножения.

Корень имеет четыре зоны: роста, всасывания, проведения и корневой чехлик. *Корневой чехлик* защищает клетки зоны роста от повреждения и облегчает продвижение корня среди твердых частиц почвы. Он представлен крупными клетками, способными со временем ослизняться и отмирать, что облегчает рост корня.

Зона роста состоит из клеток, способных к делению. Часть из них после деления увеличивается в размерах в результате растяжения и начинает выполнять присущие им функции. Иногда зону роста подразделяют на две зоны: *деления* и *растяжения*.

В *зоне всасывания* расположены клетки корневых волосков, выполняющие функцию всасывания воды и минеральных веществ. Клетки корневых волосков живут недолго, слущиваясь через 7—10 дней после образования.

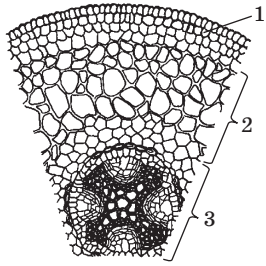


Рис. 59. Поперечный срез корня двудольного растения:

1 — покровная ткань;
2 — первичная кора;
3 — центральный цилиндр

В *зоне проведения*, или *боковых корней*, вещества транспортируются из корня в побег, а также происходит ветвление корня, то есть образование боковых корней, что способствует закреплению растения в почве. Кроме того, в дан-

ной зоне возможно запасание веществ и закладывание почек, с помощью которых может происходить вегетативное размножение.

На поперечном срезе в зоне всасывания корня видны покровная ткань, первичная кора и центральный цилиндр (рис. 59). Покровная ткань выполняет не только защитную функцию, но и функцию всасывания, так как она представляет собой волосконосный слой. Первичная кора корня достаточно мощная, в ней может происходить запасание питательных веществ, через нее осуществляется транспорт воды и растворенных в ней минеральных веществ к центральному цилиндру. Центральный цилиндр содержит проводящие ткани, по которым происходит транспорт веществ из корня в побег и из побега в корень.

Корневые системы. Совокупность корней растения образует *корневую систему*. В ней выделяют главный, придаточные и боковые корни. *Главный корень* развивается из зародышевого корешка семени, тогда как *придаточные корни* отрастают от надземной части растения (рис. 60). *Боковые корни* формируются как на главном, так и на придаточных корнях. В тех случаях, когда главный корень выражен, как у одуванчика, говорят о *стержневой корневой системе*, а когда он теряется среди придаточных, как у пшеницы, то такая корневая система называется *мочковатой* (рис. 61, с. 182). Первая характерна для двудольных растений, а вторая — для однодольных.

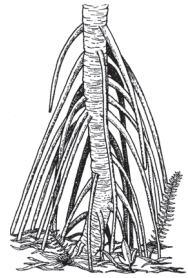


Рис. 60. Придаточные корни пандануса

Для формирования более мощной корневой системы в растениеводстве используют как минимум два приема: пикирование и окучивание.

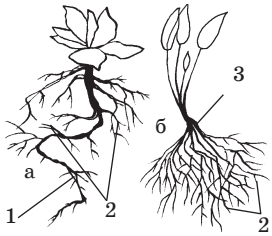


Рис. 61. Строение корневых систем (а — стержневая; б — мочковатая):
1 — главный корень;
2 — боковые корни;
3 — придаточный корень

Видоизменения корня. Видоизменениями корня являются корнеплоды, корневые клубни, корни-присоски, цепляющиеся, дыхательные, воздушные, опорные, ходульные, сократительные корни и корневые отпрыски.

Корнеплоды и *корневые клубни* выполняют запасающую функцию и функцию вегетативного размножения, как у моркови, редиса, редьки, георгина, топинамбура и свеклы. *Корни-присоски* способствуют закреплению растения в теле растения-хозяина, а также поглощению питательных веществ из организма хозяина. Они характерны для омелы белой, петрова креста, повилики и заразихи. *Цепляющиеся корни* закрепляют растение на опоре, например у плюща и винограда. *Дыхательные корни* присущи растениям, произрастающим в чрезмерно увлажненной почве, они помогают растениям в обеспечении кислородом для дыхания. В частности, без них не обойтись болотному кипарису и авиценнии. *Воздушные корни* имеются у растений-эпифитов, с их помощью они поглощают воду прямо из воздуха, как многие орхидеи.

ЗАПОМНИ

Корнеплод представляет собой утолщенный придаточный корень, в образовании которого участвует также нижняя часть стебля.

Опорные корни не дают опуститься на землю ветвям растений с очень развесистыми кронами, как у индийского фикуса баньяна, а *ходульные корни* поддерживают тело растений на зыбкой почве, например в мангровых зарослях в приливной зоне у ризофоры. *Сократительные корни* втягивают точку роста растения в почву при неблагоприятных условиях, как у одуванчика. Существуют также корни, выполняющие функцию вегетативного размножения, как корневые отпрыски сирени.

Корневые симбиозы. Корни растений образуют симбиозы с грибами и бактериями.

Симбиоз корней растения с грибами называют *микоризой*.

Корни также способны формировать симбиозы с азотфиксирующими бактериями. Эти бактерии называют также *клубеньковыми*, поскольку они вызывают разрастание тканей корня бобовых и некоторых других растений, что приводит к образованию своеобразных клубеньков. Клубеньковые бактерии фиксируют азот воздуха и переводят его в доступную для растения форму — нитраты. Взамен растение обеспечивает клубеньковые бактерии органическими веществами.

ЗАПОМНИ

Грибные гифы, оплетающие толстые одревесневшие корни деревьев, выполняют функции корневых волосков.

Побег

Это надземный орган растения, выполняющий функцию воздушного питания. Он образован стеблем, листьями и почками.

Побег отличается наличием многочисленных повторяющихся сегментов: место прикрепления листа к побегу называется *узлом*, а участок побега между узлами — *междоузлием*.

Если междоузлия настолько невелики, что кажется, будто листья выходят буквально из одной точки, то такой побег называют *укороченным*. Они характерны для вишни и сосны. Растения с единственным таким побегом, например одуванчик и подорожник, называют *розеточными*. Все остальные побеги, у которых узлы достаточно удалены друг от друга, называются *удлиненными*.

Порядок размещения листьев на стебле называют *листорасположением* (рис. 62). Выделяют три основных типа листорасположения: очередное, супротивное и мутовчатое. Если лист в узле только один, то говорят об *очередном* листорасположении (вишня, яблоня). Если их два — это *супротивное* листорасположение (сирень), а если их три и более, то это *мутовчатое* листорасположение (ветреница, олеандр).

Рис. 62. Листорасположение:
а — очередное; *б* — супротивное; *в* — мутовчатое

В зависимости от расположения в пространстве выделяют прямостоячие, наклоненные, лежачие, ползучие, цепляющиеся, вьющиеся и свисающие побеги.

Если на побеге имеются цветки, плоды или иные генеративные органы, его называют *генеративным*, в противном случае — *вегетативным*.

Побеги, стебли которых всегда остаются покрытыми кожицей, называют *неодревесневающими*, если же кожица сменяется пробкой только в нижней части растения, то это *полуодревесневающий* побег. В тех случаях, когда стебель способен покрываться пробкой до самой верхушки, говорят об *одревесневающем* побеге.

Жизненные формы растений. По степени одревеснения побегов и продолжительности их жизни у растений выделяют три основные жизненные формы: древесные, кустарниковые и травянистые.

Почка

Это орган побега, обеспечивающий его нарастание в длину и ветвление. Почки содержат зачаток побега, прикрытый *почечными чешуями*. Зачаточный побег может быть вегетативным или генеративным, в соответствии с чем различают *вегетативные* и *генеративные*, или *цветочные*, *почки* (рис. 63). Генеративные почки обычно более крупные и округлые, в сравнении с вегетативными и чаще располагаются на концах побегов.

Рис. 63. Расположение почек на побеге

В зависимости от расположения на побеге почки делят на *верхушечные* и *боковые*. *Боковые* почки, расположенные в пазухах листьев, называются *пазушными*, а разбросанные вне пазух почки относят к *придаточным*. При распускании верхушечных почек побег растет в длину, тогда как развитие боковых почек приводит к его ветвлению. Придаточные почки, как правило, распускаются при повреждении или нарушении роста вышележащих почек.

Стебель

Это осевая часть побега, которая выносит листья к свету, поддерживает генеративные органы, осуществляет транспорт веществ от одних органов к другим, может выполнять запасающую функцию и функцию вегетативного размножения.

Внутреннее строение стебля. Снаружи стебель покрыт покровной тканью, под которой располагаются первичная кора и центральный цилиндр с сердцевиной, что не характерно для корня. У травянистых растений покровная ткань в течение всей жизни представлена кожицей, тогда как у одревесневающих она со временем заменяется пробкой.

ЗАПОМНИ

Независимо от формы и толщины побега, его внутреннее строение имеет единый план у всех растений.

Первичная кора несет клетки основной и механической ткани, которые выполняют защитную, запасающую и фотосинтетическую функции.

Центральный цилиндр содержит *луб*, или флоэму, и *древесину*, или ксилему, а также сердцевину. Между древесиной и лубом у двудольных рас-

тений располагается прослойка камбия, который откладывают новые клетки этих тканей, тогда как у однодольных их нет.

Древесину и луб в направлении от сердцевины к первичной коре пронизывают тяжи основной ткани — *сердцевинные лучи*, имеющие различную ширину. По ним осуществляется радиальный транспорт веществ.

В зависимости от расположения проводящих тканей в центральном цилиндре выделяют два типа строения стебля: пучковое и непучковое. При *пучковом* строении ксилема и флоэма собраны в отдельные тяжи — *проводящие пучки*, пронизывающие стебель, что характерно для многих травянистых растений.

Для древесных и некоторых травянистых растений характерен *непучковый* тип строения стебля, при котором древесина и луб закладываются сплошными кольцами, причем древесина располагается ближе к центру стебля, чем луб, а между ними находится кольцо камбия (рис. 64). Ежегодно откладывается новое кольцо древесины, вследствие чего на поперечном срезе древесных растений видны *годичные кольца*, по которым можно подсчитать приблизительный возраст растения. По ним можно также узнать, какие усло-

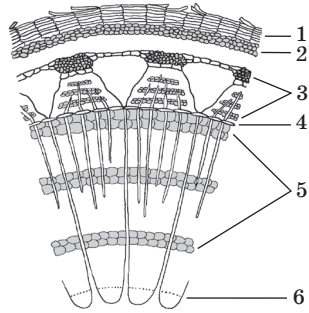


Рис. 64. Схема внутреннего строения ветки липы:

1 — пробка;
2 — первичная кора;
3 — луб;
4 — камбий;
5 — древесина;
6 — сердцевина

вия были на планете более-менее продолжительное время назад: более широкие годичные кольца свидетельствуют о благоприятных условиях, а более узкие — о засухах, заморозках и т. д.

В центре стебля располагается сердцевина, представленная основной тканью. Она выполняет запасающую и выделительную функции.

Лист

Это боковая часть побега, осуществляющая функцию воздушного питания.

Помимо этого, он также осуществляет газообмен с окружающей средой через устьица, в том числе транспирацию, может служить запасающим органом и органом вегетативного размножения.

Морфология листа. Лист состоит из листовой пластинки, черешка, основания листа и прилистников и прикрепляется в узле своим основанием к стеблю (рис. 65). *Основание листа* — это расширение черешка, которое может разрастаться и образовывать *влагалище*, охватывающее стебель, как у листьев злаков. При этом влагалище защищает почки и длительно растущие основания междоузлий.

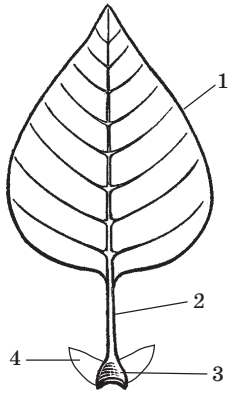


Рис. 65. Строение листа:
1 — листовая пластинка;
2 — черешок;
3 — основание листа;
4 — прилистник

Черешок служит для соединения листа со стеблем. Листья делятся на

черешковые и сидячие. Если лист имеет черешок, он называется *черешковым*, если таковой отсутствует — *сидячим*.

Прилистники — это парные боковые выросты по бокам основания листа. Обычно они развиваются раньше листовой пластинки и защищают молодой лист, а затем опадают.

Листовая пластинка — это расширенная плоская наиболее важная часть листа, в которой и происходит фотосинтез.

В зависимости от количества листовых пластинок различают простые и сложные листья. У *простых* листьев листовая пластинка на черешке только одна, и она опадает вместе с ним, тогда как на *сложном* листе размещается несколько листовых пластинок, каждая из которых может опадать самостоятельно. Сложные листья классифицируют по количеству и размещению листовых пластинок.

Формы листовых пластинок: игловидные, ланцетные, стреловидные, копьевидные, щитовидные, сердцевидные, почковидные, яйцевидные, овальные и т. д. Листовая пластинка может быть цельной или расчлененной. По степени расчлененности выделяют лопастные, раздельные и рассеченные листья. Листовой край также не всегда бывает ровным, чаще он пильчатый, зубчатый, выемчатый и т. д.

Листья различаются и по характеру прохождения проводящих пучков, или жилок — *жилкованию*. Основными типами жилкования являются параллельное, или *дуговое*, и *сетчатое* (перисто-сетчатое и пальчато-сетчатое) (рис. 66). Они имеют существенное значение в определении принад-

лежности растений к классам покрытосеменных (двудольных и однодольных).

Внутреннее строение листа. Снаружи лист покрыт кожицей, снабженной устьицами и покрытой кутикулой. Толщина кожицы и покрывающей ее кутикулы, форма замыкающих клеток устьиц, их расположение на листе, а также наличие различных волосков, железок и т. д. зависит от вида растения и условий его произрастания (рис. 67).

а *б*

Рис. 66. Жилкование листьев:
а — сетчатое;
б — параллельное

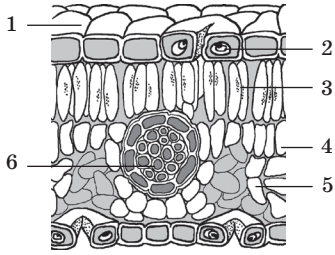


Рис. 67. Внутреннее строение листа:
1 — кожица;
2 — устьице;
3 — столбчатые клетки;
4 — губчатые клетки;
5 — межклетники;
6 — жилка

Мякоть листа представлена основной тканью, выполняющей функцию фотосинтеза. Большинство растений имеют две разновидности этой ткани — столбчатую и губчатую. *Столбчатая*, или *палисадная, паренхима* расположена в 1—2 ряда под верхней кожицей листа, содержит много хлоропластов и осуществляет функцию фотосинтеза. *Губчатая*, или *рыхлая, паренхима* образует нижнюю часть листа и имеет большие межклетники. Она обеспечивает не только фото-

синтез, но и газообмен в листе, в том числе процесс транспирации. По ней также осуществляется транспорт веществ из палисадной паренхимы.

Паренхима пронизана проводящими пучками — *жилками*, которые выполняют как проводящую, так и опорную функции.

У многих растений можно наблюдать *видоизменения листа*, обусловленные выполняемыми ими функциями. К ним относятся колючки кактуса, усики гороха, мясистые листья суккулентов, ловчие листья кувшиночников и др.

Видоизменения побега

Видоизменениям подвержены не только листья и стебли, но и побеги в целом. К ним относятся корневища, клубни, луковицы, столоны, колючки боярышника, усики тыквенных, кочаны капусты и даже соцветия.

Корневище — это видоизмененный побег, выполняющий функции запасания и вегетативного размножения. От корня его отличает то, что на нем видны листовые следы, а нарастание происходит в сторону образования надземного побега, тогда как старая часть постепенно отмирает. На корневище образуются многочисленные придаточные корни. Корневища имеются у ириса, купены, ландыша и др.

Клубень — это видоизмененный побег, также выполняющий функции запасания и вегетативного размножения. Он имеет листовые следы («бровки») и боковые почки («глазки»). Подземные клубни есть у картофеля, а надземные характерны для капусты кольраби.

Луковица в основном служит для переживания неблагоприятных условий и вегетативного размножения. Ее стебель сильно укорочен и превращен в донце, а в листьях-чешуях накапливаются питательные вещества в растворенном виде. Почки спрятаны в пазухах листьев. Луковицы характерны для лука репчатого, чеснока и др.

Столоны — это подземные или надземные побеги, служащие для вегетативного размножения. На подземных столонах картофеля закладываются и развиваются клубни, а на надземных ползучих столонах («усах») земляники формируются новые розетки.

Цветок

Цветок — это сложный репродуктивный орган покрытосеменных растений, представляющий собой укороченный и видоизмененный побег.

Исключительность цветка как генеративного органа состоит в том, что он совмещает в себе все функции бесполого и полового размножения.

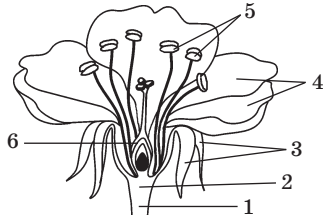


Рис. 68. Строение цветка:
1 — цветоножка;
2 — цветоложе;
3 — чашолистики;
4 — лепестки;
5 — тычинки;
6 — пестик

Цветок состоит из цветоножки, цветоложа, околоцветника, тычинок и пестиков (рис. 68).

С помощью *цветоножки* цветок крепится к побегу. На цветоножке могут располагаться один или несколько листочков — *прицветников*. Если цветоножка отсутствует, то цветок называется *сидячим*.

Цветоложе служит для размещения всех частей цветка, в некоторых случаях оно впоследствии разрастается и образует особую структуру, в которой располагаются плоды, как, например, у шиповника.

Околоцветник служит для защиты генеративной части цветка и привлечения опылителей. Он образован чашечкой и венчиком. *Чашечка* состоит из чашелистиков, обычно зеленого цвета, служащих для защиты тычинок и пестика от повреждения в бутоне. Чашелистики могут быть раздельными и сросшимися.

Венчик образован лепестками, как правило, ярко окрашен и обеспечивает привлечение опылителей. Они также могут срастаться или оставаться свободными.

Околоцветник, имеющий и чашечку, и венчик, называется *двойным*, а образованный только чашечкой или венчиком — *простым*. Простой околоцветник, представленный зелеными листочками, называется *чашечковидным*, он характерен для крапивы и конопли. А если он представлен иначе окрашенными листочками — это *венчиковидный околоцветник* (тюльпан, ветреница). Цветки, вовсе не имеющие околоцветника, называются *голыми*. Такие цветки присущи, в основном, ветроопыляемым растениям, в том числе древесным.

Непосредственно генеративная сфера цветка представлена тычинками и пестиками. Тычинки в цветке могут срастаться или оставаться свободными. Совокупность тычинок в цветке называется *андроцеем*. Каждая тычинка состоит из тычиночной нити, пыльников и связника.

В гнездах пыльников образуется пыльца. Пыльцевое зерно покрыто плотной оболочкой, позволяющей пыльце длительное время сохранять способность к прорастанию.

Пестик является наиболее важной частью цветка, из которой впоследствии формируется плод. Пестик или пестики располагаются обычно в центре цветка и состоят из завязи, столбика и рыльца. Завязь может содержать один или несколько семязачатков. Совокупность пестиков в цветке называется *гинецеем*.

Цветок с пестиками и тычинками называют обоеполым. Такие цветки характерны для подавляющего большинства покрытосеменных растений, например вишни, яблони, картофеля и многих других. В том случае, если цветок имеет только тычинки, он называется *тычиночным*, или *мужским*, а если только пестики — *пестичным*, или *женским*. Раздельнополые цветки имеются у кукурузы и тыквы. Однако встречаются и цветки без генеративных органов, как, например, краевые цветки корзинки подсолнечника — они называются *стерильными*.

ЗАПОМНИ

В зависимости от формы венчики делят на двугубые, мотыльковые, колокольчатые, воронковидные, колесовидные, гвоздевидные, язычковые, трубчатые и др.

В большинстве случаев раздельнополые цветки располагаются на одном растении, и тогда оно называется *однодомным*, например кукуруза, дуб, бук, ольха, огурец, тыква, дыня, арбуз. У *двудомных* же растений мужские и женские цветки находятся на разных растениях — это тополь, облепиха, конопля и др.

Отличительной чертой цветка является упорядоченность расположения его частей: они располагаются не беспорядочно, а чаще всего по спирали или кругами. Вследствие этого через цветок часто можно провести одну или несколько плоскостей симметрии.

Формула и диаграмма цветка. Для удобства в систематике растений используют условные записи — формулы и диаграммы цветков.

Формула цветка — это условное обозначение строения цветка буквами, символами и цифрами. Тип цветка обозначается следующим образом: ⚥ — обоеполый (этот значок в формуле часто опускают), ♀ — пестичный, ♂ — тычиночный. Чашечка обозначается буквой Ч, венчик — Л, тычинки — Т или А, пестики — П или Г. Количество членов цветка обозначается по нижнему индексу соответствующей буквы. Если их много, то ставится символ бесконечности. Если они срастаются, то цифра берется в круглые скобки. В случае неравноценности членов цветка их указывают по отдельности и соединяют знаком «+».

Другим типом схематического обозначения цветка является диаграмма, которая зачастую даже более информативна, нежели формула, поскольку четко и зримо показывает взаимное расположение в цветке всех его членов. *Диаграмма цветка* — это тип схематического обозначения цветка, который представляет собой проекцию поперечного разреза этого генеративного органа (рис. 69).

$Ч_5Л_5Т_5П_1$

Рис. 69. Диаграмма и формула цветка

Соцветия

Только у немногих растений встречаются одиночные цветки (тюльпан, магнолия, мак), чаще они собраны группами, образующими соцветия (рис. 70). *Соцветие* — это система видоизмененных побегов покрытосеменного растения, несущих цветки. Биологическое преимущество соцветий перед одиночными цветками несомненно, так как огромная масса цветков будет всегда более заметной для опылителей, чем один цветок, а гибель одного цветка в соцветии не приведет к потере наследственной информации данного растения.

Соцветия делят на простые и сложные. *Простым* соцветиям свойственна только одна ось соцветия, которая может быть удлиненной или укороченной.

Рис. 70. Типы соцветий

К простым соцветиям относят простой колос (подорожник), початок (кукуруза), кисть (ландыш, капуста), корзинку (астра), щиток (шиповник, яблоня), головку (клевер), зонтик (лук) и др. *Сложные соцветия* образуются из простых вследствие разветвления главной оси соцветия.

Из сложных соцветий чаще всего встречаются сложный колос (пшеница, ячмень), сложный зонтик (морковь, укроп), метелка (овес, кукуруза) и сережка (береза).

Семя

Это генеративный орган растений, служащий для распространения семенных растений. Оно развивается из семязачатка в результате оплодотворения.

Снаружи семя покрыто плотной *семенной кожурой*, которая отграничивает зародыш и запасные вещества от окружающей среды и обеспечивает защиту от различного рода внешних повреждений. Кожура покрыта кутикулой, иногда имеется и восковой слой, которые защищают семена от проникновения влаги. На семенной кожуре в месте прикрепления семени в плоде остается рубчик, рядом с которым часто заметен семявход, служащий для проникновения воды в процессе прорастания семени. Рядом с этим отверстием располагается кончик зародышевого корешка.

Зрелое семя обычно содержит хорошо развитый *зародыш* со всеми зачатками вегетативных органов: зародышевым корешком, семядолями, зародышевым стебельком, или почечкой. Весь зародыш состоит из образовательной ткани. Он может располагаться как в центре семени, так и на его периферии.

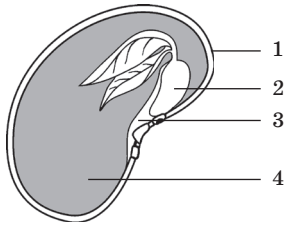


Рис. 71. Строение семени бобовых (двудольные):
1 — семенная кожура;
2 — зародышевый стебелек;
3 — зародышевый корешок;
4 — семядоля

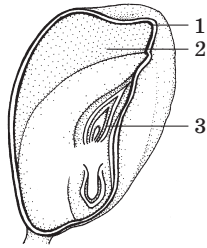


Рис. 72. Строение семени злаков (однодольные):
1 — семенная кожура, сросшаяся с околоплодником;
2 — эндосперм;
3 — зародыш

В семенах таких растений, как горох, тыква, томат, зародыш имеет два листочка — *семядоли*, в которых к тому же откладывается запас питательных веществ, поэтому такие растения называют *двудольными* (рис. 71).

У злаков же зародыш, напротив, имеет только одну семядолю, а питательные вещества у них откладываются в эндосперме, занимающем значительную часть внутреннего пространства семени, поэтому их относят к *однодольным* (рис. 72). Семядоля зародыша злаков называется *щитком*. Он отделяет зародыш от эндосперма, и в ходе прорастания всасывает из эндосперма питательные вещества, обеспечивая ими зародыш.

Плод

Это генеративный орган растений, представляющий собой видоизмененный в процессе оплодотворения цветок. В его развитии принимают участие различные части цветка, но прежде всего завязь. Плод образован семенами и трехслойным

околоплодником, или *перикарпием*, который надежно защищает семена от высыхания, проникновения микроорганизмов, механического повреждения, поедания травоядными животными, а иногда и от прорастания (рис. 73). Околоплодник также может способствовать распространению семян, как у сухих вскрывающихся плодов или у сочных, поедаемых птицами и другими животными. Внутренний слой околоплодника довольно часто бывает деревянистым и препятствует поеданию плодов и проникновению к ним влаги. Околоплодник может также срастаться с семенной кожурой, что затрудняет определение принадлежности этих слоев. Количество семян в плодах существенно варьирует от одного до нескольких тысяч и зависит от количества семязачатков в завязи.

Существует множество вариантов классификации плодов, в том числе по морфологическим признакам. Согласно этой классификации плоды делят на простые, сборные и соплодия. *Простые* плоды развиваются из единственного пестика цветка. Они могут быть сухими и сочными, невскрывающимися и вскрывающимися, односемянными и многосемянными.

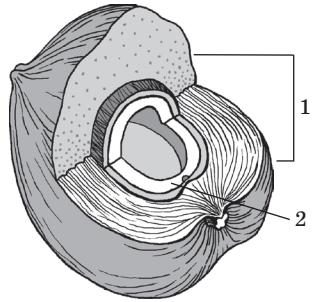


Рис. 73. Строение плода:
1 — околоплодник;
2 — семя

К *сухим* относят плоды, все слои околоплодника которых кожистые или деревянистые и плотно срастаются между собой. Они бывают как многосемянными, так и односемянными. К сухим односемянным плодам относят

зерновку, семянку, орех, орешек и желудь. В отличие от односемянных плодов, многосемянные сухие плоды, как правило, являются *вскрывающимися*. *Многосемянными* плодами являются листовка, боб, стручок, стручочек и коробочка.

Сочные плоды отличаются от сухих тем, что имеют хотя бы один слой околоплодника не кожистой или деревянистой консистенции. К *сочным* плодам относятся ягода, тыквина, яблоко, земляничина, костянка, померанец.

Сборные плоды развиваются из нескольких лепестков одного цветка, например, многокостянка малины и многоорешек земляники.

Соплодие представляет собой сросшиеся в единое целое несколько или много плодов, сохранивших структуру соцветия. К ним относятся соплодия свеклы, ананаса, инжира и др.

Жизнедеятельность растительного организма

К основным процессам обмена веществ и превращения энергии у растений относятся фотосинтез, почвенное (корневое) питание, дыхание и водный обмен.

Фотосинтез. Основная часть растений является фототрофами. Однако ряд растений, несмотря на наличие хлорофилла, некоторую часть органических веществ, а также воду и минеральные соли, черпают из растения-хозяина, проникая в его ткани с помощью видоизмененных корней — *гаусторий*. Эти растения называются *полупаразитами*, к ним относятся погремок и омела белая.

Другие растения неспособны осуществлять процесс фотосинтеза и полностью перешли к гетеротрофному питанию. К таким растениям-паразитам относятся заразиха, повилика и подъельник, наносящие значительный урон важнейшим сельскохозяйственным культурам и лесному хозяйству.

Почвенное питание — это совокупность процессов поглощения воды и минеральных солей из почвы с помощью корня.

Минеральные соли необходимы растению для включения в состав органических соединений и протекания многих процессов жизнедеятельности, так как азот включается в состав белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, а без серы невозможен синтез ряда белков, требуемых для дыхания и фотосинтеза, фосфор же является компонентом нуклеиновых кислот, АТФ и т. д. Недостаток минеральных солей в почве приводит к *минеральному голоданию*, следствием которого являются остановка роста, изменение окраски листьев и формы растения в целом, опадание листьев, бутонов и плодов, запаздывание цветения и т. д. Например, недостаток азота и магния сопровождается пожелтением листьев и их опаданием.

Дыхание. Растения также осуществляют процесс дыхания, однако на свету он маскируется выделением кислорода при фотосинтезе, а в отсутствие света растения ничем не отличаются от животных.

В отличие от фотосинтеза, дыхание характерно для всех органов растений, а не только для зеленых частей. Особенно интенсивно дыхание корней растений.

Водный обмен. Растения ощущают постоянную потребность в воде, поскольку она необходима им для протекания процесса фотосинтеза, увеличения размеров клеток, а также транспорта веществ по растению. Однако из-за отсутствия замкнутой проводящей системы и иссушающего действия атмосферного воздуха они вынуждены поглощать огромные объемы воды. Эта вода не задерживается в растении, она проходит через него, поглощаемая корнем и испаряемая в основном листьями.

Естественно, что дефицит воды приводит сначала к подавлению процессов жизнедеятельности, увяданию, а затем и к гибели растения.

Размножение растений

Вегетативное размножение. Цветковые растения размножаются вегетативно и половым способом. *Вегетативное размножение* встречается у всех групп растений. Оно происходит за счет отделения вегетативных органов или их частей и последующего восстановления до целостного организма. В настоящее время различают естественное и искусственное вегетативное размножение.

Рис. 74. Вегетативное размножение земляники

Естественное вегетативное размножение осуществляется с помощью корневищ, луковиц, клубней, корневых отпрысков, усов (рис. 74), выводковых почек и луковичек, а также черенками.

В практике растениеводства широко распространено *искусственное* вегетативное размножение, позволяющее сохранить у потомков хозяйственно ценные признаки, которые могли бы быть утрачены при семенном размножении. Наиболее распространенными способами искусственного вегетативного размножения являются черенкование, прививка, размножение с помощью корневищ, клубней, луковиц, усов, клональное микроразмножение.

Черенкование основано на использовании отрезков вегетативных органов материнского организма — *черенков*, из раневых меристем которых образуются придаточные корни. Различают стеблевые, листовые и корневые черенки. Стеблевыми черенками размножают виноград и розы, листовыми — бегонию, глоксинию, узамбарскую фиалку, а корневыми — малину и сливу. Разновидностью черенкования является размножение *отводками*, при котором побеги вначале прижимают к земле, а после образования придаточных корней отделяют от материнского растения (смородина, крыжовник).

Прививка — это сращивание черенка или вегетативной почки растения с нужными свойствами — *привоя* — с другим растением — *подвоем*. Прививка позволяет не только быстро размножить ценные растения, обеспечить полное сохранение их качеств, но и способствует приобретению новых, в том числе и повышению устойчивости к факторам окружающей среды. В наше время известно более 100 способов прививок, например, прививка в расщеп (рис. 75),

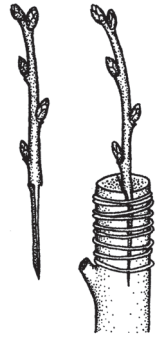


Рис. 75. Прививка в расщеп

прививка в приклад, окулировка, копулировка и другие.

В последнее время широкое распространение получило *клональное микроразмножение* — воссоздание целых организмов из отдельных клеток верхушечных образовательных тканей побега и других тканей. Оно позволяет не только быстро размножить хозяйственно ценные сорта, но и оздоровить посадочный материал.

Опыление — процесс переноса пыльцы с пыльников на рыльце пестика.

Оно предшествует оплодотворению у цветковых растений. При всем разнообразии видов опыления можно выделить два основных его типа: самоопыление и перекрестное опыление. При *самоопылении* пыльца попадает с тычинки на рыльце пестика в пределах одного цветка (фиалка, ячмень, арахис, овес, просо и др.). Самоопыление имеет важное биологическое значение, поскольку в таком случае оплодотворение гарантировано. Оно широко используется в селекции культурных растений. Однако самоопыление часто ограничивает приспособляемость растений к условиям окружающей среды.

ЗАПОМНИ

Перенос пыльцы ветром носит название анемогамия, опыление при помощи воды называют гидрогамией.

При *перекрестном* опылении новый организм обогащается наследственной информацией отцовского организма, что, безусловно, благоприятно сказывается на его приспособляемости к условиям окружающей среды. Перекрестное опыление может осуществляться как с помощью факторов неживой природы, так и живыми организмами.

Ветроопыляемых растений среди покрытосеменных немало, например, злаки, осоковые, сережкоцветные и др. У ветроопыляемых растений цветки небольшие, с невзрачным околоцветником или голые, пыльники и рыльца пестика часто свешиваются из цветка, образуют большое количество легкой и сухой пыльцы, которая переносится на расстояние до 5 км. Многие ветроопыляемые растения цветут вообще до появления листьев, как, например, береза и орешник. Опыление с помощью воды происходит у растений, целиком погруженных в воду (роголистник, стрелолист и др.). Их цветки имеют длинные нитевидные пыльники, а их пыльца лишена оболочки, защищающей от высыхания.

Опыление при помощи животных в основном производится насекомыми и птицами. Отличительным признаком цветков, опыляемых насекомыми и птицами, являются ярко окрашенные околоцветники, благодаря которым они еще издали заметны для опылителей. Для дополнительного привлечения опылителей цветки зачастую выделяют нектар. Кроме естественных способов опыления существует также и *искусственное опыление*, которое применяется человеком для выведения новых сортов культурных растений и повышения урожайности перекрестноопыляемых растений.

ЗАПОМНИ

Опыление при помощи муравьев называют мирмекогамией, других насекомых — энтомогамией, при помощи птиц — орнитогамией.

Оплодотворение у покрытосеменных отличается от всех остальных растений, так как оно является *двойным*.

После попадания на рыльце пестика пыльца прорастает благодаря образованию вегетативной клеткой пылинки пыльцевой трубки. Она проникает через рыльце пестика до пыльцевхода в семязачатке. По пыльцевой трубке двигаются два спермия. Когда пыльцевая трубка достигает семязачатка, она лопается и спермии оказываются вблизи яйцеклетки и центральной клетки, после чего сливаются с ними.

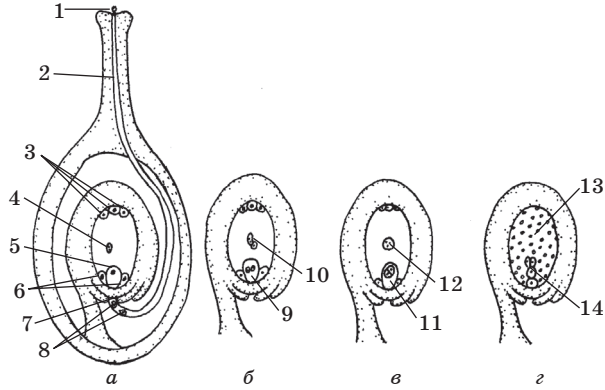


Рис. 76. Двойное оплодотворение:

а—г — последовательность двойного оплодотворения

1 — пыльцевое зерно на рыльце пестика;
2 — пыльцевая трубка;
3 — антиподы;
4 — центральная клетка;
5 — яйцеклетка;
6 — синергиды;
7 — микропиле (пыльцевход);
8 — спермии;
9 — слияние спермия с яйцеклеткой;
10 — слияние спермия с центральной клеткой;
11 — зигота;
12 — триплоидное ядро (будущий эндосперм);
13 — эндосперм;
14 — развивающийся зародыш

В результате двойного оплодотворения из яйцеклетки и первого спермия образуется зигота, а из центральной клетки и второго спермия — триплоидная клетка. Двойное оплодотворение играет важную роль у цветковых, поскольку обеспечивает высокую приспособляемость к условиям окружающей среды (рис. 76).

В конечном итоге из семязачатка формируется семя: интегументы дают начало семенной кожуре, зигота в результате многократных делений — зародышу, а триплоидная клетка — вторичному эндосперму. Последний является запасом питательных веществ для последующего развития зародыша. Запасные вещества могут оставаться в семенах в эндосперме, но могут также переходить в сам зародыш и откладываться в его листочках — семядолях.

Превращение семязачатка в семя происходит на материнском растении за счет его питательных веществ.

Распространение семян и плодов способствует расселению растений, а расселение растений — сохранению и процветанию видов. Плоды и семена могут распространяться самостоятельно или с помощью ветра, воды, птиц и других животных, человека.

Наиболее распространен способ расселения растений ветром. Плоды и семена таких растений имеют специальные приспособления для распространения: хохолки, волоски, парашютики и др. (рис. 77). Распространение семян и плодов при помощи воды свойственно в основном водно-болотным растениям.

Довольно часто в природе встречаются распространение плодов и семян птицами и другими

животными. Она в основном характерна для растений с сочными плодами. В XX веке значительное влияние на расселение растений стал оказывать человек.

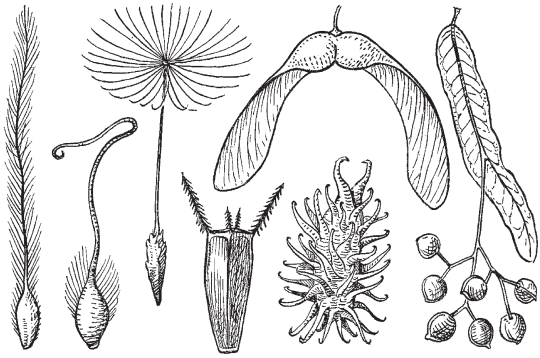


Рис. 77. Приспособления семян для распространения их ветром

Развитие растительного организма

Процесс индивидуального развития — *онтогенез* — у цветковых растений делится на четыре периода: эмбриональный, вегетативный, генеративный и период старения. *Эмбриональный период* развития продолжается от оплодотворения до созревания семени, он был рассмотрен выше.

Вегетативный период включает прорастание семени и формирование вегетативных органов вплоть до образования генеративных органов. Семена многих растений неспособны прорастать сразу же после опадания с материнского растения, так как они зачастую находятся внутри плода. Этому могут препятствовать непроницаемые для

воды семенная кожура и околоплодник, накопление в семени подавляющих развитие зародыша веществ, а также недоразвитие самого зародыша.

Для прорастания семян с плотной семенной кожурой или околоплодником (например, грецкого ореха) требуется их механическое повреждение — *скарификация*. Устранение подавляющих развитие растения веществ требует либо длительного периода нахождения семени при пониженной температуре — *стратификации*, — либо вымывания этих веществ под струей воды. Иногда требуется воздействие каких-либо физиологически активных веществ, например фитогормонов.

После устранения механических и химических препятствий начинается процесс прорастания. Он делится на четыре стадии: набухание, проклевывание, стадия гетеротрофного роста и стадия автотрофного роста.

В процессе набухания ткани семени, содержавшие 5—10 % воды, набирают ее в значительном количестве и увеличиваются в размерах. При этом активизируются процессы жизнедеятельности зародыша, и он пускается в рост. На второй стадии прорастания зародышевый корешок прорывает семенную кожуру в месте, которое называется *семявходом*, после него появляется и зародышевый стебелек. Стадия гетеротрофного роста длится от проклевывания до выхода проростка на свет, так как в это время проросток неспособен еще осуществлять процесс фотосинтеза. На стадии автотрофного роста проросток наконец-то появляется на поверхности земли

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Растения северных широт в основном являются длиннодневными (овес, ячмень), а южных — короткодневными (хризантема, астра, соя).

и постепенно переходит на самообеспечение органическими веществами.

Однако процесс выхода проростка на поверхность существенно различается у разных организмов. Одни из них выносят семядоли на поверхность (фасоль, томаты) (рис. 78), а другие оставляют их под землей (рис. 79). Двудольные выходят на поверхность петелькой зародышевого стебелька, а злаки пробивают толщу земли первичным листочком — *колеоптилем*.

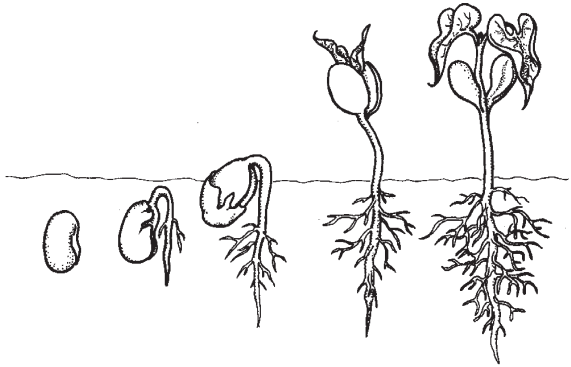


Рис. 78. Прорастание семени фасоли

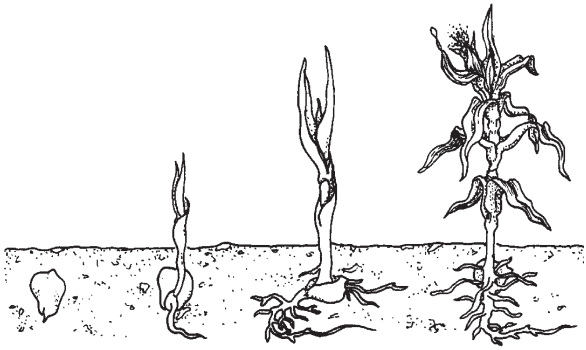


Рис. 79. Прорастание семени кукурузы

Для прорастания семени недостаточно наличия в почве воды. Для этого необходимы также определенная температура почвы и наличие кислорода в среде, поскольку рост требует значительных затрат энергии, которые проросток может получить только в процессе дыхания.

В дальнейшем происходят рост растительного организма и увеличение количества листьев, ветвление побега и корня. Рост растений происходит за счет двух процессов: деления клеток и их растяжения. Однако рост растения в высоту осуществляется за счет деятельности верхушечных образовательных тканей побега и корня, а у некоторых растений — и в основании междоузлий, тогда как рост в толщину обусловлен делением клеток камбия.

Генеративный период связывают с закладкой и функционированием репродуктивных органов. Для этого многим растениям требуется не только накопление биомассы, но и определенная продолжительность дня (фотопериод) или период действия пониженных температур.

Переход растений к цветению вследствие действия пониженной температуры называется *яровизацией*.

Период старения начинается после того, как растение завершило последнее плодоношение и уже неспособно зацвести вновь. В этот период нарушается синтез многих веществ, постепенно прекращается фотосинтез, в клетках разрушаются хлоропласты и накапливаются токсичные продукты обмена веществ. В результате нарушений, возникающих в растении, запускаются программы гибели клеток. Завершается период старения полным отмиранием растительного организма.

Раздражимость

Растения способны реагировать на постоянно действующие или периодически происходящие в природе изменения, например восход и заход солнца.

Характерным является пример с растением, стоящим на подоконнике у окна — его листья повернуты к свету. Еще более выражена реакция на свет у закрытых корзинок подсолнечника, которые поворачиваются в светлое время суток вслед за ходом солнца, а ночью возвращаются на исходную позицию. Появление одностороннего ростового изгиба растения под действием освещенности называется *фототропизмом* (рис. 80). Изменение освещенности вызывает открывание и закрывание цветков некоторых растений (картофеля) и изменение положения листьев (белая акация, кислица).

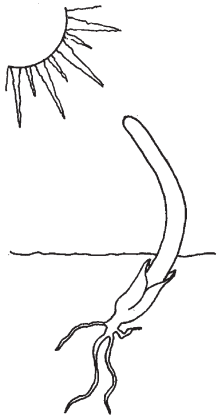


Рис. 80. Фототропизм

Даже продолжительность дня и ночи воспринимается растениями как определенный сигнал: одни растения переходят к цветению (*фотопериодизм*), а растения умеренного климата прекращают рост и начинают готовиться к зиме. Спектральный состав света также оказывает воздействие на растения — освещение красным светом способствует прорастанию семян салата и переходу растений к цветению.

Земное тяготение также оказывает влияние на растения: корень всегда стремится к центру Земли, а побег — от него. Эти ростовые реакции называются *геотропизмом*. Достаточно развита у растений и температурная чувствительность: они способны открывать и закрывать цветки, опускать и поднимать листья, в том числе и в ответ на суточные колебания температуры, как, например, тюльпаны или фасоль.

Многообразие растений, их роль в природе

Царство растений условно подразделяют на высшие и низшие растения. К *низшим растениям* относят водоросли, тело которых не расчленено на органы и называется *талломом*, или *слоевищем*, а органы полового и бесполого размножения обычно одноклеточные. *Высшими растениями* считаются все остальные растения, у которых имеются дифференцированные ткани и органы, а также многоклеточные органы полового и бесполого размножения. Формирование тканей и органов было связано с выходом растений на сушу, где возникла необходимость в защите от высыхания, перепадов температуры и механических повреждений, а также потребность в обеспечении водой и минеральными солями. Для высших растений характерно также правильное чередование бесполого и полового поколений. В зависимости от наличия отдельно существующего полового поколения — гаметофита — высшие растения делят на две группы: высшие споровые и семенные.

Современная система царства растений представлена на рис. 81.

Растения являются почти единственным источником жизни на Земле, поскольку они связывают Солнце с Землей, превращая энергию солнечных лучей в доступную для всех живых организмов форму. Растения являются первым звеном в цепях питания различных экосистем, начиная от водоемов, где фитопланктон поглощается многочисленными одноклеточными и многоклеточными животными, и заканчивая наземными экосистемами, в которых растительные ресурсы эксплуатируются не только растительноядными животными, но и паразитическими бактериями, грибами, животными и даже растениями.

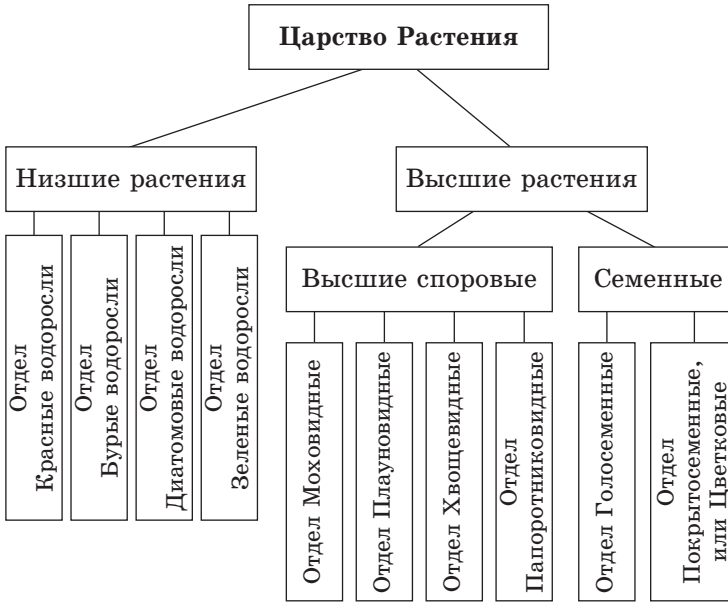


Рис. 81. Классификация царства Растения

Растения являются для многих животных средой обитания, поскольку различные короеды, тля и другие паразиты покидают растение только с целью расселения. На растениях строят гнезда многие птицы, обитают и охотятся пресмыкающиеся и млекопитающие.

Органические вещества, произведенные растениями, далеко не полностью расходуются в процессе жизнедеятельности, из их остатков за миллионы лет образовались залежи полезных ископаемых, таких как каменный и бурый уголь, нефть. Синтезированные растениями органические вещества имеют огромное значение в почвообразовании, поскольку именно растительные остатки образуют гумус, склеивающий неорганические частички в гранулы и создающий структуру почвы, а также предотвращающий ее смыв и эрозию. Не меньшую роль в процессах почвообразования и естественного самоочищения сточных и загрязненных вод играют водоросли.

Кислород, выделяющийся в результате деятельности растений, обеспечивает процесс дыхания всех живых организмов, а также другие окислительные процессы в природе. Из кислорода в верхних слоях атмосферы образуется озон, создающий озоновый экран, препятствующий проникновению на землю губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей.

Растительность существенно влияет и на климат планеты, формируя температурный режим: за счет значительного поглощения углекислого газа произошло уменьшение так называемого парникового эффекта и снижение температуры до современного уровня.

Человек использует растительные ресурсы не менее широко. Из огромного разнообразия царства растений особое значение для человека имеют семенные растения, дающие пищу, одежду, топливо, строительный материал, сырье для различных отраслей промышленности: пищевой, текстильной, бумажной, химической и др. Таким образом, растения являются основой жизни на Земле, а их деятельность — космической по масштабам.

Низшие растения

Низшие растения являются наиболее древней группой растений на Земле, объединяющей как одно-, так и многоклеточные водоросли. Водоросли обитают не только в воде, но и в почве, на коре деревьев, во льдах и т. д., а также входят в состав лишайников. Водоросли водной среды обитания по способу жизни делятся на планктонные и бентосные.

ЗАПОМНИ

Не всякое водное растение является водорослью. Хорошо известные кувшинки, роголистник, ряска — это высшие растения, освоившие водную среду.

Слоевище водорослей крайне разнообразно по строению, форме, величине, окраске и т. д. Именно окраска слоевища зачастую отражается в названиях различных таксонов (групп) водорослей: зеленые, бурые, красные и т. д. Окраска водорослей обусловлена пигментами (красящими веществами). По строению таллом бывает одноклеточным, колониальным или многоклеточным. Многоклеточные талломы бывают нитчатыми, кустистыми и пластинчатыми.

Размножаются водоросли бесполым, вегетативным и половым способами. При *бесполом* раз-

множении путем спорообразования содержимое одной клетки многократно делится и образуется значительное количество одноклеточных подвижных спор, которые называются *зооспорами*. Каждая из них дает начало новой особи. У некоторых неподвижных водорослей бесполое размножение осуществляется не зооспорами, а неподвижными спорами, лишенными жгутиков.

При *вегетативном* размножении новые особи возникают из обрывков нитей и кусков слоевищ многоклеточных водорослей, а также при распаде колоний и делении одноклеточных представителей надвое.

Половое размножение в классическом виде заключается в слиянии двух половых клеток, в результате чего образуется зигота, прорастающая затем в новую особь, однако у водорослей могут сливаться как половые, так и вегетативные клетки или даже одноклеточные особи целиком. Для некоторых водорослей характерен особый половой процесс — *конъюгация*.

Водоросли не являются систематической группой, так как эти организмы имеют различное строение и происхождение, тем не менее, по традиции, к ним относят до 13 отделов, наиболее изученными из которых являются красные, бурые, зеленые и диатомовые водоросли.

Отдел Красные водоросли включает около 5 000 видов в основном морских многоклеточных водорослей, хотя в настоящее время известны уже пресноводные и почвенные виды. Окраску их таллому от голубовато-стального до малиново-красного и даже черного придают хлорофилл и дополнительные пигменты — фикобилины. Красные водоросли —

наиболее глубоководные. Основное запасное вещество красных водорослей — багрянковый крахмал. Размножаются багрянки бесполым, вегетативным и половым способами, при этом даже их споры и половые клетки лишены жгутиков, что коренным образом отличает их от других водорослей.

Основными представителями красных водорослей являются порфира, родимения, калитамнион, немалион, кораллина, анфельция и церамия, обитающие в морях, тогда как в пресных водоемах в нашей стране можно встретить, например, батрахоспермум.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Красные водоросли — наиболее глубоководные, так как они были обнаружены на глубине 268 м в районе Багамских островов.

Красные водоросли играют важную роль в морских экосистемах, так как служат кормом для многих животных и дают им приют, обогащают воду кислородом, поглощают углекислый газ. Некоторые красные водоросли используют в пищу, на корм скоту, в качестве удобрения. Также из них получают агар-агар, йод, бром, заменители крови и лекарственные препараты, препятствующие свертыванию крови.

Отдел Бурые водоросли объединяет около 1 500 видов исключительно многоклеточных морских организмов. Окраска слоевища бурых водорослей варьирует от зеленовато-оливковой до темно-бурой, будучи обусловленной хлорофиллом и каротиноидами. Размеры тела бурых водорослей могут достигать 60 и более метров (макроцистис грушеносная). К субстрату бурые водоросли прикрепляются с помощью специальных выростов — *ризоидов*, но впоследствии могут отрываться от

него и новых ризоидов не образовывать. У них имеются достаточно хорошо сформированные ткани, а органы полового и бесполого размножения, в отличие от всех остальных водорослей, могут быть многоклеточными. Запасное вещество бурых водорослей — растворимый углевод ламинарин, накапливающийся в цитоплазме. Размножаются бурые водоросли вегетативно, бесполым или половым способом. Для них характерно чередование бесполого и полового поколений с преобладанием первого в жизненном цикле.

К данному отделу принадлежат ламинария, фукус пузырчатый, саргассум и макроцистис.

Бурые водоросли играют крайне важную роль в морских экосистемах, так как являются важнейшим поставщиком органического вещества и дают приют многим видам организмов. Бурые водоросли широко используются в пищу, для изготовления лекарственных препаратов, получения йода и т. д.

Отдел Диатомовые водоросли объединяет около 20 тыс. видов одноклеточных и колониальных организмов, имеющих кремнеземный панцирь. Размеры тела диатомовых водорослей крайне незначительны — в среднем около 0,02—0,05 мм. Панцирь имеет две створки: верхнюю и нижнюю (рис. 82). Окраска их обычно грязно-желтая, что обусловлено маскировкой хлорофилла ка-

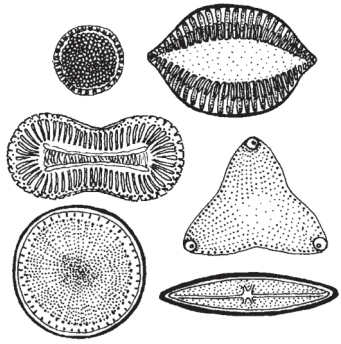


Рис. 82. Типы панцирей диатомовых водорослей

ротиноидами. Основным запасным веществом диатомовых водорослей является полисахарид хризоламинарин, реже — масло. Размножение осуществляется бесполым и половым способами. Диатомовые водоросли преобладают в морских и пресноводных экосистемах, обитают в почве.

Характерными представителями диатомовых водорослей являются пиннулярия, навикула, цимбелла, мелозира и др.

Диатомовые водоросли играют важную роль в водных экосистемах, поскольку служат основным кормом для значительного количества водных организмов, в том числе молодняка многих рыб. Отмирая, эти водоросли опускаются на дно и служат пищей для бактерий и простейших. Они также имеют исключительное значение в осадконакоплении, образуя диатомовые илы.

Диатомит используется в качестве абразивного и поглощающего материала, а также фильтра. Панцири диатомей также используются в геологии и палеонтологии в качестве «руководящих ископаемых», по которым можно датировать возраст горных пород и останков, найденных в них.

Отдел Зеленые водоросли включает 20—25 тыс. видов водорослей с преимущественно зеленой окраской таллома вследствие преобладания хлорофилла. Они представлены одноклеточными, колониальными и многоклеточными формами. Многоклеточные зеленые водоросли могут иметь нитчатый или пластинчатый таллом. Основным запасным веществом зеленых водорослей является крахмал. Размножение осуществляется бесполым, вегетативным и половым способами. Они засели-

ли все возможные экологические ниши: соленые и пресные водоемы, почву, камни, ледники, гейзеры и пр.

Характерными представителями зеленых водорослей являются хламидомонада, вольвокс, хлорелла, спирогира, улотрикс и ульва. К ним же относят и эвглену зеленую.

Хламидомонада — одноклеточная зеленая водоросль, обитающая во всех пресных водоемах, лужах и других временных водоемах (рис. 83). Ее клетка имеет грушевидную форму и снабжена двумя жгутиками. Единственный хлоропласт хламидомонады имеет чашевидную форму. В передней части клетки находится красный «глазок», который ориентирует хламидомонаду на свет. Имеются также две сократительные вакуоли, которые удаляют из клетки излишнюю воду. При неблагоприятных условиях хламидомонады теряют жгутики, покрываются слизистыми капсулами и переходят в состояние покоя. Если такую клетку поместить в воду, она возобновит жизнедеятельность. Размножаются хламидомонады бесполым и половым способами. Хламидомонады широко используются в лабораторных исследованиях.

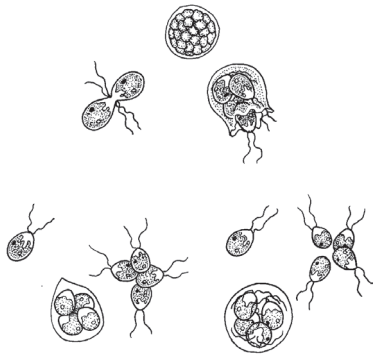


Рис. 83. Жизненный цикл хламидомонады

Спирогира — многоклеточная нитчатая пресноводная водоросль, спирально уложенные хлоропласты которой имеют ленто-

видную форму (рис. 84). Размножается спирогира вегетативно и половым способом.

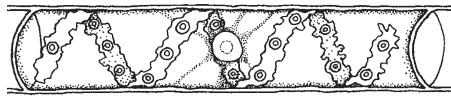


Рис. 84. Спирогира

Вегетативное размножение осуществляется путем разрыва нитей; половой процесс называется конъюгацией (рис. 85). При конъюгации две нити спирогиры подходят друг к другу, их клетки формируют конъюгационные мостики, по которым содержимое клеток одной нити перетекает в другую и сливается с ее клетками с образованием зиготы.

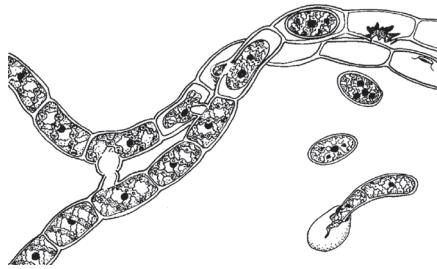


Рис. 85. Конъюгация у спирогиры

Прорастание зиготы сопровождается последовательными делениями, в результате которых развивается новая особь.

Высшие споровые растения

Выход растений на сушу более 400 млн лет назад был сопряжен с формированием тканей и органов, строение которых постепенно усложнялись в процессе эволюции. Прогрессивному усложне-

нию морфологии и анатомии растений соответствовали изменения и в их онтогенезе: в жизненном цикле наземных растений происходит правильное чередование бесполого и полового размножения и связанное с этим чередование бесполого и полового поколений. Бесполое поколение называется *спорофитом*, а половое — *гаметофитом*. На спорофите ($2n$) развиваются спорангии, в которых в результате мейоза формируются *споры* (n).

Споры являются одноклеточными образованиями с небольшим запасом питательных веществ и довольно прочной защитной оболочкой. Из споры вырастает *гаметофит* (n). Именно наличие отдельной фазы гаметофита в жизненном цикле является характерным признаком высших споровых растений. На гаметофите развиваются генеративные органы — *гаметангии*, которые подразделяются на женские (*архегонии*) и мужские (*антеридии*). В архегониях образуются одиночные *яйцеклетки* (n), тогда как в антеридиях — множество подвижных *сперматозоидов* (n). Оплодотворение у высших споровых растений, как и у низших, требует наличия хотя бы капельно-жидкой влаги. В результате оплодотворения образуется *зигота* ($2n$), из которой сначала формируется многоклеточный зародыш, развивающийся впоследствии в новый спорофит (рис. 86). Современные высшие споровые растения представлены отделами Моховидные, Плауновидные, Хвощевидные и Папоротниковидные.

Следует отметить, что у наиболее высокоорганизованных представителей плаунов и папоротников на спорофитах развиваются два типа спорангиев: *мегаспорангии* и *микроспорангии*.

В мегаспорангиях формируются *мегаспоры*, вырастающие затем в женские гаметофиты с архегониями, тогда как в микроспорангиях образуются *микроспоры*, дающие начало мужским гаметофитам с антеридиями. Дальнейшие события в жизненных циклах таких представителей не отличаются от вышеописанных. Растения, образующие два типа спор, называются *разноспоровыми*, а все остальные — *равноспоровыми*. Именно разноспоровые растения, скорее всего папоротники, стали предками семенных растений.

Отдел Моховидные представлены примерно 25 тыс. видов споровых растений, в жизненном цикле которых преобладает гаметофит. Размеры мхов незначительны: большинство их не достигает в высоту и 10 см, хотя имеются и 40-сантиметровые виды.

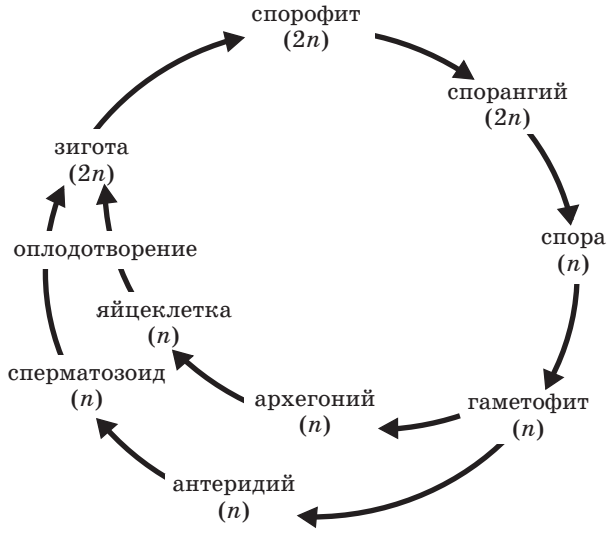


Рис. 86. Жизненный цикл высших споровых растений

Мхи обитают в основном во влажных местах. Большое видовое разнообразие мхов характерно для северных широт, в том числе зоны тундры, однако и в тропических областях встречается немало видов этих организмов. Гаметофит моховидных может иметь листостебельное или слоевищное строение, но, в отличие от низших растений, у них имеются ткани (покровная и основная).

Наибольшее число представителей отдела насчитывают два класса: Печеночники и Листостебельные мхи. Характерными представителями печеночников являются маршанция и риччия, а листостебельных — политрихум и сфагнум.

Политрихум, или *кукушкин лен* (рис. 87), зачастую образует сплошной покров на сырой почве в лесах, на лугах и болотах. Его гаметофит достигает в высоту 10—20 см. Надземная часть его стебля усеяна жесткими листочками, а от подземной отходят ризоиды, которые служат для прикрепления к субстрату и поглощения воды. Корней у мхов нет.

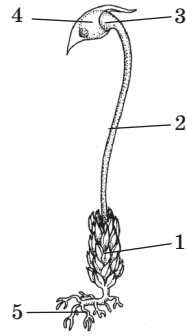


Рис. 87.
Кукушкин лен:
1 — гаметофит;
2 — ножка спорофита;
3 — коробочка;
4 — колпачок;
5 — ризоиды

Гаметофиты кукушкина льна раздельнополые. На верхушках женских гаметофитов развиваются архегонии с яйцеклетками, а на верхушках мужских — антеридии со сперматозоидами (рис. 88). Оплодотворение у политрихума происходит в дождливую погоду или при сильной росе. Из

зиготы прямо на материнском растении вырастает спорофит. Зрелый спорофит кукушкина льна — *спорогон* — состоит из ножки и коробочки с крышечкой и колпачком. Он паразитирует на гаметофите, поглощая из его тканей воду и растворенные в ней питательные вещества с помощью специального выроста ножки — *гаустории*. В коробочке спорофита формируются споры, которые после созревания высыпаются и разлетаются на значительное расстояние, осуществляя бесполое размножение. Из спор прорастают протонемы, или предростки, дающие начало новым гаметофитам.

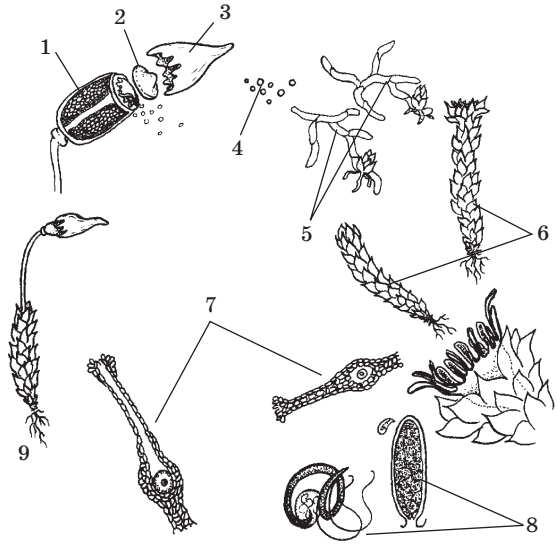


Рис. 88. Схема жизненного цикла моховидных (на примере кукушкина льна):

1 — коробочка;
2 — крышечка;
3 — колпачок;
4 — споры;
5 — протонемы;
6 — гаметофиты;
7 — архегоний с яйцеклеткой;
8 — антеридий со сперматозоидами;
9 — гаметофит со спорофитом

Сфагнум — белый болотный мох, часто образующий сплошной покров в избыточно увлажненных местах. Цвет растений сфагнума обусловлен тем, что часть его клеток специализируется на накоплении воды. За год прирост сфагнума составляет около 3—5 см, и столько же отмирает в его нижней части, однако не разлагается из-за особенностей среды обитания сфагнума. В отличие от кукушкина льна, гаметофиты сфагнума однодомные, а коробочки сфагнума имеют округлую форму. Сфагнум играет первостепенную роль в процессах торфообразования.

Значение мхов в природе велико. Они защищают почвы от высыхания и эрозии, участвуют в образовании торфа, широко используются в химической промышленности для получения различных органических веществ.

Отдел Плауновидные. К плауновидным относят древнейшие из споровых растений, в жизненном цикле которых преобладает спорофит. Ныне встречается около 1000 видов плауновидных. Несмотря на то что ранее среди плаунов встречались и древесные формы, до наших дней сохранились в основном многолетние травянистые растения.

В наших хвойных лесах часто встречается *плаун булавовидный* с вечнозелеными стелющимися и поднимающимися побегами, густо усаженными мелкими шиловидными листочками. На стебле плауна образуются тонкие придаточные корни. Для представителей этого отдела высших споровых уже характерно наличие проводящих, механических и иных тканей.

Споры у плауна созревают на особых листьях — *спорофиллах*, собранных в спороносные колоски на верхушках побегов. После высыпания из спор

вырастают гаметофиты, ведущие подземный образ жизни и фактически паразитирующие на гифах гриба в течение 6—20 лет, до образования на них архегониев и антеридиев. После оплодотворения, для которого необходима влага, из зиготы вырастает спорофит (рис. 89).

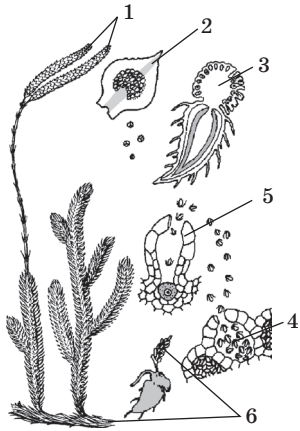


Рис. 89. Схема жизненного цикла плауна булавовидного:
1 — спороносные колоски;
2 — спорофит со спорами;
3 — гаметофит;
4 — антеридий со сперматозоидами;
5 — архегоний с яйцеклеткой;
6 — спорофит

В нашей стране встречаются также плаун годичный, баранец обыкновенный и полушник озерный. Полушники интересны тем, что являются разноспоровыми растениями и, в отличие от плаунов, освоили водную среду обитания.

В настоящее время значение плауновидных существенно уменьшилось, так как их не едят животные, а использование ограничивается применением спор в качестве детской присыпки и обсыпки форм для литья в промышленности.

Отдел Хвощевидные. К хвощевидным относят около 30 видов ныне живущих многолетних травянистых растений, хотя ранее они были представлены в основном древесными и кустарниковыми формами. Хвощи преимущественно распространены во влажных местах. Характерным представителем отдела является *хвощ полевой* (рис. 90).

Побеги хвоща расчленены на узлы и междоузлия. У хвощей функцию фотосинтеза выполняют только стебли, тогда как листья даже не содержат хлорофилла. В узлах расположены мутовки побегов и крошечные чешуевидные листочки. Стебель хвоща имеет многочисленные полости, заполненные водой или воздухом (рис. 91). Клетки кожицы стебля пропитаны кремнеземом, что делает его очень жестким и несъедобным для животных. Подземная часть побега хвоща представлена корневищем, в котором накапливаются питательные вещества. На корневище ежегодно образуются надземные побеги и придаточные корни.

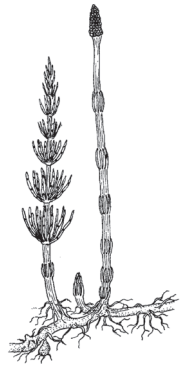


Рис. 90. Хвощ

Споры хвощевидных образуются в специальных спороносных колосках, расположенных на верхушках побегов. Эти колоски могут развиваться как на обычных, вегетативных побегах, так и на специальных — генеративных, которые появляются весной, раньше вегетативных. После созревания споры хвоща высыпаются, и при благоприятных условиях из них вырастают зеленые пластинчатые гаметофиты. На гаметофите развиваются архегонии и антеридии, в которых созревают соответствующие половые клет-

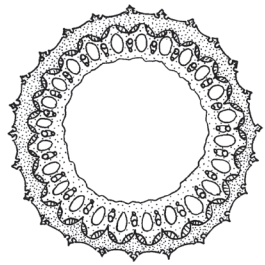


Рис. 91. Поперечный срез стебля хвоща

ки. Оплодотворение у хвощей, как и у других высших споровых растений, зависит от воды. После слияния сперматозоида с яйцеклеткой из зиготы у них сначала развивается зародыш, питающийся за счет гаметофита до тех пор, пока не сформирует собственные корни и надземный побег, а он, в свою очередь, дает начало взрослому спорофиту (рис. 92).

Значение хвощей в настоящее время в природе невелико, так как они несъедобны для животных, однако их предки сыграли немаловажную роль в образовании залежей каменного угля. Хвощи применяют в качестве абразивного средства для чистки посуды и шлифовки различных изделий, в медицине — как мочегонные и кровоостанавливающие средства.

Молодые побеги хвощей ранее использовали в пищу. Многие хвощи являются индикаторами кислых почв. Среди них имеются ядовитые виды и злостные сорняки.

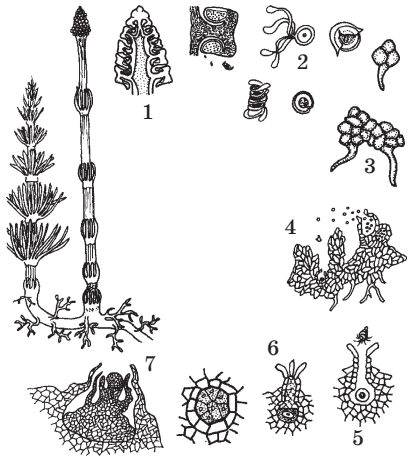


Рис. 92. Схема жизненного цикла хвоща полевого:

1 — спороносный колосок;
2 — споры с выростами;
3 — прорастание спор;
4 — антеридий со сперматозоидами;
5 — архегоний с яйцеклетками;
6, 7 — развитие спорофита

Отдел Папоротниковидные. К папоротниковидным относят около 12 000 видов споровых растений, долгоживущий спорофит которых имеет крупные, часто сильно рассеченные черешковые листья — *вайи*. На нижней стороне вай размещаются отдельные спорангии или их группы — *сорусы*. Папоротники распространены повсеместно, особенно в тропиках, ряд представителей отдела освоили водную среду (марсилия, сальвиния, азолла).

Спорофит папоротников умеренного климата имеет корневище с придаточными корнями и хорошо развитые листья (рис. 93), тогда как в южных областях планеты встречаются древовидные и лиановидные формы этих растений. Вайи папоротников могут достигать в длину от 2—4 мм до 6 м, среди них встречаются как простые, так и перисто-рассеченные. Особенностью листьев папоротников является длительное нарастание верхушкой, вследствие чего молодой лист свернут улиткой и постепенно раскручивается.

Как уже упоминалось выше, на нижней стороне зрелых листьев могут образовываться многочисленные спорангии, собранные в группы — сорусы, иногда даже прикрытые специальным покрывальцем — *индузием*. Созревшие споры рассеиваются с помощью ветра, из них вырастают небольшие сердцевидные гаметофиты до 1 см в диаметре. На нижней стороне гаметофита развиваются антеридии, архегонии и ризоиды.

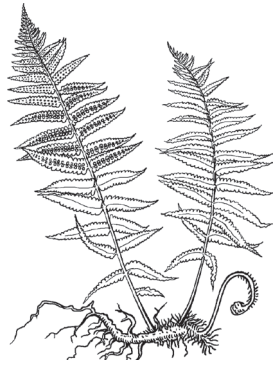


Рис. 93. Папоротник

В архегониях образуются женские половые клетки — яйцеклетки, а в антеридиях — многожгутиковые сперматозоиды. Для оплодотворения папоротникам, как и остальным высшим споровым растениям, обязательно необходимо наличие капельно-жидкой влаги. Из зиготы вырастает спорофит, который первое время паразитирует на гаметофите (рис. 94).

Большинство папоротников — равноспоровые растения, однако часть представителей отдела, освоивших водную среду, относятся к разноспоровым, как марсилия, сальвиния и азолла.

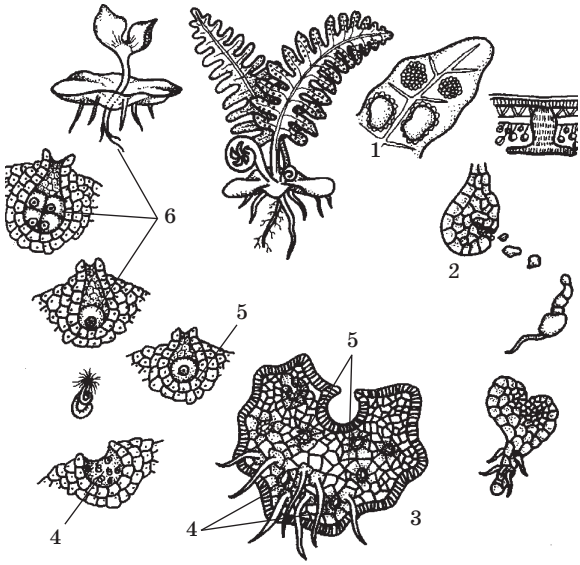


Рис. 94. Жизненный цикл папоротника:
1 — сорусы;
2 — высыпание и прорастание спор;
3 — заросток;
4 — антеридии;
5 — архегонии;
6 — развитие спорофита

Папоротники сыграли значительную роль в образовании залежей каменного угля, а в настоящее время широко используются как лекарственные растения (глистогонное, противовоспалительное средства), а также культивируются на рисовых полях для обогащения их азотом. Представители отдела популярны в качестве декоративных растений: адиантум венерин волос, платицериум («олений рог»), нефролепис и др. Некоторые папоротники (марсилии) культивируются в качестве аквариумных растений.

Семенные растения

Семенные растения являются господствующей в настоящее время группой растений. Их широкое распространение в значительной степени обусловлено возникновением семени, а также независимостью полового процесса даже от капельно-жидкой влаги.

В жизненном цикле семенных растений преобладает спорофит, тогда как гаметофиты настолько редуцированы, что развиваются из спор непосредственно на спорофите. Все семенные относятся к разноспоровым растениям, так как на их спорофитах развиваются мега- и микроспорангии с мега- и микроспорами соответственно. Мегаспорангий семенных видоизменен в семязачаток с мегаспорами, одна из которых развивается в женский гаметофит. На последнем впоследствии формируются яйцеклетки.

Микроспоры прорастают в редуцированные мужские гаметофиты, не покидая при этом оболочки споры. Мужской гаметофит семенных состоит

обыкновенно из двух клеток — вегетативной и генеративной и называется *пыльцевым зерном*, или *пылинкой*.

Оплодотворению у семенных предшествует опыление — перенос пыльцевого зерна с помощью ветра или иных факторов к женскому гаметофиту. Здесь вегетативная клетка мужского гаметофита прорастает в *пыльцевую трубку*, по которой движутся образовавшиеся из генеративной клетки спермии вплоть до слияния с яйцеклеткой. Именно появление пыльцевой трубки позволило семенным растениям преодолеть зависимость от воды в процессе оплодотворения.

В результате оплодотворения из семязачатка формируется семя — многоклеточное образование, содержащее зародыш — маленький спорофит, запас питательных веществ и достаточно прочные покровы, что обеспечивает ему возможность сохраняться длительное время до наступления благоприятных условий. К тому же семя зачастую снабжено специальным приспособлением для распространения (прицепками, крючками и др.).

В целом семенные характеризуются более совершенным строением тканей и органов.

К семенным растениям в настоящее время относят два отдела высших растений: Голосеменные и Покрытосеменные, или Цветковые.

Отдел Голосеменные. К голосеменным относят около 800 видов семенных растений, не формирующих цветков и плодов. Их семязачатки лежат открыто (голо) на чешуйках женских шишек (отсюда название отдела). Почти все голосеменные — древесные растения, многие из которых образуют леса в различных частях света. Для них

характерно более совершенное строение тканей и органов по сравнению с высшими споровыми растениями, в частности, у них появляется главный корень, который развивается из зародышевого корешка, а рост стебля и корня в толщину обеспечивается делением клеток камбия, который год за годом откладывает все новые годичные кольца древесины. Стебли и корни также могут покрываться пробкой и коркой, что не присуще высшим споровым.

Характерным представителем голосеменных является *сосна обыкновенная*. Как правило, это стройное дерево высотой до 30—40 м. На удлиненных побегах сосны расположены укороченные, несущие пучки из двух *листьев*-*хвоинок*. Хвоинки опадают через 2—3 года, поэтому сосна относится к вечнозеленым растениям. Ткани сосны, в частности мякоть листа, первичная кора, луб и древесина, пронизаны смоляными ходами с живицей, выполняющей защитную функцию. Хвоинки также выделяют летучие бактерицидные вещества — *фитонциды*.

Как и все голосеменные, сосна — разноспоровое растение. На нижней стороне чешуек мужских шишек (рис. 95), лежащих в основании развивающихся побегов, весной образуются микроспорангии (пыльцевые мешки) с микроспорами — пылинками. Не покидая оболочки пыльцевого зерна, из микроспор вырастают сильно

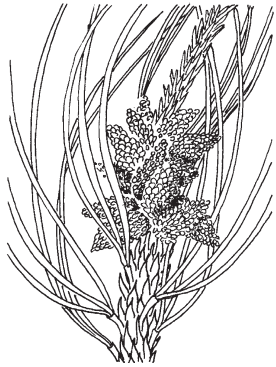


Рис. 95. Мужские шишки сосны

редуцированные мужские гаметофиты, состоящие из двух клеток — вегетативной и генеративной. Пылинка зачастую имеет два воздушных мешка для облегчения его переноса ветром.

На чешуйках ярко окрашенных женских шишек (рис. 96), находящихся на концах развивающихся побегов, развивается по два видоизмененных мегаспорангия — семязачатка (рис. 97). Семязачатки покрыты *интегументом* и содержат материнскую ткань — *нуцеллус*. В процессе спорообразования в семязачатке остается по одной мегаспоре, которая прорастает в многоклеточный женский гаметофит (n). На гаметофите образуется два архегония, в каждом из которых формируется по яйцеклетке.

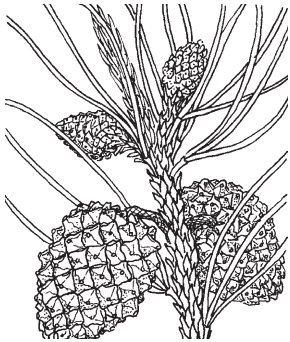


Рис. 96. Женские шишки сосны

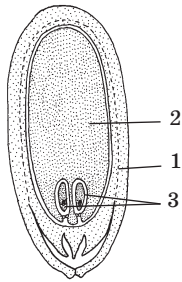


Рис. 97. Семязачаток голосеменных:
1 — интегумент;
2 — нуцелус;
3 — архегонии с яйцеклетками

К моменту созревания пыльцы семязачатки выделяют небольшую каплю клейкой жидкости, к которой прилипают пылинки. Затем семязачаток поглощает жидкость и втягивает пылинки внутрь шишки. Когда пылинка попадает на женскую шишку, она образует пыльцевую трубку, по которой начинают двигаться две мужские поло-

вые клетки — спермия, образовавшиеся в результате деления генеративной клетки. Рост трубки вскоре приостанавливается, а сама шишка зеленеет, деревенеет и разрастается. Через год после опыления в семязачатках созревают яйцеклетки, а пыльцевая трубка дорастает до них. Один спермий оплодотворяет яйцеклетку, а оставшиеся спермий и яйцеклетка погибают. Из зиготы формируется зародыш ($2n$) с несколькими семядолями, а из клеток женского гаметофита — первичный эндосперм (n), тогда как интегумент превращается в семенную кожуру ($2n$) с крыловидным выростом. Приблизительно через полтора года после опыления женская шишка полностью одревесневает и в хорошую погоду открывается, в результате чего семена разлетаются.

К голосеменным относят семь классов, основным из которых является класс Хвойные. Представителями других классов голосеменных являются вельвичия удивительная, гинкго двулопастный и саговники.

Класс Хвойные включает около 700 видов голосеменных, имеющих игловидные, чешуевидные или иной формы листья, которые чаще всего называют хвоинками. Они имеют толстый слой кутикулы и углубленные устьица для защиты от испарения. Большинство хвойных — вечнозеленые растения, но встречаются и листопадные, как лиственница. Ежегодно у них образуется одно кольцо ветвей, по количеству которых можно определить возраст растения. Многие хвойные выделяют живицу. К классу Хвойные относятся роды сосна, ель, пихта, лиственница, секвойя, секвойядендрон, кедр, можжевельник, туя, кипарис и др.

Значение голосеменных в природе и жизни человека трудно переоценить, поскольку они образуют обширнейшие леса на севере нашей страны, в Северной Америке и на островах Тихого океана и обеспечивают приток органического вещества и обогащение атмосферы кислородом. Древесина голосеменных широко используется в строительстве, для изготовления бумаги; смола и канифоль, полученные из них, широко применяются в химической и лакокрасочной промышленностях; из листьев хвойных получают витамин С, а декоративные формы используют в зеленом строительстве. Семена некоторых хвойных (сосна сибирская, пиния) съедобны.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Секвойи и секвойядендроны достигают в высоту нескольких десятков метров, в толщину — более 10 м и живут несколько тысяч лет.

Отдел Покрытосеменные, или **Цветковые.** К покрытосеменным относят примерно 250 тыс. видов наиболее совершенных по своей организации современных растений, отличительной особенностью которых является наличие цветка. Цветок защищает от воздействия неблагоприятных факторов семязачаток, находящийся в завязи пестика и тычинки, а также способствует процессу оплодотворения, привлекая опылителей и обеспечивая перенос пыльцы не на семязачаток, а на рыльце пестика. Для них характерно двойное оплодотворение. Повреждению или преждевременному прорастанию семени цветковых препятствует околоплодник, вследствие чего оно может длительное время сохранять жизнеспособность. Более высокая степень организации тканей, особенно проводящих, и органов покрытосеменных

растений сочетается с дальнейшей редукцией гаметофита.

В настоящее время выделяют два класса цветковых — Однодольные и Двудольные, достаточно давно разошедшиеся в процессе эволюции. Тем не менее самые примитивные представители все еще сохраняют некоторые черты сходства, например кувшинковые. В связи с этим для безошибочного определения принадлежности того или иного растения к определенному классу следует учитывать всю совокупность признаков (см. «Экспресс-помощник» с. 332).

Класс Двудольные. Семейства покрытосеменных растений выделяют по многим признакам, однако основными являются строение цветка и плода. К классу Двудольные относят около 418 семейств, 10 000 родов и 190 000 видов растений. Основными семействами двудольных, произрастающими на территории России, являются Бобовые (Мотыльковые), Крестоцветные (Капустные), Пасленовые, Розоцветные и Сложноцветные (Астровые).

Семейство Розоцветные включает более 3 тыс. видов, в основном распространенных в умеренном и субтропическом климате Северного полушария. Среди них есть как деревья и кустарники, так и многолетние травы с очередным листорасположением. Листья розоцветных простые или сложные, с прилистниками.

Обычно ярко окрашенные цветки собраны в соцветия кисть, простой зонтик или щиток. Правильные, обоеполые цветки розоцветных имеют двойной околоцветник, образованный пятью чашелистиками и пятью лепестками. Число тычинок неопределенное. Околоцветник и тычинки

прикреплены к краям разросшегося цветоложа, а пестик или пестики расположены в центре. Плоды сложноцветных в основном простые — костянка, яблоко, многоорешек и др., однако у них могут образовываться и сборные плоды, такие как многокостянка малины и клубники, или многоорешек земляники или шиповника. К ним относятся плодово-ягодные (яблоня, груша, слива, вишня, малина, клубника), лекарственные (рябина, шиповник, кровохлебка) и декоративные растения (роза, боярышник).

Семейство Бобовые, или *Мотыльковые*, насчитывает около 18 тыс. видов (650 родов). Одно из крупнейших семейств, уступающее по видовому разнообразию лишь орхидным и сложноцветным, а по широте распространения — только злакам. На корнях многих бобовых образуются клубеньки (симбиоз с азотфиксирующими клубеньковыми бактериями), способствующие обогащению почвы доступными для растения формами азота. Большинство травянистых видов встречается в районах с умеренным и даже холодным климатом, а древесные, кустарниковые и даже лианы сосредоточены в более южных регионах. Для бобовых характерно очередное листорасположение. Листья в основном сложные (тройчатых, пальчатых, перисто- или пальчатосложных), с хорошо различимыми прилистниками.

Цветки собраны в соцветия — кисть, головку или метелку. Цветки обычно неправильные, обоеполые, опыляются насекомыми, хотя встречается и самоопыление (горох, соя). Околоцветник чаще двойной, со сростнолистной чашечкой. Верхний лепесток венчика в таком цветке носит название паруса, боковые — весел, а нижние лепестки сра-

стаются по краю и образуют лодочку. Такой тип цветка называется мотыльковым, отсюда название семейства. Тычинок чаще всего 10, 9 из них срастаются, а одна остается свободной. Пестик один. Семена бобовых имеют большой зародыш с развитыми семядолями, в основном без эндосперма. Плод — боб. Имеют большое хозяйственное значение. В пищу используются горох, фасоль, соя, бобы, арахис, чечевица, конские бобы. На корм скоту выращивают клевер, люпин, люцерну, эспарцет. В медицине применяют донник и дрок. Некоторые бобовые имеют декоративное значение (люпин, душистый горошек, глициния). Ценную древесину ряда представителей семейства используют для изготовления столярных изделий, есть среди них и красильные растения, например индигофера.

Семейство Крестоцветные, или *Капустные*, включает около 3 000 видов, относящихся к 380 родам. Они распространены в умеренных и холодных широтах Северного полушария, во флоре России свыше 1 000 видов. В основном это однолетние, двулетние и многолетние травы, реже кустарники. Стебли крестоцветных часто укороченные, очередные листья собраны в прикорневую розетку. Листья простые, часто рассеченные, без прилистников, во многих случаях опушенные. Корни могут образовывать корнеплоды (редис, редька).

Цветки крестоцветных собраны в верхушечные соцветия — кисть или щиток. Околоцветник двойной, чашечка и венчик состоят из 4 листочков, расположенных крестообразно (отсюда название семейства). Тычинок обычно 6, причем 4 тычинки длиннее остальных 2. Пестик один. Плод крестоцветных — стручок или стручочек.

Крестоцветные имеют большое хозяйственное значение. К ним относятся пищевые (капуста, редис, редька), технические (рапс, горчица), лекарственные (икотник, пастушья сумка), декоративные (левкой, резеда) и сорные растения (сурепка, пастушья сумка, ярутка полевая).

Семейство Пасленовые объединяет 90 родов и около 3000 видов, распространенных по всей суше, за исключением приполярных тундр. Наибольшее видовое разнообразие характерно для тропиков Южной Америки. В основном пасленовые — травы, кустарники или небольшие деревья со стеблями вильчатого ветвления. Листорасположение очередное. Листья простые, цельные или непарноперисторассеченные. Некоторые представители семейства образуют клубни.

Цветки пасленовых обоеполые, правильные, расположены по одному или собраны в соцветия — кисть, завиток, метелка. Околоцветник двойной, со сростнолистной чашечкой и спайнолепестным венчиком. Тычинок обычно 5, они срастаются, образуя подобие трубки вокруг единственного пестика. Плод — ягода или вскрывающаяся коробочка. Среди них есть овощные (картофель, перец, помидоры), технические (табак, махорка), лекарственные (белена, дурман, белладонна) и декоративные (петуния, душистый табак) растения.

Семейство Сложноцветные, или *Астровые*, включает около 1 250—1 300 родов с 25 000 видами, распространенными по всему земному шару. Большинство представителей — однолетние или многолетние травы, однако встречаются лианы, кустарники и даже деревья.

Листья сложноцветных простые, цельные или рассеченные. Листорасположение очередное или супротивное. Цветки всегда собраны в соцветие корзинку, содержащую от одного до 1000 и более цветков. Корзинки могут быть собраны в более сложное соцветие — кисть, метелку или головку. В корзинке наблюдается довольно высокая специализация цветков, занимающих определенное положение в соцветии. Цветки сложноцветных — правильные и неправильные, обоеполые, мужские или женские, стерильные. Чашечка в основном редуцируется до пленки или хохолка из волосков, который при плодах разрастается, превращаясь в летучку (одуванчик). Венчики цветков сложноцветных разнообразны по форме и окраске, в основном спайнолепестные, образованные пятью лепестками. Различают трубчатые, язычковые, ложноязычковые и воронковидные цветки. У трубчатых цветков лепестки срастаются в трубочку, образуя правильный цветок. Такие цветки расположены в центре корзинки подсолнечника однолетнего, ромашки аптечной. По краям корзинки размещены более крупные ложноязычковые цветки, венчик которых имеет только три сросшихся лепестка (желтые у подсолнечника и белые у ромашки). Эти краевые цветки — женские. В корзинке одуванчика, осота полевого, цикория все цветки язычковые, обоеполые, неправильные. Лепестки такого цветка снизу срастаются в трубочку, а в верхней части образуют «язычок» из пяти сросшихся лепестков. Как и в трубчатых цветках, в них имеется пять тычинок и один пестик. По краю корзинки василька расположены воронковидные стерильные цветки, венчики которых так-

же образованны пятью сросшимися лепестками. Плод сложноцветных — семянка, часто снабженная хохолком или шипиками.

К сложноцветным относятся масличные и овощные культуры (подсолнечник, топинамбур, цикорий, артишок), лекарственные (девясил, календула, тысячелистник), декоративные (георгины, хризантемы, астра) и сорные (осот, василек, молочай, одуванчик, бодяк) растения.

Класс Однодольные подразделяется на 122 семейства, примерно 3100 родов и около 6300 видов. Основными семействами однодольных являются Злаки, Луковые и Лилейные.

Семейство Злаки, или *Мятликовые*, — одно из крупнейших семейств однодольных, насчитывающее до 900 родов и до 11000 видов (во флоре России около 1000 видов). Все они — травянистые растения, хотя высота некоторых может достигать нескольких десятков метров. Стебель злаков — соломина, состоящая из плотных утолщенных узлов, от которых отходят листья, и полых междоузлий. У некоторых стебель заполнен паренхимой (сахарный тростник). Листья линейные или узколанцетные, с параллельным жилкованием, основание которых образует влагалище. В месте перехода влагалища в листовую пластинку имеется язычок. У большинства злаков у основания растения образуются многочисленные боковые побеги, от которых отходят придаточные корни, формирующие мочковатую корневую систему.

Цветки злаков ветроопыляемые, мелкие, невзрачные, обоеполые, собраны в колоски, образующие более сложные соцветия — сложный колос, метелку, султан или початок. У основания каждо-

го колоска находятся две колосковые чешуи. Количество цветков в колоске колеблется от одного до 15. Цветки с верхней и нижней стороны прикрыты цветковыми чешуями, имеют 2—3 цветочные пленки, 3 тычинки и двуветвистое рыльце пестика. Тычинки и рыльце пестика свешиваются за пределы цветка. Плод злаковых — зерновка.

К злаковым относятся зерновые (пшеница, рожь, ячмень, овес, рис, кукуруза), технические (сахарный тростник) и кормовые культуры (тимофеевка, костер, мятлик), а также злостные сорняки (пырей, овсюг).

Семейство Лилейные — одно из наиболее интересных семейств однодольных, включающее, по разным оценкам, от 500 до 1 300 видов. В основном это распространенные по всему миру многолетние травянистые растения с подземными запасающими побегами — корневищами, клубнями, луковицами и т.д. Листья лилейных простые, цельные, линейные или овальные, с параллельным или дуговым жилкованием, часто сидячие или влагалищные. Листорасположение очередное или супротивное. Их крупные, ярко окрашенные цветки часто бывают одиночными или собраны в соцветия — кисти или простые зонтики. Цветки обоеполые, правильные, венчиковидные. Листочков околоцветника шесть, они могут быть свободными или сросшимися. Тычинок также шесть, пестик один. Плод лилейных — трехгнездная коробочка или ягода.

Среди них есть овощные (спаржа), лекарственные (ландыш, купена, чемерица, алоэ) и декоративные (лилия, тюльпан, гиацинт, нарцисс) растения.

Семейство Луковые включает около 32 родов и 750 видов. Наибольшее разнообразие видов наблюдается в Северном полушарии. Все представители вида — луковичные или корневищные травы. Листья обычно сидячие, листовая пластинка линейная или трубчатая. Листорасположение очередное или супротивное. Цветки могут быть белыми, но встречаются также голубые, розовые и желтые, они собраны в соцветие простой зонтик и до цветения заключены в чехол из одного-двух кроющих листьев. Соцветие расположено на верхушке безлистного побега — стрелке. Цветки обоеполые, правильные. Околоцветник простой венчиковидный или чашечковидный, образован шестью свободными или сросшимися листочками. Тычинок шесть, пестик один. Плод — коробочка.

К луковым относятся пищевые (лук репчатый, лук-батун, лук-порей, черемша), лекарственные (чеснок) и декоративные культуры (агапантус, лук Суворова) растения.

Царство животных

Общая характеристика царства

К животным в настоящее время относят около 1,5 млн видов эукариотических организмов. Общими для всех животных признаками являются гетеротрофный тип питания, способность к активному передвижению, или локомоции, а также ограниченный, или закрытый рост.

Эти особенности проявляются и в строении животной клетки, которая лишена пластид и кле-

точной оболочки, но имеет клеточный центр. Основным запасающим веществом животных клеток чаще всего является полисахарид гликоген. При делении клетки разделяются в результате образования перетяжки посередине материнской клетки.

В природе животные играют не менее важную роль, чем растения, так как они потребляют органические вещества и кислород, образовавшиеся в результате жизнедеятельности растительных организмов, и выделяют углекислый газ, необходимый растениям для осуществления процесса фотосинтеза. Кроме того, животные способны перерабатывать и минерализовать органические вещества, участвуя в процессах почвообразования. Немалую роль в процессах биологической очистки вод в природе играют животные-биофильтраторы. Образование осадочных пород также обусловлено деятельностью животных организмов, поскольку именно их минеральные скелеты и являются основой известняков, сланцев и трепела. Таким образом, животные являются такой же неотъемлемой частью биосферы, как и растения, поскольку также обеспечивают круговорот веществ в природе.

ЗАПОМНИ

Величина животных варьирует от микроскопических амеб до тридцатитрехметровых синих китов.

Животные освоили все среды обитания: наземно-воздушную, почвенную, водную и внутреннюю среду других организмов. В водной среде они встречаются и в составе планктона, и в составе бентоса.

Рис. 98. Классификация животного мира

Общая характеристика подцарства Одноклеточные, или Простейшие

К простейшим относят 40—70 тысяч видов одноклеточных и колониальных животных. Они были открыты А. ван Левенгуком в 1675 году.

Клетка простейших выполняет все функции целостного организма. В ней может иметься одно и более ядер. У ряда простейших формируется раковинка, внутренний скелет или пелликула. Движение клетки обеспечивается при помощи *ложноножек* (*псевдоподий*), жгутиков или ресничек, что служит систематическим признаком. В цитоплазме пресноводных видов имеются сократительные вакуоли и красные «глазки».

Среди простейших имеются гетеротрофные (нефотосинтезирующие), автотрофные (жгутиковые водоросли) и миксотрофные организмы (эвглена

зеленая). У гетеротрофов захват пищи осуществляется путем фагоцитоза или пиноцитоза, переваривание пищи происходит в пищеварительных вакуолях, а непереваренные ее остатки выделяются путем экзоцитоза.

Раздражимость простейших проявляется в виде *таксисов* — направленных движений клетки.

Размножаются одноклеточные как бесполым, так и половым способом. Бесполое размножение происходит путем деления клетки надвое в результате митоза (амебы, жгутиконосцы), либо путем множественного деления, или шизогонии (споровики). Для ряда жгутиконосцев характерно бесполое размножение подвижными зооспорами. При половом размножении происходит слияние гамет или одноклеточных особей целиком, а у инфузорий описан особый половой процесс — конъюгация.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Количество видов одноклеточных колеблется от 40 до 70 тыс. Размеры их тела варьируют от 2—4 мкм до 1000 мкм.

Для переживания неблагоприятных условий многие одноклеточные покрываются плотными защитными оболочками и формируют *цисту*, которая может переноситься потоками воздуха и воды на большие расстояния, обеспечивая расселение этих организмов.

Основными типами одноклеточных животных являются Саркожгутиковые, Апикомплексы и Инфузории.

Тип Саркожгутиковые

К саркожгутиковым относят около 25 тыс. видов одноклеточных и колониальных организмов, хотя бы на одной из стадий развития передвигаю-

щихся с помощью ложноножек или жгутиков. Большинство видов размножаются бесполым способом, но у некоторых есть и половой процесс, заключающийся в слиянии двух клеток. К саркожгутиковым относятся автотрофные, миксотрофные и гетеротрофные организмы. Последние могут быть хищниками, паразитами, мутуалистами или сапротрофами. Тип делят на два подтипа: Саркодовые и Жгутиконосцы.

Подтип Саркодовые объединяет животных, не имеющих постоянной формы тела, многие из которых могут образовывать раковинку или внутренний скелет. Передвигаются они при помощи псевдоподий. Размножение в основном бесполое. Большинство саркодовых — свободноживущие водные и почвенные виды, но встречаются и паразиты животных и человека. К ним относятся свободноживущие амеба протей, раковинные амебы, фораминиферы, радиолярии (лучевики) и солнечники, а также паразитическая амеба дизентерийная.

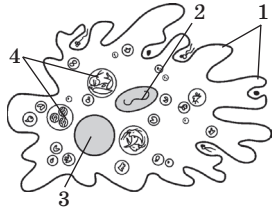


Рис. 99. Амеба протей:
1 — ложноножки;
2 — ядро;
3 — сократительная вакуоль;
4 — пищеварительные вакуоли

Амеба протей — свободноживущее одноклеточное животное диаметром до 0,5 мм, обитающее в придонной части пресноводных водоемов. Она не имеет постоянной формы тела, так как все время образует выросты тела — ложноножки. Сначала на поверхности тела образуется выпячивание, а затем туда перетекает вся цитоплазма. В цитоплазме у аме-

бы имеются ядро, пищеварительные и сократительная вакуоли (рис. 99).

Питается амеба одноклеточными животными, водорослями, бактериями и органическими остатками, фагоцитируя их. Кислород для дыхания амеба поглощает всей поверхностью тела. Ненужные организму вещества и непереваренные остатки пищи выводятся через цитоплазматическую мембрану. Избыток воды удаляется с помощью сократительных вакуолей.

Амеба уползает от кристаллика соли (отрицательный хемотаксис) и от яркого света (отрицательный фототаксис).

Размножается амеба протей бесполым способом — митотическим делением клетки. При благоприятных условиях это происходит примерно раз в сутки, а при неблагоприятных амеба образует цисты.

Амеба дизентерийная паразитирует в толстом кишечнике человека, вызывая амебную дизентерию, симптомами которой являются повышенная температура, боли в области живота и кровавый понос. Заражение происходит цистами при потреблении загрязненной пищи или воды.

Раковинные амебы (арцелла) имеют наружный скелет — раковинку. Их ложноножки выходят из раковинки через устья. Они обитают в пресных водоемах, сфагновых болотах и в почве.

Морские саркодовые — *фораминиферы* — имеют известковые раковинки, через устье и поры которых выступают ложноножки. Раковинки фораминифер образовали такие осадочные породы, как мел и известняки. В настоящее время фораминиферы используются как руководящие формы

для определения возраста геологических пластов, а также для поисков нефтеносных пластов.

Радиолярии — морские свободноживущие одноклеточные, имеющие внутренний минеральный скелет. Скелеты радиолярий образовали некоторые осадочные породы, например, «инфузорную землю», или трепел.

Подтип Жгутиконосцы объединяет животных со жгутиками и постоянной формой тела, которая поддерживается за счет наличия пелликулы или наличия панциря. Движение жгутиконосцев осуществляется с помощью жгутиков. Размножаются они в основном бесполым способом — делением надвое. Питание жгутиконосцев может быть гетеротрофным, автотрофным или миксотрофным. По этому признаку их делят на два класса: Растительные жгутиконосцы и Животные жгутиконосцы.

К классу *Растительные жгутиконосцы* относят автотрофных и миксотрофных простейших, имеющих хлоропласты, хотя среди них встречаются и гетеротрофные виды. Представителями класса являются эвглена зеленая, хламидомонада и вольвокс.

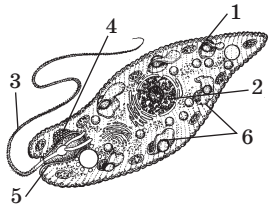


Рис. 100. Эвглена зеленая:
1 — пеликула;
2 — ядро;
3 — жгутик;
4 — «глазок»;
5 — клеточный рот;
6 — хлоропласты

Эвглены — пресноводные планктонные организмы, среди которых встречаются автотрофы, миксотрофы и гетеротрофы. Эвглена зеленая (рис. 100) — миксотроф, поскольку, несмотря на наличие хлоропластов и «глазка», может длительное время находиться в темноте, осуществляя гетеротрофное

питание и утрачивая при этом хлоропласты. Размножается она делением надвое. Эвглене присущ также положительный таксис — направленно движение к источнику света благодаря наличию «глазка» в цитоплазме.

Класс *Животные жгутиконосцы* объединяет гетеротрофных жгутиконосцев, многие из которых являются паразитами человека и животных, как трипаносомы, лейшмании, лямблии и др.

Трипаносомы — опасные паразиты человека и животных, вызывающие африканскую сонную болезнь, или трипаносомоз. Основными переносчиками сонной болезни являются мухи цеце.

Лейшмании вызывают образование язв на коже и поражение внутренних органов человека. Лейшманиозы распространены в Средней Азии, Закавказье, Индии, Индокитае и Южной Америке. Их переносчиками являются москиты.

Лямблии паразитируют в двенадцатиперстной кишке человека, вызывая лямблиоз. Это заболевание чаще встречается у детей, так как заражение происходит цистами при употреблении загрязненной пищи или воды. У лямблий имеются два ядра и четыре пары жгутиков.

Тип Апикомплексы

Включает около 4800 видов паразитических простейших, у которых отсутствуют органоиды движения. У большинства наблюдается половой процесс, а бесполое размножение осуществляется множественным делением и образованием спороподобных форм. У всех апикомплексов имеется специальное образование на переднем (апикальном) конце тела — апикальный комплекс, спо-

собствующий проникновению в клетку хозяина. К споровикам относят малярийного плазмодия и токсоплазму.

Малярийный плазмодий — возбудитель опасной болезни человека малярии, распространенной в тропическом и умеренном климате. При укусе малярийного комара спороподобная форма плазмодия проникает в тело человека, размножается бесполым способом сначала в клетках печени, а затем в эритроцитах крови, вызывая резкие скачки температуры, сопровождающиеся лихорадкой. В крови человека могут образовываться предшественники половых клеток, однако окончательное формирование гамет и их слияние возможны только в кишечнике комара.

Тип Инфузории

К инфузориям относят около 7 500 видов наиболее высокоорганизованных простейших, движение которых осуществляется с помощью ресничек (рис. 101). Размеры тела инфузорий варьируют от 10 мкм до 3 мм. Как и у жгутиковых, их клетки имеют пелликулу, обеспечивающую постоянство формы тела. Пища загоняется при помощи биения ресничек в клеточный рот, он связан с клеточной глоткой, от которой отшнуровываются затем пищеварительные вакуоли. Непереваренные остатки

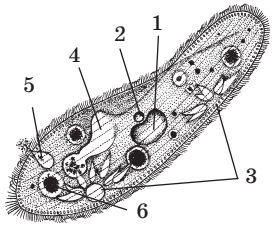


Рис. 101. Инфузория-туфелька:
1 — вегетативное ядро;
2 — генеративное ядро;
3 — сократительные вакуоли;
4 — клеточная глотка;
5 — порошица;
6 — пищеварительные вакуоли

пищи выводятся из клетки через порошицу. Пресноводные виды обычно имеют сократительные вакуоли.

Для инфузорий характерно наличие двух ядер: вегетативного, или макронуклеуса, и генеративного, или микронуклеуса.

Размножаются инфузории в основном бесполым способом — делением надвое. Для инфузорий характерен и половой процесс — конъюгация, при которой две особи сближаются, между ними образуется цитоплазматический конъюгационный мостик, вегетативное ядро исчезает, генеративное делится мейотически, причем три из четырех образовавшихся ядер исчезают, а оставшееся делится еще раз. Одна часть каждого ядра переходит в другую особь и сливается с ее оставшейся частью ядра, при этом возникает новая комбинация генетической информации, способствующая более успешному приспособлению организма к условиям окружающей среды. После конъюгации инфузории расходятся и размножаются бесполым способом.

Большинство видов инфузорий — морские и пресноводные свободноживущие организмы, но среди них встречаются мутуалисты и паразиты человека и животных. Так, в желудке жвачных животных обитают инфузории, расщепляющие целлюлозу грубых растительных кормов. Характерными представителями инфузорий являются инфузория-туфелька, на примере которой и были описаны эти животные, а также балантидий.

Роль простейших в природе и в жизни человека

Простейшие, обитающие в океанах, пресных водах, почве и высших организмах, занимают

важное место в круговороте веществ в биосфере. Планктонные одноклеточные являются важным звеном в цепях питания водоемов, вместе с бактериями принимают активное участие в процессах их самоочистки. Почвенные саркожгутиковые и инфузории играют значительную роль в процессах почвообразования, а из скелетов многих саркожгутиковых образовались некоторые осадочные породы. Симбиотические простейшие способствуют улучшению переваривания пищи у многих животных. В последнее время простейших стали использовать в хозяйственных целях для улучшения процессов очистки вод, почвообразования, биоиндикации, вскармливания мальков ценных пород рыб. Однако среди одноклеточных имеются и опасные паразиты, вызывающие заболевания, которые могут привести даже к смерти человека.

Общая характеристика подцарства Многоклеточные

Многоклеточные животные имеют более высокий уровень организации, чем одноклеточные, так как их тело состоит из множества клеток, выполняющих различные функции и при этом утрачивающих способность к самостоятельному существованию. В жизненном цикле многоклеточных происходит чередование многоклеточных и одноклеточных стадий, поскольку их развитие при половом размножении происходит из единственной клетки — зиготы.

У большинства многоклеточных организмов клетки формируют ткани и органы, а органы

зачастую объединены в системы органов, обеспечивающих протекание важнейших процессов жизнедеятельности. У животных выделяют опорно-двигательную, пищеварительную, дыхательную, кровеносную, выделительную, нервную, эндокринную и половую системы органов.

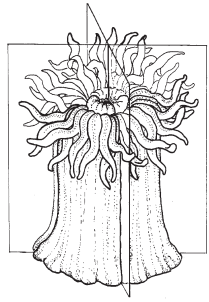


Рис. 102. Радиальная симметрия

Многие многоклеточные имеют симметричное строение тела. Различают два типа симметрии тела: *радиальную*, или *лучевую* (рис. 102), и *билатеральную*, или *двустороннюю* (рис. 103). Лучевая симметрия считается более примитивной, чем двусторонняя, она характерна для губок и кишечнополостных.

По современным представлениям, к многоклеточным относят до 16 типов животных, наиболее крупными из которых являются типы Кишечнополостные, Плоские черви, Круглые черви, Кольчатые черви, Моллюски, Членистоногие и Хордовые.

Тип Кишечнополостные

К кишечнополостным относят свыше 10 тыс. видов многоклеточных двухслойных животных, обитающих в пресных и соленых водоемах. Признаками типа являются радиальная симметрия тела, наличие кишечной полости и специфических органов защиты и нападения —

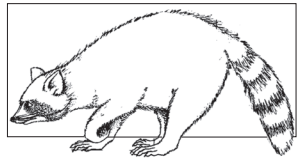


Рис. 103. Билатеральная симметрия

стрекательных клеток. Среди них встречаются как одиночные, так и колониальные организмы.

Характерный представитель типа — *пресноводная гидра*. Это небольшой (около 1 см) одиночный полип, имеющий вид стебелька, прикрепленного подошвой к субстрату. На верхнем конце тела расположен рот, окруженный 5—12 щупальцами (рис. 104).

Наружный слой тела гидры — *эктодерма* — образован эпителиально-мускульными, стрекательными и нервными клетками, а внутренний — *энтодерма* — железистыми и пищеварительными, снабженными жгутиками. В обоих слоях имеются промежуточные клетки, из которых может образовываться любой тип клеток тела гидры. Эпителиально-мускульные клетки выполняют покровную и сократительную функции, нервные — обеспечивают ответ организма на внешнее раздражение, стрекательные принимают участие в захвате добычи, а железистые и пищеварительные обеспечивают ее переваривание. Между эктодермой и энтодермой залегает хорошо развитое межклеточное вещество — *мезоглея*. Стенки тела образуют кишечную, или гастральную, полость, в которой происходит пищеварение.

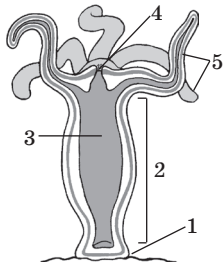


Рис. 104. Схема строения гидры:
1 — подошва;
2 — стебелек (тело);
3 — кишечная полость;
4 — рот;
5 — щупальца

Захват пищи происходит при помощи стрекательных клеток, расположенных в основном на щупальцах. Они впиваются в тело жертвы и впрыскивают в него нервно-паралитический яд. Па-

ализованная добыча помещается в кишечную полость, где происходит вначале полостное пищеварение под действием ферментов железистых клеток, а затем и внутриклеточное в пищеварительных клетках, которые измельчают полупереваренную пищу при помощи жгутиков и фагоцитируют ее.

Нервные клетки кишечнополостных имеют звездчатую форму и с помощью отростков контактируют с соседними нервными клетками, образуя диффузную нервную систему, похожую на сеть. Для некоторых групп характерны скопления нервных клеток — нервные узлы, или ганглии. Благодаря наличию нервной системы в ответ на раздражение, наносимое, например, иглой, тело сокращается, то есть кишечнополостным свойственны рефлексы. *Рефлексом* называется реакция организма, осуществляемая нервной системой в ответ на действие внешних или внутренних раздражителей. У некоторых кишечнополостных имеются примитивные органы чувств — светочувствительные глазки, органы равновесия и органы химического чувства (обоняния).

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Гидра обитает в стоячих водоемах и реках с медленным течением, прикрепляясь к водным растениям или грунту. Длина тела гидры составляет 1—20 мм.

Размножение гидры может осуществляться вегетативно (почкованием) (рис. 105) и половым способом. Кишечнополостные являются гермафродитами, поскольку образуют одновременно и мужские, и жен-

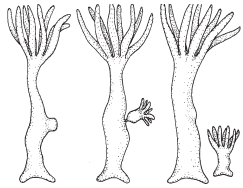


Рис. 105. Почкование гидры

ские половые клетки. При половом размножении половые клетки образуются под эктодермой, сперматозоиды выходят в воду и через разрыв ткани проникают к неподвижной яйцеклетке. Зигота начинает дробиться и покрывается оболочкой, в таком состоянии она способна переносить неблагоприятные условия (промерзание, пересыхание водоема). Из оплодотворенного яйца выходит молодая гидра. Для многих кишечнополостных характерно правильное чередование полового и бесполого поколений в жизненном цикле, при этом меняется и жизненная форма (полип и медуза). Полипы в основном неподвижны и передвигаются при помощи мускулистой ноги, шагая или кувыркаясь, а медузы — реактивным движением.

Для кишечнополостных характерна способность к регенерации, которая обеспечивает возможность восстановления целостного тела из небольшого фрагмента.

Тип Кишечнополостные делят на три класса: Гидроидные, Сцифоидные медузы и Коралловые полипы.

Класс Гидроидные объединяет морских и пресноводных, нередко образующих колонии кишечнополостных, в жизненном цикле у них преобладает стадия полипа. Их строение наиболее примитивно по сравнению с другими кишечнополостными. Представители: пресноводная гидра, португальский кораблик и обелия. Многим из них в жизненном цикле свойственна смена поколений: полового — у медуз и бесполого — у полипов.

Класс Сцифоидные медузы объединяет кишечнополостных, большая часть жизненного цикла которых проходит в форме медузы. Для них

характерно реактивное движение за счет сокращения стенок зонтика. Кишечная полость сцифоидных разделена на камеры, нервная система имеет ганглии, а органы чувств образуют особые комплексы. Представители: аурелия, цианея, корнерот.

Класс Коралловые полипы включает морских колониальных, реже — одиночных кишечнополостных, в жизненном цикле которых имеется только стадия полипа. В результате почкования они могут образовывать колонии, что в сочетании с наличием наружного известкового скелета приводит к формированию рифов. Представители: актинии, благородные кораллы, морское перо.

Роль кишечнополостных в природе и в жизни человека. Кишечнополостные являются важным звеном в экологических цепях питания водоемов, участвуют в процессах биологической очистки морской воды, круговороте кальция в биосфере (коралловые рифы), образовании осадочных пород, их употребляют в пищу, используют для изготовления украшений и предметов искусства, получения биологически активных веществ.

Тип Плоские черви

К плоским червям относят около 15 тыс. видов трехслойных многоклеточных животных с двухсторонней симметрией тела. Представители типа могут быть как свободноживущими и обитать в пресных или морских водах, так и вести паразитический образ жизни.

Тело плоских червей покрыто однослойным эпителием, под которым располагаются три слоя мышц. Кожа и подкожные слои мускулатуры

образуют кожно-мускульный мешок. Полость тела у них отсутствует, промежутки между органами заполнены рыхлой тканью — *паренхимой*.

В *пищеварительной системе* плоских червей имеются рот, глотка и ветвистый кишечник, однако без заднего отдела и анального отверстия, т. е. он слепо замкнут. В связи с этим непереваренные остатки пищи у них выводятся через ротовое отверстие.

Кровеносная и дыхательная системы у плоских червей отсутствуют. Дыхание аэробное или анаэробное, кислород поступает через поверхность тела.

Выделительная система представлена сетью разветвленных канальцев — протонефридиев, которые выводят из организма избыток воды и продукты обмена веществ. Выделительные канальцы собираются в один-два выводящих канала, идущих вдоль всего тела и открывающихся на заднем его конце.

Нервная система состоит из парных надглоточных нервных узлов и продольных стволов, соединенных тяжами. Органы чувств представлены светочувствительными глазками, органами равновесия, осязательными клетками и органами химического чувства.

Размножение. Подавляющее большинство плоских червей — гермафродиты, однако оплодотворение у них, как правило, перекрестное.

Наибольшее значение имеют три класса плоских червей: Ресничные черви, Сосальщики и Ленточные черви.

Класс Ресничные черви включает около 3 500 видов в основном свободноживущих червей, кожный

эпителий которых снабжен ресничками. Чаще всего встречаются в пресных и соленых водах, однако имеются и сухопутные формы, в том числе почвенные. В отличие от паразитических червей, у них отсутствуют специальные органы прикрепления, жизненный цикл прост, и достаточно хорошо развиты органы чувств.

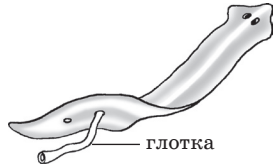


Рис. 106. Планария молочно-белая

Тело ресничных червей уплощенное, овальной или удлиненной формы (рис. 106). Его головной и задний концы четко различимы. На головном конце могут размещаться органы чувств. Передвигаются эти черви при помощи ресничек эпителия и за счет сокращения мышц.

У большинства ресничных червей имеется *пищеварительная система*, которая состоит из рта, глотки и ветвей кишечника. Рот у них обычно расположен на брюшной стороне тела, а глотка может выворачиваться для захватывания пищи. Кишечник слепо замкнут (рис. 107).

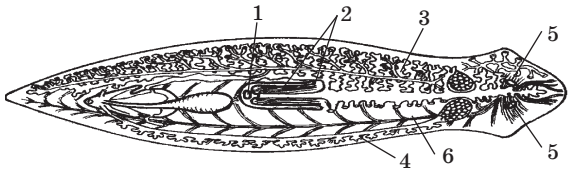


Рис. 107. Внутреннее строение планарии:

1 — рот;
2 — глотка;
3 — ветка кишечника;
4 — выделительная система;
5 — надглоточные нервные узлы;
6 — нервный столб

Нервная система примитивна, образована парным мозговым нервным узлом и отходящими от него нервными тяжами, иногда она по внешнему виду напоминает лестницу. Органы чувств — светочувствительные глазки, осязательные и обонятельные реснички.

Органы выделения — протонефридии.

Размножение. Ресничные черви — гермафродиты. Развитие может быть прямым или непрямым.

Представители: планария молочно-белая, планария черная.

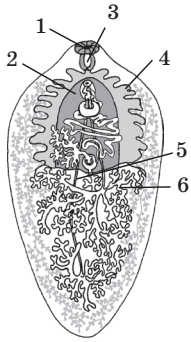


Рис. 108. Внутреннее строение печеночного сосальщика:
1 — ротовая присоска;
2 — брюшная присоска;
3 — глотка;
4 — ветка кишечника;
5 — нервная система;
6 — половая система

Класс Сосальщики включает около 4 000 видов внутренних паразитов (эндопаразитов) человека и животных. Их тело имеет листовидную или веретеновидную форму и снабжено двумя присосками — ротовой и брюшной (рис. 108). Размеры тела сосальщиков варьируют в пределах от нескольких миллиметров до 1,5 м.

Эпителий, в отличие от ресничных червей, лишен ресничек, и вместе с подкожными слоями мышц образует характерный для плоских червей кожно-мускульный мешок.

Пищеварительная система сосальщиков слепо замкнутая и образована ртом, глоткой и двуветвистым кишечником.

Выделительная система представлена протонефридиями.

Для сосальщиков характерно *бесполое* и *половое размножение*. В большинстве своем они гермафродиты, однако имеются и раздельнополые виды. Многие сосальщики способны к партеногенетическому развитию. Жизненный цикл печеночного сосальщика чрезвычайно сложен, поскольку в нем наблюдается чередование полового и бесполого размножения. Кроме того, в жизненном цикле происходит смена хозяев.

Наиболее часто у человека паразитируют печеночный сосальщик, кошачья двуустка и кровяные сосальщики.

Печеночный сосальщик — опасный паразит человека и крупного рогатого скота, поражающий протоки печени (рис. 109).

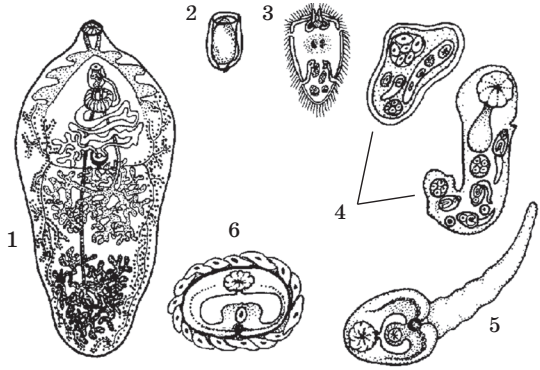


Рис. 109. Жизненный цикл печеночного сосальщика:

1 — взрослый сосальщик;
2 — яйцо;
3 — личинка с ресничками;
4 — стадии развития в моллюске;
5 — хвостатая личинка у воды;
6 — личинка в защитной оболочке на траве

Заражение происходит при употреблении в пищу личинками загрязненной растительности и воды. В результате полового размножения сосальщики образуют многочисленные яйца, которые выходят с фекалиями и должны попасть в воду, где из них выходят личинки, проникающие в тело моллюска — малого прудовика. В них они претерпевают дальнейшее развитие, после чего покидают тело моллюска и выползают на прибрежную траву, покрываются защитной оболочкой, и дожидаются момента, когда они будут съедены крупным рогатым скотом, после чего проникают в его печень. Таким образом, окончательным хозяином печеночного сосальщика является человек или крупный рогатый скот, а промежуточным — малый прудовик.

Класс Ленточные черви объединяет около 3 000 видов паразитических плоских червей, во взрослом состоянии обитающих в кишечнике позвоночных животных (рис. 110). Длина тела ленточных червей колеблется от 1 мм до 12 м. Их тело делится на головку, шейку и многочисленные членики. На головке имеются специализированные органы прикрепления — присоски, крючочки или присасывательные бороздки. Шейка — это своеобразная зона роста, в которой образуются новые членики взамен отделившихся.

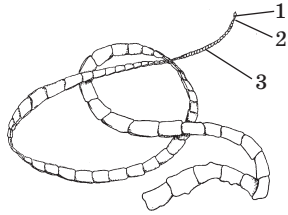


Рис. 110. Ленточный червь:
1 — головка;
2 — шейка;
3 — тело из члеников

Пищеварительная, дыхательная и кровеносная системы у ленточных червей отсутствуют, всасывание пищи происходит всей

поверхностью тела. Большинство взрослых особей — анаэробы.

Выделительная система представлена протонефридиями.

Нервная система и *органы чувств* развиты слабо.

Половая система гермафродитная, повторяется в каждом членике. В жизненном цикле ленточных червей происходит смена хозяев и присутствует пузырчатая стадия — *финна*. Промежуточными хозяевами ленточных червей являются как позвоночные, так и беспозвоночные, а окончательным — обязательно позвоночные.

Заражение человека и других млекопитающих происходит при употреблении недостаточно термически обработанных мяса и рыбы.

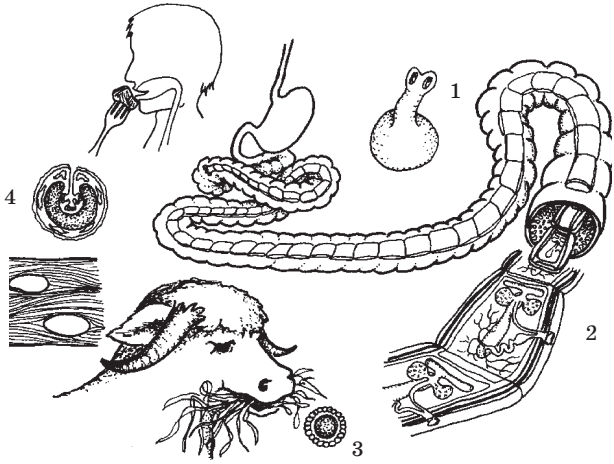


Рис. 111. Жизненный цикл ленточного червя:
1 — выход червя из финны в кишечнике;
2 — зрелые членики;
3 — яйцо;
4 — финна в мышцах животных

К ленточным червям относят бычьего и свиного цепней, широкого лентеца и эхинококка.

Бычий, или *невооруженный*, *цепень*, — паразит человека и крупного рогатого скота. Заражение им происходит при употреблении недостаточно термически обработанного мяса, в котором содержатся финны размером с горошину. В кишечнике из них выворачивается головка бычьего цепня, снабженная четырьмя присосками, с помощью которых он прикрепляется к стенкам тонкого кишечника и начинает развиваться. Максимальная длина тела паразита достигает 8—12 м. Зрелые членики цепня вместе с фекалиями попадают в почву, а затем должны быть съедены крупным рогатым скотом, в кишечнике которого из яиц выходят личинки, с током крови они заносятся в мышцы, где образуют финны.

Свиной, или *вооруженный*, *цепень*, — паразит человека и свиней, жизненный цикл которого похож на описанный выше. Отличием свиного цепня от бычьего является наличие на головке еще и венчика крючьев, с помощью которых он закрепляется на стенках кишечника; длина тела свиного цепня достигает 2—3 м. Опасность заражения данным паразитом заключается в том, что возможно самозаражение им, в результате которого финны образуются в мозге, глазах и других частях тела и еще больше ухудшают состояние больного.

Эхинококк представляет собой белого червя длиной около 5 мм, на головке которого имеются присоски и крючочки, а тело образовано 3—4 члениками. Его окончательным хозяином являются собаки и волки, а промежуточными — человек и многие травоядные животные. В теле промежуточ-

ного хозяина развивается эхинококковый пузырь крупных размеров, который содержит многочисленных личинок червя.

Роль плоских червей в природе и в жизни человека. Хотя некоторые плоские черви живут в морских и пресных водоемах, большинство из них является паразитами человека и животных.

Тип Круглые черви, или Первичнополостные

К круглым червям относят около 100 тыс. видов первичнополостных беспозвоночных животных с округлой в поперечном сечении формой тела. Значительная часть круглых червей является паразитами животных и растений, однако встречаются среди них и свободноживущие виды.

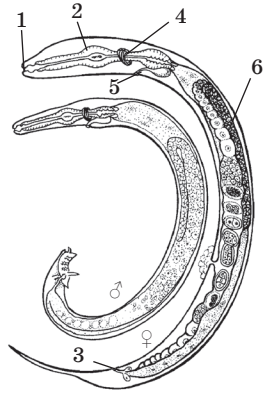


Рис. 112. Внутреннее строение круглых червей:
1 — рот;
2 — кишечник;
3 — анальное отверстие;
4 — окологлоточное нервное кольцо;
5 — выделительное отверстие;
6 — половая система

Тело круглых червей имеет в основном веретеновидную форму с заостренными передним и задним концами (рис. 112). Оно покрыто плотной *кутикулой*, под которой располагается *гиподерма*, выделяющая эту кутикулу. Кутикула препятствует проникновению веществ внутрь тела, а также защищает круглых червей от действия агрессивных жидкостей, например кишечного сока. Вдоль всего тела тянуться четыре ленты продольных мышц, благодаря

которым круглые черви могут передвигаться извиваясь. Полость тела у круглых червей первичная, она заполнена жидкостью.

Пищеварительная система круглых червей делится на глотку и кишечник, заканчивающийся анальным отверстием. Вокруг рта имеются губы, служащие для присасывания.

У круглых червей отсутствуют дыхательная и кровеносная системы. Так как многие из них живут внутри тела хозяина, они способны осуществлять анаэробное дыхание. Однако, находясь вне тела хозяина на определенной стадии развития, им необходим доступ кислорода, то есть они переходят к аэробному дыханию.

Выделительная система круглых червей представлена выделительными трубочками — протонефридиями, которые собираются в выделительные каналы, идущие по бокам тела и открывающиеся в передней его части выделительным отверстием.

Нервная система первичнополостных состоит из окологлоточного нервного кольца и отходящих от него спинного и брюшного нервных стволов. Органы чувств развиты у них слабо, и то в основном у свободноживущих особей.

Размножение. Круглые черви — раздельнополые животные с хорошо заметными различиями между самками и самцами (это явление носит название *полового диморфизма*). У самок имеются парные яичники, яйцеводы, матки и непарное влагалище, которое открывается наружу половым отверстием. В отличие от них, у самцов единственный семенник соединяется с семяизвергательным каналом, который открывается в заднюю кишку. Оплодотворение у круглых червей внутреннее,

развитие прямое. Личинки несколько раз линяют, сбрасывая старую кутикулу и увеличиваясь в размерах до тех пор, пока не достигнут соотвествующих размеров. Размножаются круглые черви в основном половым способом. Способность к регенерации у них не выражена.

Классификация круглых червей. Несмотря на значительное видовое разнообразие, круглых червей делят на 6—7 классов, самым значительным из которых как по числу видов, так и по наносимому ущербу является класс Нематоды, или Собственно круглые черви. Для этого класса характерны все особенности типа. К нему относится ряд паразитов человека: аскарида человеческая, острица, трихинелла, власоглав и др.

Аскарида человеческая — паразит тонкого кишечника человека. Длина тела у самок может достигать 40 см, а у самцов — 25 см. У самок тело вытянутое, веретеновидной формы, а у самцов его задний конец загнут. Аскариды питаются переваренной пищей и выделяют токсические вещества. Одна самка способна дать до 200 тыс. яиц в год. Яйца аскарид выводятся с фекалиями и для дальнейшего развития им необходим доступ кислорода. Прямо в оболочке яйца развивается личинка, которая может сохраняться в почве до 7 лет, пока не будет занесена в рот человека с непромытыми овощами и фруктами или пищей, загрязненной мухами и тараканами. В кишечнике личинка покидает оболочки яйца и, пробуравливаясь через стенки кишечника, с током крови заносится в легкие, где происходит ее дальнейшее развитие. По достижении определенного возраста личинки начинают подниматься из легких по дыхательным

путям человека вверх, раздражают их слизистую, и при откашливании проглатываются. В тонком кишечнике они заканчивают развитие и переходят к половому размножению.

Острица детская — круглый червь — кишечный паразит человека. Тело остриц имеет белый цвет, а на переднем конце у них заметно небольшое вздутие (рис. 113). Как и другим круглым червям, острицам свойственен половой диморфизм: тело самки имеет веретеновидную форму со слегка вытянутым задним концом, его длина достигает до 1,3 см, тогда как у самца задний конец тела спирально закручен, а тело короче — до 0,5 см. Острицы обитают в нижних отделах тонкого кишечника и верхней части толстого, однако оплодотворенные самки ночью спускаются к анальному отверстию и откладывают вокруг него яйца, вызывая зуд. В результате расчесывания яйца остриц оказываются под ногтями, а затем не только заносятся в рот грязными руками, приводя к самозаражению, но и остаются на всех предметах, к которым прикасался больной. Так как несоблюдение элементарных санитарных правил особенно характерно для детей, то они чаще заражаются этим паразитом, чем взрослые. Источником заражения в основном являются домашние животные: кошки, собаки и др.

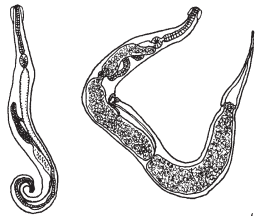


Рис. 113. Внутреннее строение острицы

Роль круглых червей в природе и в жизни человека. Значительное число видов круглых червей

обитает на дне водоемов и в почве. Они принимают участие в процессах биологической очистки вод и почвообразовании, поскольку перерабатывают органические остатки и могут питаться почвенными бактериями и грибами. Среди круглых червей имеется большая группа паразитов человека, животных и растений.

Тип Кольчатые черви

Тип Кольчатые черви объединяет около 12 тыс. видов сегментированных вторичнополостных животных. К нему относятся как свободноживущие пресноводные и морские организмы, так и почвенные, и древесные длиной до 3 м.

У кольчатых червей выражены головной и задний концы тела, между которыми находится сегментированное туловище (рис. 114). На головном конце находятся органы чувств: глазки, органы осязания и химического чувства. Последующие сегменты тела могут иметь парные выросты тела — *параподии* со щетинками, что является основой классификации кольчатых червей.

Тело кольчецов покрыто тонкой кутикулой, под которой расположены однослойный эпителий, а также кольцевые и продольные мышцы, образующие кожно-мускульный мешок. Полость тела у кольчецов — вторичная (рис. 115).

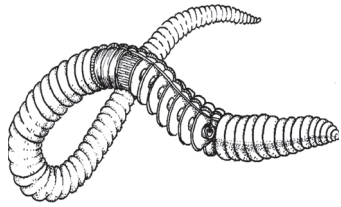


Рис. 114. Дождевой червь

В *пищеварительной системе* кольчецов выделяют рот, глотку, пищевод, желудок, кишеч-

ник и анальное отверстие. Рот некоторых хищных червей может быть снабжен хитиновыми челюстями, у других могут иметься слюнные или известковые железы, нейтрализующие кислотность почвы (рис. 116).

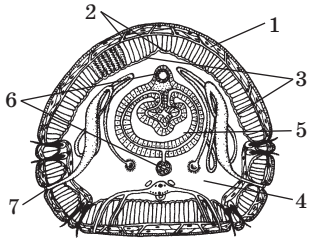


Рис. 115. Внутреннее строение кольчатого червя (поперечный срез):
1 — эпителий;
2 — мышцы;
3 — эпителий;
4 — вторичная полость тела;
5 — кишка;
6 — кровеносные сосуды;
7 — метанефридии

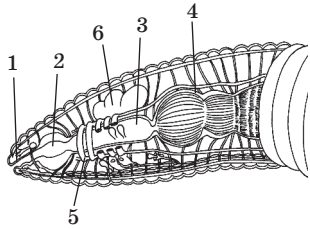


Рис. 116. Внутреннее строение кольчатого червя (продольный разрез)
1 — рот;
2 — глотка;
3 — пищевод;
4 — желудок;
5 — кровеносные сосуды;
6 — половые железы

Дыхательная система у большинства представителей типа отсутствует, лишь у некоторых видов морских многощетинковых червей имеются жабры. Кислород поступает через всю поверхность тела.

У кольчецов впервые появляется *кровеносная система*, которая образована крупными спинным и брюшным сосудами, соединенными кольцевыми перемычками. По брюшному сосуду кровь течет вперед, к головному отделу, по кольцевым сосудам в передних сегментах она переливается в спинной сосуд, несущий кровь назад. В задних сегментах тела кровь перетекает назад. От крупных сосудов ответвляются более мелкие, несущие кровь к органам. Кровь кольчецов может иметь красный или иной цвет, она выполняет ды-

хательную функцию, перенося кислород и удаляя углекислый газ.

Выделение у них осуществляется при помощи расположенных в каждом сегменте парных *метанефридиев*, представляющих собой канальцы, с одной стороны открывающиеся в полость тела воронковидными расширениями с ресничками, а другим концом — наружу в следующем сегменте. Метанефридии не только выводят продукты обмена веществ, но и поддерживают водно-солевой баланс в организме.

Нервная система кольчатых червей состоит из парного надглоточного нервного ганглия и брюшной нервной цепочки, образованной парными ганглиями в каждом сегменте тела. Органы чувств — глаза, органы обоняния и равновесия.

Размножение кольчатых червей происходит бесполым или половым способом. При бесполом размножении тело червя делится на несколько частей, которые затем дорастают до исходных размеров. Кольчатые черви могут быть раздельнополыми или гермафродитами, однако оплодотворение у них перекрестное. Развитие у большинства непрямое.

Классификация кольчатых червей. К данному типу относят классы Многощетинковые, Малощетинковые и Пиявки.

Класс Малощетинковые черви объединяет пресноводных и почвенных кольчецов, изредка встречающихся в морях. Головной и хвостовой отделы у них гораздо меньше, чем у многощетинковых. На сегментах тела параподии отсутствуют, по бокам тела расположены лишь пучки коротких щетинок. Органы чувств обычно развиты слабо. Гермафродиты. Оплодотворение наружное. Развитие прямое.

Участвуют в процессах почвообразования и являются звеном в пищевых цепях водоемов.

Представители: дождевой червь, калифорнийский червь, трубочник.

Класс Многощетинковые черви в основном представлен морскими свободноживущими животными, обитающими на дне или в толще воды. В отличие от других кольчецов, имеют хорошо обособленный головной отдел с относительно высокоразвитыми органами чувств и параподии с многочисленными щетинками. Среди них есть как плавающие, так и зарывающиеся виды. Дыхание у многощетинковых в основном кожное, но некоторые имеют жабры. Большинство многощетинковых раздельнополые, оплодотворение у них наружное. Развитие непрямое.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Класс Многощетинковые черви в настоящее время насчитывает более 10 тыс. видов. Очень немногие из них обитают в пресных водоемах или в лесной подстилке.

Представители: тихоокеанский палоло, нереида, пескожил, серпула.

Класс Пиявки состоит в основном из кровососущих, реже — хищных кольчатых червей, имеющих уплощенное тело с двумя присосками (околоротовой и задней). Параподии и щетинки на сегментах тела, как правило, отсутствуют. Слюна пиявок содержит вещество, препятствующее свертыванию крови. Нервная и мышечная системы хорошо развиты. Гермафродиты. Оплодотворение внутреннее.

Могут наносить значительный вред животноводству, быть промежуточными хозяевами паразитов человека и животных, используются в медицине.

Представители: пиявка медицинская, пиявка лошадиная.

Роль кольчатых червей в природе и в жизни человека. Кольчецы играют важную роль в почвенных и водных биоценозах, поскольку среди них есть как хищные и паразитические формы, так и участвующие в процессах почвообразования. Они являются неотъемлемым звеном в цепях питания, их употребляют в пищу человек и многие животные. Некоторые кольчатые черви применяются в медицине (пиявки).

Тип Моллюски, или Мягкотелые

Это группа несегментированных вторичнополостных животных, объединяющая около 113 тыс. видов, большинство из которых имеет кожную складку, прикрывающую внутренние органы — *мантию*. Мантия выделяет известковую раковину, выполняющую защитную и скелетную функции. Большинство моллюсков обитает в пресных и соленых водоемах, хотя имеется и достаточно большое число сухопутных видов.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

На сегодняшний день известно 2 863 вида моллюсков, обитающих на территории России. В основном это свободноживущие организмы.

Тело моллюска делится на три отдела: голову, туловище и ногу (некоторые из этих отделов могут редуцироваться). Мантия вместе со стенками туловища образует мантийную полость, в которой располагаются жабры и куда открываются ротовое, анальное, выделительное отверстия и половые протоки (рис. 117).

В *пищеварительной системе* моллюсков выделяют рот, глотку, пищевод, желудок, кишечник и анальное отверстие, которые дополняются слюнными железами и печенью. Слюнные железы некоторых хищных моллюсков могут вырабатывать яд. Ряд моллюсков имеет терку, или *радулу*, снабженную хитиновыми зубцами для перетирания пищи, или хитиновые челюсти. Среди представителей типа встречаются хищники, растительноядные и фильтраторы.

Дыхание у водных моллюсков осуществляется с помощью жабр, а у сухопутных форм — с помощью легких.

Кровеносная система моллюсков незамкнутая. Сердце у них трехкамерное, с двумя предсердиями и одним желудочком. Кровь может содержать дыхательные пигменты разного цвета.

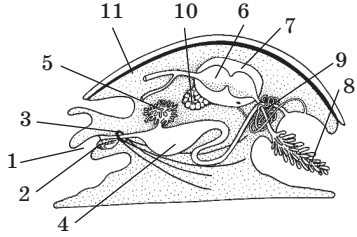


Рис. 117. Внутреннее строение брюхоногого моллюска:

1 — рот;
2 — терка;
3 — нервная система;
4 — желудок;
5 — печень;
6 — сердце;
7 — остаток целома;
8 — жабра;
9 — почка;
10 — половые железы;
11 — раковина

Выделение у представителей типа осуществляется с помощью почек, которые одним концом открываются в полость околосердечной сумки, а другим — в мантийную полость.

Нервная система у моллюсков разбросанно-узлового типа: в отделах тела находится несколько пар ганглиев, соединенных между собой нервными ство-

лами. От них отходят нервные тяжи к различным органам тела. Органы чувств — глаза, органы равновесия, химического чувства и осязания.

Большинство моллюсков раздельнополы, но встречаются и гермафродитные формы. Оплодотворение у них перекрестное, внутреннее или наружное. Развитие у моллюсков непрямое, так как из яйца выходит личинка, не похожая на взрослую особь.

Классификация моллюсков. Наибольшее значение в природе и жизни человека имеют представители трех классов: Брюхоногие, Двустворчатые и Головоногие.

Класс Брюхоногие включает около 90 тыс. видов водных и наземных моллюсков, раковина которых закручена в виде спирали или конуса. Тело брюхоногих делится на голову с 1—2 парами щупалец и глазами, туловище и ногу. В пищеварительной системе есть терка с хитиновыми зубцами, слюнные железы и печень. Дыхание жаберное или легочное. Кровеносная система незамкнутая. Выделение осуществляется через 1—2 почки. Нервная система разбросанно-узлового типа. Органы чувств — глаза, органы осязания, равновесия и химического чувства. Брюхоногие бывают как раздельнополые, так и гермафродиты. Оплодотворение внутреннее, развитие непрямое.

Представители: виноградная улитка, конус, рапана, большой прудовик, морской заяц, слизни.

Класс Двустворчатые объединяет около 20 тыс. видов двустороннесимметричных раковинных мол-

люсков (рис. 118). Раковина двустворчатая, у некоторых покрыта перламутровым слоем. Тело двустворчатых моллюсков, сплюснутое с боков, делится на туловище и ногу. Со спинной стороны есть складка кожи — мантия, которая прикрывает органы дыхания — жабры, лежащие в мантийной полости. В мантийную полость ведут два канала — вводной и выводной сифоны. Большинство двустворчатых моллюсков — фильтраторы, но среди них встречаются и хищники. Кровеносная система незамкнутая. Нервная система разбросанно-узлового типа. Органы чувств развиты слабо. Двустворчатые моллюски — раздельнополые животные, оплодотворение у них в основном наружное. Развитие непрямое.

Представители: беззубка, перловица, мидия, тридакна.

Класс Головоногие объединяет наиболее высокоорганизованных моллюсков. Их тело расчленено на голову и туловище, а нога видоизменена в воронку, осуществляется движение; вокруг рта имеются щупальца. Раковина у большинства представителей класса внутренняя или сильно редуцирована.

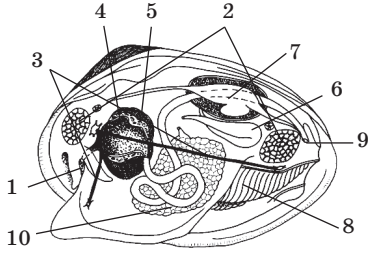


Рис. 118. Внутреннее строение двустворчатого моллюска:

1 — рот;
2 — мышцы;
3 — нервная система;
4 — желудок;
5 — печень;
6 — почка;
7 — сердце;
8 — жабра;
9 — анальное отверстие;
10 — половая железа

Головоногие моллюски — типичные хищники, в связи с этим у них сформировались мощные хитиновые че-

люсти и ядовитые слюнные железы. *Дыхательная система* представлена жабрами. В отличие от других групп моллюсков, *кровеносная система* у головоногих замкнутая, а сердце имеет два предсердия и один желудочек. *Нервная система* высокоорганизованная. Головной нервный узел прикрыт хрящевой капсулой. Органы чувств также высокоразвиты, в том числе имеется два сложно устроенных глаза. Головоногие — раздельнополые животные, для которых характерно внутреннее оплодотворение. Развитие прямое.

Представители: кальмар, каракатица, осьминог.

Роль моллюсков в природе и в жизни человека. Моллюски играют важную роль в экосистемах вод и суши, принимают участие в процессах биологической очистки вод, круговороте веществ в природе; их употребляют в пищу, используют как источник жемчуга и перламутра; могут быть промежуточными хозяевами различных паразитов человека и животных и непосредственно наносить вред сельскохозяйственным растениям, кораблям и гидротехническим сооружениям.

Тип Членистоногие

Общая характеристика типа Членистоногие

К членистоногим относят свыше 1 млн сегментированных животных с плотной хитиновой кутикулой и членистыми конечностями. Их тело делится на три более или менее четко различимых отдела: головной, грудной и брюшной, которые

могут сливаться попарно. Представители типа относятся к двустороннесимметричным животным со смешанной полостью тела.

Членистоногие освоили все среды обитания: наземно-воздушную, подземную, водную и внутреннюю среду других организмов. Субстраты их питания так же разнообразны, как и способы передвижения (среди них есть летающие, бегающие, ползающие и др.). Численность особей представителей типа в окружающей среде также чрезвычайно велика (на 1 $м^2$ перегнойной почвы может обитать до 1 млн мелких клещей и ногохвосток).

Под хитиновой кутикулой, которая является наружным скелетом, у них находится кожа — *гиподерма*, которая собственно и выделяет этот панцирь. Хитиновый скелет защищает членистоногих от хищников и внешних воздействий, а также обеспечивает движение организма, так как изнутри к нему прикрепляются пучки мышц. У некоторых групп кутикула может быть пропитана известняком. Так как она нерастяжима, то для увеличения размеров тела членистоногие вынуждены периодически линять.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

По количеству видов и распространенности членистоногие могут считаться самой процветающей группой живых организмов.

Головной отдел членистоногих несет органы чувств и отвечает за ориентацию в пространстве, на грудном отделе расположены конечности, обеспечивающие передвижение в пространстве, а в заднем отделе — брюшке — размещаются органы переваривания пищи и размножения. Членистые конечности обеспечивают перемещение организма

в пространстве и могут видоизменяться для выполнения иных функций, например, превращаться в органы чувств — антенны — или быть частью ротового аппарата.

Полость тела у членистоногих смешанная — миксоцель. Функцию полостной жидкости выполняет у них *гемолимфа*, которая образуется в результате смешивания крови и тканевой жидкости.

Пищеварительная система членистоногих образована ртом, глоткой, пищеводом, желудком, печенью, кишечником и анальным отверстием.

Кровеносная система членистоногих незамкнутая, она состоит из сердца и слабо развитых кровеносных сосудов. По ней циркулирует смесь крови с тканевой жидкостью — гемолимфа, которая поступает в сердце через боковые отверстия, а выталкивается из него по коротким сосудам в смешанную полость тела.

Дыхание у водных членистоногих осуществляется при помощи жабр, а у наземных — легкими или трахеями, хотя мелкие виды могут получать кислород через кожу.

Органы выделения членистоногих представлены почками (у ракообразных они по традиции называются зелеными железами) или мальпигиевыми сосудами.

Нервная система членистоногих представлена надглоточными нервными узлами, образующими у ряда видов головной мозг, а также брюшной нервной цепочкой, хотя у некоторых наблюдается слияние этих ганглиев в нервную массу. Сложная организация нервной системы обеспечивает существование у ряда видов сложных поведенческих реакций. Органы чувств — сложные фасеточные

глаза или простые глазки, органы слуха, обоняния, вкуса, осязания, равновесия.

Размножение у членистоногих половое, реже — партеногенетическое. В основном это раздельнополые особи, однако встречаются и гермафродиты. Развитие у представителей типа может быть как прямым, так и непрямым.

Класс Ракообразные

Объединяет около 40 тыс. видов, главным образом водных животных. Тело ракообразных покрыто хитиновой кутикулой, зачастую инкрустированной известью. Оно делится на голову, грудь и брюшко, хотя голова и грудь могут сливаться в *головогрудь* (рис. 119). Характерным представителем ракообразных является *рак речной*.

Каждый сегмент тела рака несет пару членистых двуветвистых конечностей. На голове у него имеются две пары усиков — *антенны* и *антеннулы*, выполняющих функции осязания и обоняния соответственно, два сложных глаза на стебельках, а также ротовой аппарат. Последний образован тремя парами видоизмененных конечностей-челюстей. На груди размещается восемь пар конечностей, три из которых представляют собой обслуживающие ротовой аппарат *ногощупальца*, а остальные пять — ходильные. У раков из них наиболее развиты передние ходильные ноги — клешни, служа-

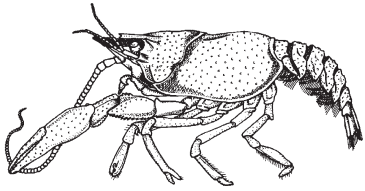


Рис. 119. Внешнее строение ракообразных

щие для захвата и разрывания пищи. На брюшке расположены плавательные ножки, а на конце — видоизмененные в хвостовой плавник конечности. Брюшные ножки самок служат убежищем для молодых рачков.

Пищеварительная система ракообразных образована ртом со сложным ротовым аппаратом, глоткой, пищеводом, желудком и кишечником, снабженным печенью. В желудке могут находиться специальные приспособления для перетирания пищи, например хитиновые зубцы, известковые зерновки (рис. 120).

Дыхание жаберное, однако мелкие представители типа с тонкой кутикулой могут дышать всей поверхностью тела.

Кровеносная система ракообразных незамкнутая, сердце трубчатое, с отверстиями.

Выделение осуществляется с помощью парных зеленых желез (почек), расположенных в головном отделе.

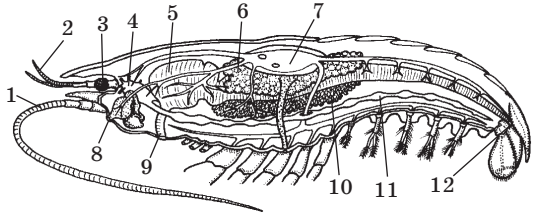


Рис. 120. Внутреннее строение ракообразного:

1 — антенна;
2 — антеннулы;
3 — глазки;
4 — головной мозг;
5 — желудок;
6 — печень;
7 — сердце;
8 — почка (зеленая железа);
9 — рот;
10 — половая железа;
11 — брюшная нервная цепочка;
12 — анальное отверстие

Нервная система рака представлена головным нервным узлом, окологлоточным нервным кольцом и брюшной нервной цепочкой.

Органы чувств — сложные фасеточные глаза или простые глазки, органы осязания (антенны) и обоняния (антеннулы), а также равновесия.

Размножение. Раки — раздельнополые животные, у многих из них выражен половой диморфизм. Некоторые ракообразные — гермафродиты. Развитие у ракообразных прямое, сопровождается периодической линькой.

Основные отряды ракообразных: Десятиногие, Листоногие, Веслоногие, Равноногие, Разноногие, Усоногие (см. «Экспресс-помощник», с. 335).

Роль ракообразных в природе и в жизни человека достаточно велика, так как раки, крабы и рачки обеспечивают круговорот веществ в водных экосистемах, являются важным звеном в цепях питания водоемов, принимают участие в процессах их биологической очистки, некоторые из них — важный объект промысла (крабы, креветки и др.). Вместе с тем ряд ракообразных является промежуточными хозяевами различных паразитов человека и животных.

Класс Паукообразные

Около 63 тыс. видов. Представлен в основном сухопутными формами. Тело делится на головогрудь и брюшко, сегментация у большинства видов не выражена. Характерным представителем паукообразных является *паук-крестовик* (рис. 121).

На головогруди у крестовика усики отсутствуют, но имеются *хелицеры* с протоками ядовитых

и слюнных желез, предназначенные для прокусывания жертвы, *педипальпы* с осязательными волосками, четыре пары простых глазков и четыре пары ходильных ног. На брюшке ходильных конечностей нет, а видоизмененные ножки обеспечивают процессы размножения, либо дыхания (легкие или трахеи) превратились в паутинные бородавки. Паутинные железы многих паукообразных выделяют нити паутины.

Пищеварительная система у паукообразных имеет вид трубки: рот, глотка, пищевод, желудок и кишечник, снабженный печенью. Слюнные железы хищных пауков содержат нервно-паралитический яд и ферменты, благодаря которым происходит внешнее пищеварение.

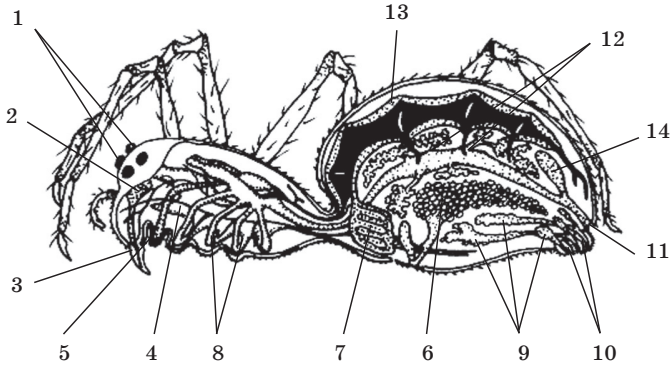


Рис. 121. Внутреннее строение паука:

1 — глазки;
2 — ядовитая железа;
3 — хелицера;
4 — головной мозг;
5 — рот;
6 — яичник;
7 — легкое;
8 — выросты средней кишки;
9 — паутинные железы;
10 — паутинные бородавки;
11 — анальное отверстие;
12 — печень;
13 — сердце;
14 — мальпигиевы сосуды

Поглощение растворенного содержимого тела жертвы осуществляется благодаря сокращению мышц глотки и желудка.

Органами дыхания у паукообразных служат легочные мешки или трубчатые трахеи, некоторые мелкие представители могут осуществлять газообмен непосредственно через кожу.

Кровеносная система у представителей класса незамкнутая, сердце с парными отверстиями по бокам.

Выделительная система представлена мальпигиевыми сосудами, которые открываются в задний отдел кишечника.

Нервная система паукообразных состоит из надглоточного и головогрудного ганглиев или только из головогрудной нервной массы.

Органы чувств — несколько пар простых глазков (у пауков — 4), органы осязания и химического чувства (обоняния и вкуса).

Размножение. Все представители класса — раздельнополые организмы с выраженным половым диморфизмом. Оплодотворение у них наружно-внутреннее или внутреннее. Развитие прямое. Расселяются паучки при помощи выпускаемых тонких паутинок.

Основные отряды паукообразных: Пауки, Сенокосцы, Сольпуги, Скорпионы, Акариформные и Паразитиформные клещи (см. «Экспресс-помощник», с. 336).

Роль паукообразных в природе и в жизни человека. Клещи — вредители сельскохозяйственных растений, портят запасы зерна, вызывают болезни животных, растений и человека, являются пере-

носчиками ряда опасных заболеваний человека (клещевой энцефалит, возвратный тиф и др.).

Класс Насекомые. Самая большая группа животных, которая объединяет свыше 1 млн видов, завоевавших все среды обитания. Тело насекомых покрыто хитиновым панцирем с тонким восковым налетом, который защищает их от высыхания, и расчленено на три отдела с явно выраженной сегментацией: голову, грудь и брюшко (рис. 122). На голове имеется одна пара усиков, выполняющих функции обоняния и осязания, а также пара сложных глаз, до трех простых глазков и ротовой аппарат. Форма усиков значительно варьирует, они могут быть нитевидными, четковидными, гребневидными и т. п. Ротовой аппарат в зависимости от характера питания может быть грызущим, колющим, сосущим, лижущим и т. д.

Грудь насекомых образована тремя сегментами, каждый из которых несет пару конечностей. Грудные конечности могут быть ходильными, бегательными, прыгательными, копательными, собирательными и др. На последних двух отделах груди расположены парные выросты хитинового панциря — крылья. Крылья насекомых бывают перепончатыми, сетчатыми, могут преобразовываться в жесткие надкрылья или полунадкрылья. Сегменты брюшка редко несут конечности, как у прямокрылых, яйцеклад которых представляет собой видоизмененные брюшные ножки.

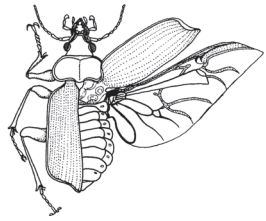


Рис. 122. Строение тела насекомого (на примере жука-красотела)

Пищеварительная система насекомых образована ртом, обслуживаемым ротовым аппаратом из двух пар челюстей, глотки, пищевода, зоба, желудка и кишечника. У них имеются слюнные железы, обеспечивающие переваривание пищи, а у некоторых насекомых — и железы, выделяющие шелк или паутину (рис. 123).

Кровеносная система насекомых незамкнутая, имеется трубчатое сердце с парными отверстиями по бокам и коротким сосудом, выталкивающим гемолимфу вперед, в смешанную полость тела. Гемолимфа насекомых не выполняет дыхательной функции, которую берут на себя трахеи.

Дыхательная система образована системой трахей (рис. 124), которые пронизывают все тело насекомого, вплоть до крыльев, и обеспечивают процесс газообмена. Трахеи открываются на брюшке особыми отверстиями — *дыхальцами*.

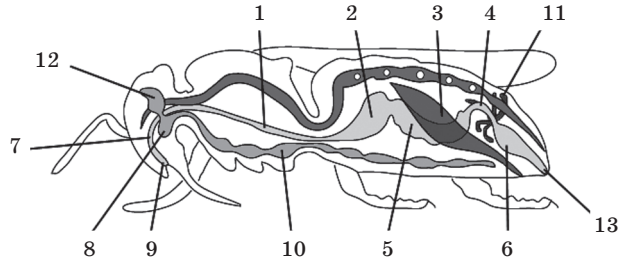


Рис. 123. Внутреннее строение насекомого:

1 — пищевод;
2 — желудок;
3 — яичник;
4 — задняя кишка;
5 — средняя кишка;
6 — прямая кишка;
7 — глотка;
8 — подглоточный нервный узел;
9 — рот;
10 — брюшная нервная цепочка;
11 — мальпигиевы сосуды;
12 — надглоточный нервный узел;
13 — анальное отверстие

Выделение у насекомых происходит при помощи мальпигиевых сосудов, примыкающих к заднему отделу кишечника, и жирового тела, занимающего большую часть тела.

Нервная система высокоразвита — головной нервный узел называют «мозгом», он соединен с брюшной нервной цепочкой.

Органы чувств — пара сложных фасеточных глаз и 1—3 простых глазка, усики (обоняние и осязание), а также органы вкуса, слуха, температурной чувствительности и др.

У насекомых высокоразвита и *эндокринная система*. Железы внутренней секреции выделяют ряд гормонов, например гормон линьки.

Развитие нервной системы обусловливает наличие среди них так называемых общественных, или социальных, насекомых, образующих постоянные или временные объединения — *семьи*. В семьях имеется четкое разделение по выполняемым функциям на рабочих и размножающихся особей. К общественным насекомым относятся многие пчелы, муравьи, термиты и др. Так, у медоносной пчелы семья состоит из матки, рабочих пчел и трутней. Матка и рабочие пчелы — это самки, однако если на матке лежит функция воспроизведения, то рабочие пчелы выполняют все остальные функции, начиная от сбора меда и заканчивая выкармливанием

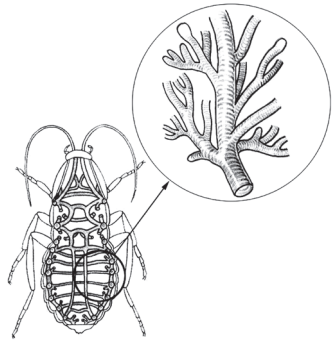


Рис. 124. Трахеи насекомых

личинок. Самцы пчел называются трутнями, развиваются они весной из неоплодотворенных яиц, будучи необходимыми для оплодотворения самки. На зиму самки пчел выгоняют трутней.

Размножение. Насекомые — раздельнополые животные, с выраженным половым диморфизмом. У самок имеется два яичника с яйцеводами, влагалище, а у многих видов — и семяприемник. Половая система самцов образована парными семенниками, семяпроводами и семяизвергательным каналом. Оплодотворение у насекомых внутреннее. Для откладывания яиц может служить яйцеклад — видоизмененные брюшные ножки.

Развитие насекомых всегда непрямое. Оно может происходить либо с неполным превращением (без стадии куколки), как у саранчи и стрекоз (рис. 125), либо с полным превращением (со стадией куколки), как у бабочек и мух (рис. 126).

Основные отряды насекомых: Чешуекрылые, или Бабочки, Блохи, Вши, Двукрылые, Жесткокрылые, или Жуки, Полужесткокрылые, или Клопы, Перепончатокрылые, Прямокрылые, Равнокрылые, Стрекозы, Таракановые (см. «Экспресс-помощник», с. 337—338).

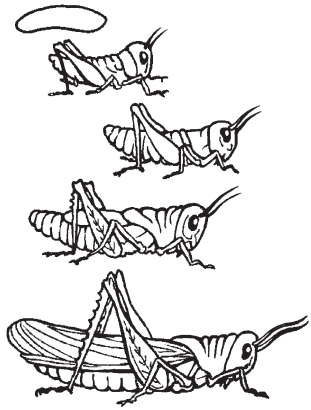


Рис. 125. Развитие с неполным превращением

Роль насекомых в природе и жизни человека. Насекомые — наиболее крупная и экологически разнообразная группа животных на Земле. Особенно их роль велика в био-

ценозах суши. Они принимают участие в круговороте веществ в природе, поскольку могут питаться растительной и животной пищей, разрушать органические остатки. Насекомые играют важную роль в цепях питания биоценозов, истребляя беспозвоночных и ослабленные растения, сами будучи пищей для других животных. Среди них есть опылители цветков и распространители семян и плодов. Многие насекомые являются вредителями важнейших сельскохозяйственных культур: саранча, жуки-щелкуны, совки, луговой мотылек, яблонный долгоносик, яблонная плодожорка и др.

Не меньшее значение имеют насекомые-паразиты и переносчики заболеваний человека и животных, например блохи, вши, комары, мухи, тараканы и др. Насекомые могут повреждать меха и шерстяные (платяная, шубная моли), древесные изделия (точильщики, домовый усач, термиты), книги, создавать помехи в работе многих аппаратов и машин.

Человек активно использует насекомых для получения продуктов питания (медоносная пчела), лекарственных препаратов (медоносная пчела, жуки-нарывники), шелка (тутовый шелкопряд) и других продуктов, в некоторых регионах насекомых употребляют в пищу. В последнее время все большее значение приобретает разведение хищных насекомых для борьбы с вредителями сельского и лес-

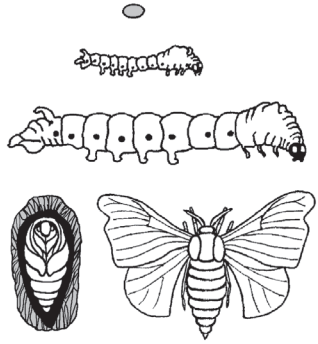


Рис. 126. Развитие с полным превращением

ного хозяйства, сорняками, повышения продуктивности посевов сельскохозяйственных культур, переработки биоорганических отходов и т. д.

Тип Хордовые

Общая характеристика

К хордовым относят свыше 40 тыс. видов чрезвычайно разнообразных по внешнему виду и величине животных, которые освоили наземно-воздушную, почвенную и водную среды обитания. Представители типа встречаются во всех географических зонах Земли.

Хордовые животные имеют ряд общих признаков строения и жизнедеятельности. У всех представителей типа хотя бы на одной из стадий онтогенеза развивается осевой скелет, представленный спинной струной, или хордой, в виде упругого тяжа. Хорда сохраняется пожизненно только у бесчерепных, тогда как у остальных групп хордовых замещается хрящевым или костным позвоночником.

У всех хордовых над осевым скелетом (хордой) из эктодермы закладывается центральная система в виде полой трубки. Первоначально она объединена с хордой общей оболочкой и располагается на спинной стороне тела. В передней части нервной трубки у подавляющего большинства развивается головной мозг.

Кишечная трубка у всех хордовых хотя бы на одном из этапов развития пронизана жаберными щелями в области глотки, т. е. начальные отде-

лы пищеварительной и дыхательной систем не разделены. У части хордовых эти жаберные щели сохраняются всю жизнь и снабжены жабрами, обеспечивающими жаберное дыхание, тогда как у других жаберные щели зарастают еще в зародышевом периоде развития и дыхание осуществляется с помощью легких.

Для всех хордовых характерна вторичная полость тела. Кровеносная система у них замкнутая, у большинства снабженная мускульным насосом — сердцем.

Хордовые — вторичноротые животные, у которых первичный рот, образовавшийся при гаструляции, становится анальным отверстием, а вторичный рот прорывается на противоположном конце тела.

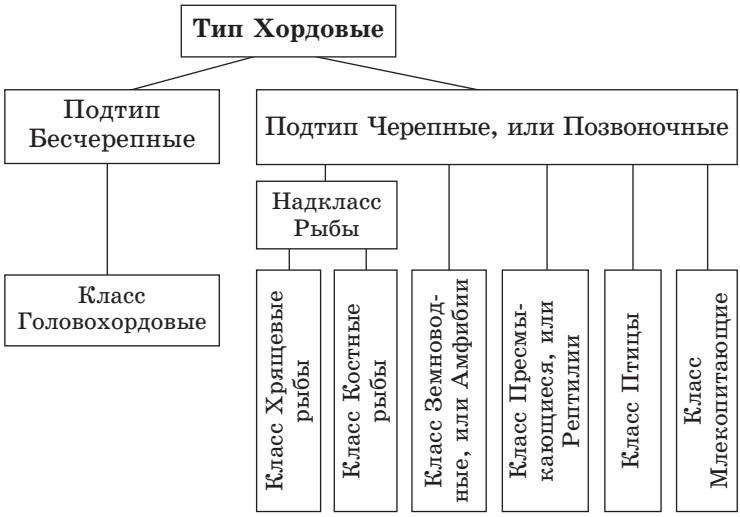


Рис. 127. Классификация хордовых

Сегментация тела у представителей этого типа ясно выражена на ранних эмбриональных этапах развития и сохраняется только у низших хордовых, тогда как у высших она выражена слабо.

Все хордовые имеют двустороннюю симметрию тела. Скелетная мускулатура хордовых поперечнополосатая.

К хордовым относят подтипы Бесчерепные и Позвоночные, или Черепные. Разделение на подтипы основано на наличии мозгового скелета и замене осевого скелета — хорды — на хрящевой или костный позвоночник, а также ряде других черт строения. Подтип Бесчерепные представлен единственным классом Головохордовые, а к черепным относят классы Хрящевые рыбы, Костные рыбы, Земноводные, Пресмыкающиеся, Птицы и Млекопитающие (рис. 127).

Подтип Бесчерепные

К бесчерепным относят приблизительно 30 видов преимущественно донных зарывающихся в песок морских животных. Подтип состоит всего из одного класса — Головохордовые, типичным представителем которого является *ланцетник обыкновенный*.

Тело ланцетника по форме напоминает старинный медицинский инструмент — ланцет, отсюда и название. Длина тела составляет 5—8 см. Движение тела осуществляется с помощью спинного и хвостового плавников, а также брюшных складок. Брюшные складки, срастаясь, образуют околожаберную полость с жаберной порой, что защищает жабры от попадания в них песка. В передней

части тела находится предротовая воронка, окруженная несколькими парами щупалец.

Кожа ланцетника выделяет тонкую кутикулу и имеет железистые клетки, выделяющие слизь на поверхность тела. Под кожей расположены сегментированные мышцы, обеспечивающие движение тела ланцетника. Опору тела обеспечивает тянущийся по спинной стороне тела упругий тяж соединительной ткани — хорда. Она заключена в общий чехол из соединительной ткани с нервной трубкой.

Ланцетники относятся к фильтраторам. При помощи щупалец они взмучивают органические остатки, опускающиеся на дно, фито- и зоопланктон, а ресничный эпителий самой воронки направляет ток воды к ротовому отверстию. *Пищеварительная система* ланцетника имеет вид трубки, лежащей под хордой, она состоит из рта, глотки и кишечника с печеночным выростом. В глотке имеются железистые клетки, секрет которых склеивает пищевые частицы. В кишечнике происходит переваривание пищи под действием пищеварительных соков печеночного выроста (рис. 128).

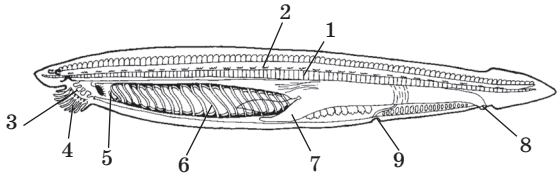


Рис. 128. Внутреннее строение ланцетника:

1 — хорда;
2 — нервная трубка;
3 — рот;
4 — щупальца;
5 — глотка;
6 — жабра;
7 — печеночный вырост;
8 — анальное отверстие;
9 — выделительное отверстие

Дыхание у ланцетника осуществляется при помощи жабр, расположенных в жаберных щелях, пронизывающих стенки глотки. Жаберные щели открываются в околожаберную полость, из которой вода выходит через жаберную пору.

Кровеносная система ланцетника незамкнутая, сердце отсутствует. Кровь у ланцетника бесцветная.

Выделение у ланцетника осуществляется с помощью системы выделительных трубочек — нефридиев, которые одним концом собирают растворенные продукты жизнедеятельности в полости тела, а другим впадают в общий выделительный канал, открывающийся наружу.

Нервная система ланцетников представлена нервной трубкой и отходящими от нее к органам периферическими нервами.

Органы чувств бесчерепных крайне примитивны — это светочувствительные глазки, расположенные вдоль всей хорды, обонятельная ямка в передней части тела, а также разбросанные по всей поверхности тела чувствительные клетки, воспринимающие волновое раздражение.

Размножение у ланцетников половое, они относятся к раздельнополым животным. Половые железы ланцетников (у самок — яичники, а у самцов — семенники) лишены постоянных протоков, для выделения половых продуктов образуются разрывы в стенках тела. Оплодотворение у ланцетников наружное.

Роль бесчерепных в природе и в жизни человека. Ланцетники являются важным звеном в цепях питания морских биоценозов. В некоторых регио-

нах мира их употребляют в пищу, вылавливая мелкоячеистыми сетками. Изучение ланцетников необходимо для понимания происхождения хордовых и начальных этапов их эволюции.

Подтип Позвоночные, или Черепные

К нему относятся почти все известные хордовые животные, которых объединяет ряд черт строения.

Кожа и *мускулатура* оформляют тело позвоночных снаружи, придают форму и защищают от внешних воздействий. Кожа покрывает тело, непосредственно контактируя с окружающей средой. Она имеет два слоя: эпидермис и собственно кожу. Эпидермис всегда многослойный, часто содержит железы, из него образуются волосы, когти, полые рога, перья, роговые чешуйки и т. д. Собственно кожа составляет основную часть кожи, в ней образуются чешуйки рыб и рога оленей, а также происходит отложение в запас жира. Мускулатура делится на скелетную, обеспечивающую перемещение тела в пространстве, и мускулатуру внутренних органов, которая способствует продвижению пищи по пищеварительной трубке, крови по сосудам и т. д.

ЗАПОМНИ

Позвоночные являются доминирующей (вместе с насекомыми) на земле и в воздушной среде группой животных.

Скелет позвоночных делится на осевой скелет, скелет головы и скелет конечностей. На начальных этапах развития осевой скелет представлен хордой, которая впоследствии замещается хрящевым или костным позвоночником. Скелет головы образован

мозговым скелетом и челюстями, у рыб имеются также жаберные дуги. Конечности у позвоночных парные (у рыб — плавники, у наземных — пятипалые конечности), представлены скелетами поясов конечностей и свободных конечностей.

Пищеварительная система позвоночных имеет вид трубки, состоящей из ротовой полости, глотки, пищевода, желудка и кишечника. В пищеварительную трубку открываются протоки трех типов пищеварительных желез: слюнных (есть только у наземных позвоночных), печени и поджелудочной железы. Помимо расщепления пищи, печень участвует в обмене веществ и обезвреживании продуктов распада, а поджелудочная железа является также и эндокринной железой, регулирующей концентрацию сахара в крови.

Дыхательная система рыб представлена жабрами, сидящими на жаберных дугах. Наземные позвоночные дышат с помощью легких.

Кровеносная система замкнутая, имеет мышечный насос — сердце.

Выделительная система образована почками, мочеточниками и мочевым пузырем. У рыб выделение также может происходить через жабры.

Нервная система позвоночных делится на центральную и периферическую. Центральная нервная система образована головным и спинным мозгом, а периферическая — нервами и нервными узлами (ганглиями). Головной мозг большинства позвоночных делится на передний, промежуточный, средний, продолговатый мозг и мозжечок. Органы чувств позвоночных — это органы зрения (парные глаза), слуха, обоняния, вкуса, осязания,

боковая линия. Позвоночным свойственны сложные формы поведения.

Все позвоночные — раздельнополые животные. *Половая система* самок состоит из парных яичников и яйцеводов, а у самцов имеются парные семенники и семявыводящие каналы, которые сливаются с мочевыделительными путями. Развитие у позвоночных может быть как прямым, так и непрямым.

Подтип Позвоночные включает шесть классов: Хрящевые рыбы, Костные рыбы, объединенные в надкласс Рыбы, а также Земноводные, Пресмыкающиеся, Птицы и Млекопитающие.

Класс Хрящевые рыбы

Сравнительно немногочисленная группа рыб (около 730 видов), скелет которых пожизненно остается хрящевым. Форма тела чаще веретенообразная, тело покрыто чешуей. На голове имеются ноздри, глаза, ротовое отверстие, 5—7 пар жаберных щелей. Парные плавники представлены грудными и брюшными, а непарные — спинным и хвостовым. Верхняя лопасть хвостового плавника больше нижней.

Скелет хрящевых рыб состоит из черепа и позвоночника с прикрепленными к нему ребрами, а также скелетов плавников. Череп представителей класса состоит из мозговой части, жаберных и челюстных дуг. Позвоночник делится на два отдела: туловищный и хвостовой. В туловищном отделе к позвоночнику прикрепляются короткие ребра. Кроме того, имеются пояса

парных конечностей (грудных и брюшных плавников), к которым прикрепляются лучи плавников (рис. 129).

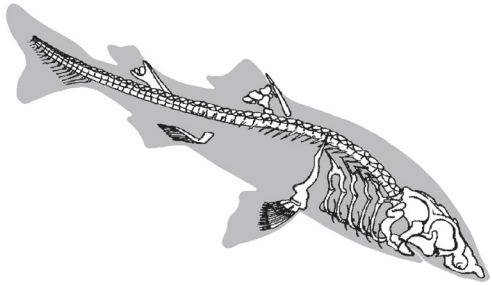


Рис. 129. Скелет акулы

Пищеварительная система состоит из ротовой полости, глотки, пищевода, желудка, тонкой и толстой кишки, разделенных спиральным клапаном, и заканчивается клоакой. Большинство хрящевых рыб — хищники. Их подвижные челюсти снабжены зубами. Спиральный клапан находится на границе между тонким и толстым кишечником и замедляет движение пищи, тем самым улучшая ее расщепление и усвоение. С кишечником связаны две пищеварительные железы: печень и поджелудочная железа (рис. 130).

Дыхание у хрящевых рыб жаберное. Жаберные щели открываются наружу отдельными отверстиями.

Кровеносная система у представителей класса замкнутая, сердце двухкамерное, состоит из предсердия и желудочка.

Выделительная система хрящевых рыб состоит из почек и мочеточников, впадающих в клоаку.

Нервная система. Головной мозг делится на пять отделов (передний, промежуточный, средний, мозжечок и продолговатый).

У хрящевых рыб имеются органы зрения (глаза), слуха (внутреннее ухо), обоняния (обонятельные мешки) и движения (боковая линия). Орган слуха у хрящевых рыб представлен перепончатым лабиринтом и тремя полукружными каналами, расположенными во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Хрящевые рыбы — раздельнополые животные, оплодотворение у них внутреннее. Некоторым представителям свойственно живорождение.

К данному классу относятся надотряды Акулы и Скаты. Основными отличиями скатов от акул являются уплощение тела в спинно-брюшном направлении, расположение жаберных щелей на брюшной стороне, слабое развитие хвостового плавника.

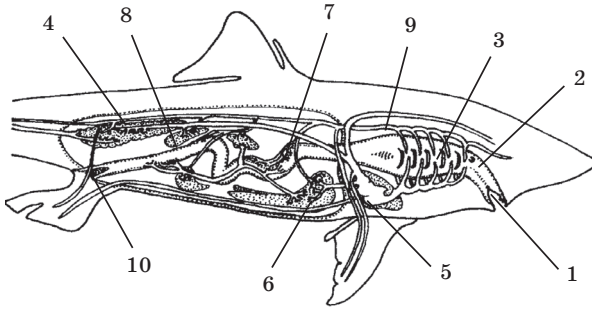


Рис. 130. Внутреннее строение акулы:

1 — рот;
2 — глотка;
3 — жабра;
4 — почка;
5 — сердце;
6 — печень;
7 — желудок;
8 — кишечник;
9 — кровеносные сосуды;
10 — клоака

Представителями надотряда Акулы являются китовая акула, катран, тигровая акула, акула-пилонос, а к надотряду Скаты относятся хвостокол, обыкновенный электрический скат, звездчатый скат и гигантский морской дьявол.

Роль хрящевых рыб в природе и в жизни человека. Хрящевые рыбы являются важным звеном в экологических системах морей и океанов, некоторых представителей употребляют в пищу и используют в медицинских целях; столкновение с ними опасно для человека.

Класс Костные рыбы

Включает подавляющее большинство представителей надкласса Рыбы (около 20 тыс. видов), населяющих пресные и соленые водоемы. Их скелет в той или иной степени костный, в нем имеются костные жаберные крышки, прикрывающие жабры. Тело костных рыб покрыто чешуей различного строения. Для костных рыб характерны парные (грудные и брюшные) плавники, а также непарные (спинной и анальный).

Скелет костных рыб состоит из скелета головы, туловища и скелетов плавников. В скелете головы, кроме мозговой части, жаберных дуг и челюстей, есть жаберные крышки. Позвоночник образован костными позвонками, он делится на туловищный и хвостовой отделы. В туловищном отделе к позвонкам прикрепляются ребра. В отличие от хрящевых, скелет груд-

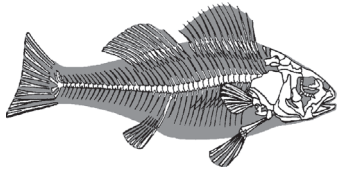


Рис. 131. Скелет костной рыбы

ных плавников костных рыб может сочленяться с осевым скелетом с помощью поясов плавников.

У большинства костных рыб имеется *плавательный пузырь*, обеспечивающий изменение объема тела и его плотности, что дает возможность подниматься и опускаться в толще воды. У части рыб сохраняется связь пузыря с пищеводом (открытопузырные рыбы), а у других она утрачивается (закрытопузырные рыбы) (рис. 131).

Пищеварительная система костных рыб образована ротовой полостью, глоткой, пищеводом, желудком и кишечником, открывающимся наружу анальным отверстием. Ротовая полость слабо отграничена от глотки, ведущей в короткий пищевод. Разделение на тонкий и толстый кишечник у костных рыб выражено слабее, чем у хрящевых. В кишечник открываются протоки печени и слабо выраженной поджелудочной железы (рис. 132).

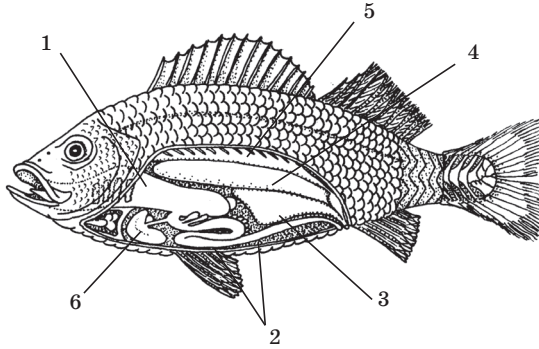


Рис. 132. Внутреннее строение костной рыбы:

1 — желудок;
2 — кишечник;
3 — яичник;
4 — плавательний пузырь;
5 — почки;
6 — сердце

Дыхание у костных рыб жаберное, хотя у некоторых представителей есть и легкие.

Жабры костных рыб имеют не только жаберные лепестки, обеспечивающие процесс газообмена, но и жаберные тычинки, которые защищают жабры от засорения. Дыхание осуществляется благодаря движениям жаберных крышек и рта, а также току воды в процессе перемещения рыбы в толще воды.

Кровеносная система костных рыб замкнутая. Сердце двухкамерное, состоит из предсердия и желудочка.

Выделительная система состоит из почек и мочеточников, которые открываются наружу отдельным отверстием позади анального.

Нервная система костных рыб примитивнее, чем у хрящевых, так как головной мозг несколько меньше и имеет выраженные обонятельные доли.

Органы чувств представлены органами зрения (глаза), слуха (внутреннее ухо), обоняния, вкуса и движения (боковая линия). Глаза имеют плоскую роговицу и круглый хрусталик, который для лучшего видения предмета меняет свое положение внутри глаза. Орган слуха у костных рыб представлен перепончатым лабиринтом и тремя полукружными каналами. *Боковая линия* — это парные длинные каналы по бокам тела рыбы, воспринимающие волновые движения в воде.

ЗАПОМНИ

Значительная часть рыб совершает кормовые или нерестовые миграции, например кета из Тихого океана заходит для нереста в Амур.

Костные рыбы — раздельнополые организмы, которым свойственно наружное оплодотворение. Парные семенники и яичники снабжены особыми

каналами, которые открываются наружу отдельно от мочевого отверстия.

Классификация костных рыб. Класс Костные рыбы делят на два подкласса: Лучеперые и Лопастеперые. К первому относят большинство ныне живущих рыб, а ко второму — надотряды Двоякодышащие и Кистеперые рыбы (см. «Экспресс-помощник», с. 339—340).

Роль костных рыб в природе и в жизни человека. Костные рыбы играют важную роль в экологических системах пресных и морских вод, имеют промысловое значение (атлантическая и тихоокеанская сельдь, салака, сельдь-иваси, треска, пикша, навага, кета, горбуша, семга, форель, карась, толстолобик, плотва, тарань, вобла и др.). В рыбоводческих хозяйствах разводят карпа, тостолобика, лобаня, карася, а некоторых рыб переселяют из одних водоемов в другие, как кету. Рыб используют и для борьбы с вредителями риса, а также для его опыления, для усиления процессов биологической очистки водоемов. Большой популярностью в последнее время пользуется разведение аквариумных рыбок.

Некоторые рыбы могут быть промежуточными хозяевами возбудителей заболеваний человека и животных, поэтому употребление рыбы в пищу требует соблюдения правил гигиены питания.

Класс Земноводные, или Амфибии

Включает около 4 500 видов позвоночных животных, часть жизненного цикла которых связана с водой. Их тело состоит из головы, туловища, двух пар пятипалых конечностей и хвоста (если выражен). На голове у земноводных имеются гла-

за, ноздри, ротовое отверстие. За глазами находятся барабанные перепонки, прикрывающие среднее ухо. Задние конечности у бесхвостых земноводных развиты сильнее, чем передние, что связано со способом их передвижения. Между пальцами конечностей есть кожистые перепонки — приспособление для передвижения в водной среде. Кожа у земноводных голая, содержит значительное количество кожных желез, секреты которых смачивают и защищают ее от проникновения микроорганизмов, а в некоторых случаях и выделяют ядовитые вещества.

Скелет земноводных делится на скелет головы (череп), скелет туловища и скелет передних и задних конечностей (рис. 133).

Основную часть скелета туловища составляет позвоночник, который делится на шейный (1 позвонок), туловищный (7), крестцовый (1) и хвостовой (много) отделы. Позвонки хвостового отдела у бесхвостых срастаются в хвостовую кость. В скелете туловища имеется также грудина, а у хвостатых земноводных — еще и короткие ребра, прикрепляющиеся к позвонкам туловищного отдела.

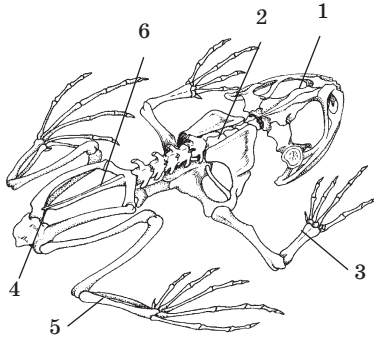


Рис. 133. Скелет лягушки:
1 — череп;
2 — плечевой пояс;
3 — передние конечности;
4 — тазовый пояс;
5 — задние конечности;
6 — уростиль

Скелет передних конечностей делится на

скелет пояса передних конечностей (плечевой пояс) и скелет свободных передних конечностей. Плечевой пояс составляют парные лопатки, ключицы и вороньи кости (коракоиды), которые прикрепляются к грудине, обеспечивая связь передних конечностей с осевым скелетом. Скелет свободных передних конечностей образован плечевой костью, сросшимися локтевой и лучевой костями, а также скелетом кисти (кости запястья, пясти и фаланг 4 пальцев).

Скелет задних конечностей состоит из пояса задних конечностей (тазового пояса) и скелета свободных задних конечностей. Тазовый пояс образован сросшимися тазовыми костями, которые прирастают к крестцовому отделу позвоночника. Скелет свободных задних конечностей образован бедренной костью, сросшимися большой и малой берцовой костями, а также скелетом стопы (кости предплюсны, плюсны и фаланг 5 пальцев).

В связи со способом передвижения земноводных мускулатура у них достаточно хорошо развита, особенно на конечностях.

Пищеварительная система земноводных состоит из ротоглоточной полости, пищевода, желудка и кишечника. На челюстях и других костях ротоглоточной полости у земноводных имеются зубы, служащие для удержания пищи. Липкий язык прикрепляется передним концом, что обеспечивает возможность захвата пищи. В ротоглоточную полость открываются протоки слюнных желез, секрет которых служит для смачивания пищи, но не переваривания ее. В тонком кишечнике пища переваривается под действием секретов печени

и поджелудочной железы. Толстая кишка открывается в клоаку (рис. 134).

Дыхание земноводных осуществляется с помощью легких и кожи (до 100 % у безлегочных саламандр), а на ранних этапах развития им присуще жаберное дыхание.

Кровеносная система земноводных имеет два круга кровообращения и трехкамерное сердце, состоящие из двух предсердий и одного желудочка. В одно предсердие собирается артериальная кровь (обогащенная кислородом), а в другое — венозная (обедненная им), затем она одновременно впрыскивается в желудочек, откуда разделяется на три потока: артериальный, смешанный и венозный. Обогащенная кислородом кровь поступает к голове, смешанная — к органам, а венозная — к легким и коже.

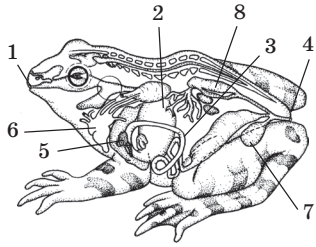


Рис. 134. Внутреннее строение земноводных:
1 — рот;
2 — желудок;
3 — кишечник;
4 — клоака;
5 — печень;
6 — сердце;
7 — мочевой пузырь;
8 — почка

Выделение у земноводных осуществляется при помощи почек, из которых мочеточники выносят мочу в клоаку, куда может открываться и мочевой пузырь.

Нервная система. В отличие от рыб, у земноводных передний мозг разделен на два полушария, а мозжечок развит слабее.

Органы чувств представлены органами зрения (глаза), слуха, обоняния, вкуса, осязания, боковой линией. Глаза у амфибий

защищены веками и мигательной перепонкой, имеются также слезные железы. В отличие от рыб, роговица их глаз выпуклая, а хрусталик линзовидный, что обеспечивает более дальнозоркое зрение. Орган слуха земноводных состоит из внутреннего и среднего уха. Внутреннее ухо, как и у рыб, представлено перепончатым лабиринтом, а среднее ухо — это затянутая барабанной перепонкой снаружи полость с единственной слуховой косточкой — стремечком. Боковая линия у земноводных имеется только на личиночной стадии.

Амфибии — раздельнополые животные. Яичники самок с помощью яйцеводов открываются в клоаку, а у самцов парные семенники имеют общие протоки с почками и также открываются в клоаку. Размножение земноводных происходит в мелких, хорошо прогреваемых водоемах. Оплодотворение у них наружное, из икринок выводятся не похожие на взрослых особей головастики, то есть развитие непрямое. Для некоторых амфибий характерно явление *неотении* — размножение на личиночной стадии (амбистома и ее личинка — аксолотль).

Классификация земноводных. К земноводным относят три отряда: Хвостатые, Бесхвостые и Безногие (см. «Экспресс-помощник», с. 341).

Роль земноводных в природе и в жизни человека. Земноводные занимают важное место в экосистемах и цепях питания, так как они уничтожают насекомых и личинок, а их самих поедают некоторые животные. В определенных регионах амфибий употребляют в пищу люди, и повсеместно используют для проведения научных экспериментов.

Класс Пресмыкающиеся, или Рептилии

Представляет собой большую группу хордовых, объединяющую около 7 тыс. видов животных. Отличительными признаками пресмыкающихся являются: легочное дыхание, наличие сухой кожи, покрытой роговыми чешуями или щитками и лишенной желез, внутреннее оплодотворение. Конечности прикрепляются к телу по бокам, вследствие чего представители класса как бы тащат живот по земле («пресмыкаются»), отсюда название класса. Большинство рептилий обитает на суше.

Скелет пресмыкающихся состоит из скелетов головы, туловища и конечностей (рис. 135). Череп имеет большую степень окостенения, а у крокодилов и черепах даже формируется костная перегородка, разделяющая дыхательную и пищеварительную полости — костное небо. Скелет туловища рептилий состоит из позвоночника и грудной клетки. В позвоночнике пресмыкающихся выделяют следующие отделы: шейный (8 позвонков), грудопоясничный (22 позвонка), крестцовый (2 позвонка) и хвостовой (несколько десятков позвонков). К грудным позвонкам прикрепляются ребра, которые вместе с грудиной у ряда представителей образуют грудную клетку. Пояса конечностей, а также сами конечности не имеют существенных отличий от таковых у амфибий. Мускулатура пресмыкающихся хорошо развита, у них появляется, например,

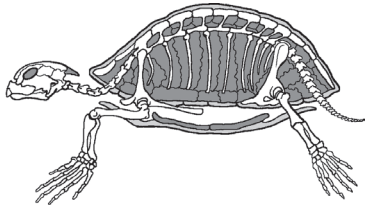


Рис. 135. Скелет черепахи

межреберная мускулатура, которая обеспечивает вентиляцию легких.

Большинство пресмыкающихся — хищники или насекомоядные, некоторые всеядные, преимущественно растительной пищей питаются немногие. Существенным отличием *пищеварительной системы* рептилий является явное разделение ротовой и дыхательной полостей небом. Челюсти большинства пресмыкающихся усажены зубами. У ряда змей имеются ядовитые зубы, снабженные ядовитыми железами. На дне ротовой полости имеется язык, способный выбрасываться далеко за ее пределы. Слюнные железы рептилий развиты лучше, чем у амфибий. Пища из ротовой полости попадает в глотку, откуда через пищевод направляется в желудок и далее в тонкий и толстый кишечник. В тонком кишечнике она обрабатывается секретами печени и поджелудочной железы. Прямая кишка открывается в клоаку (рис. 136).

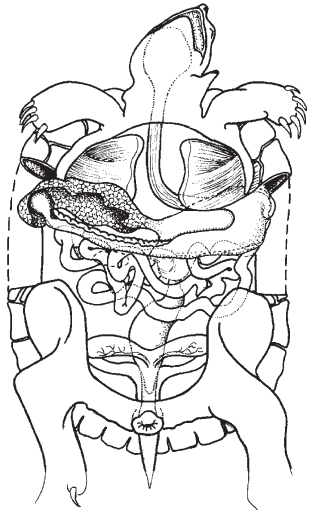


Рис. 136. Пищеварительная система черепахи

Дыхательная система пресмыкающихся представлена ячеистыми легкими и дыхательными путями: гортанью, трахеей и бронхами.

Кровеносная система замкнутая, с двумя кругами кровообращения. Сердце у рептилий трехкамерное, с неполной перего-

родкой в желудочке, что существенно снижает смешение крови.

Выделительная система представлена почками и мочеточниками, впадающими в клоаку. Имеющийся у некоторых представителей мочевой пузырь открывается в клоаку отдельно. Особенностью рептилий является то, что они выделяют как конечный продукт обмена веществ мочевую кислоту, которая малорастворима в воде, что приводит к экономии влаги.

Нервная система рептилий более высокоорганизованна, чем у амфибий, так как полушария переднего мозга имеют тонкий слой коры, а мозжечок значительно более развит.

Органы чувств рептилий представлены органами зрения (глазами), слуха (внутреннее и среднее ухо), обоняния, осязания, температурной чувствительностью. Глаза рептилий снабжены подвижными веками и мигательной перепонкой, которые у змей срастаются и становятся прозрачными (отсюда их «немигающий» взгляд). Лучшее видение предметов достигается за счет двойной аккомодации. Орган слуха представлен внутренним и средним ухом, в перепончатом лабиринте обособлена улитка. У ряда представителей есть *якобсонов орган*, служащий для восприятия запаха пищи, уже находящейся в ротовой полости, и ямки, воспринимающие тепловые излучения теплокровных животных.

Рептилии раздельнополы. У самок имеются яичники и яйцеводы, открывающиеся в клоаку, а у самцов — семенники и семяпроводы. Оплодотворение у рептилий внутреннее. Большинство пресмыкающихся откладывают яйца, богатые

желтком и заключенные в известковую или пергаментообразную оболочку, некоторые из них яйцеживородные или живородящие. Заботятся о потомстве рептилии редко.

Классификация пресмыкающихся. К пресмыкающимся относят отряды Черепахи, Чешуйчатые и Крокодилы (см. «Экпресс-помощник», с. 346).

Роль пресмыкающихся в природе и в жизни человека. Рептилии являются важным звеном в экосистемах, так как они регулируют численность многих насекомых и позвоночных. Пресмыкающихся издавна использовал человек в качестве источника мяса, яиц, кожи, панцирей, яда. Некоторые рептилии могут наносить ущерб сельскому и рыбному хозяйствам, другие — являться переносчиками возбудителей болезней человека и домашних животных, а также могут быть непосредственно опасными для человека.

Класс Птицы

Объединяет около 9 тыс. видов способных к полету теплокровных животных, тело которых покрыто перьями. Приспособленность к полету выражается в наличии крыльев и хвоста, оперения, обтекаемой формы тела, облегчении скелета и срастании костей, теплокровности и двойном дыхании.

На голове у птиц имеются клюв, пара глаз и скрытые под перьями ушные углубления. Клюв представляет собой видоизменение челюстей, покрытых роговыми чехлами. Он делится на надклювье и подклювье. У основания надклювья находятся ноздри.

Кожа у птиц сухая и почти лишенная желез, лишь у водоплавающих птиц у основания хвоста

имеется копчиковая железа. Производными эпидермиса кожи являются перья, роговые чехлы на надклювье и подклювье, роговые чешуйки, покрывающие нижние конечности, а также когти.

Основу пера птицы образует стержень, по бокам которого прикреплены две боковые пластинки — *опахала*. Нижняя часть пера, погруженная в кожу, называется *очином*, а верхняя — *стержнем*. Опахало образовано длинными бороздками первого порядка, на которых сидят бороздки второго порядка, сцепляющиеся между собой при помощи крючочков. Благодаря такой конструкции опахало представляет собой упругую пластинку. Перья делятся на контурные, пуховые, пух и нитевидные. Контурные перья, в свою очередь, по расположению на теле птицы подразделяются на маховые, рулевые, кроющие и др. Их основная функция — термоизоляция, защита от механических воздействий, участие в создании тяговой силы и направлении потоков воздуха. В отличие от контурных перьев, стержень пуховых перьев тонок, и они не имеют бородок второго порядка, Пуховые перья располагаются под контурными, они обеспечивают термоизоляцию. Пух не имеет ни стержня, ни бородок второго порядка. Также у птиц могут быть нитевидные перья, играющие определенную роль в осязании, а щетинки в углах рта насекомоядных птиц могут способствовать захвату насекомых в полете.

Скелет птицы состоит из скелета головы, скелета туловища и скелетов конечностей (рис. 137). Кости черепа срослись в единую кость с очень крупными глазницами. Челюстные кости преобразованы в надклювье и подклювье. Скелет туловища состоит из позвоночника и грудной клетки.

Позвоночник делится на пять отделов: шейный (11—25 позвонков), грудной (3—10 позвонков), поясничный (6 позвонков), крестцовый (2 позвонка) и хвостовой (только 6 позвонков остаются свободными, тогда как остальные срастаются либо с крестцовыми позвонками в сложный крестец, либо в хвостовую косточку). Грудные позвонки сращены между собой и с позвонками поясничного отдела. Они несут сложные ребра, подвижно сочлененные с грудиной.

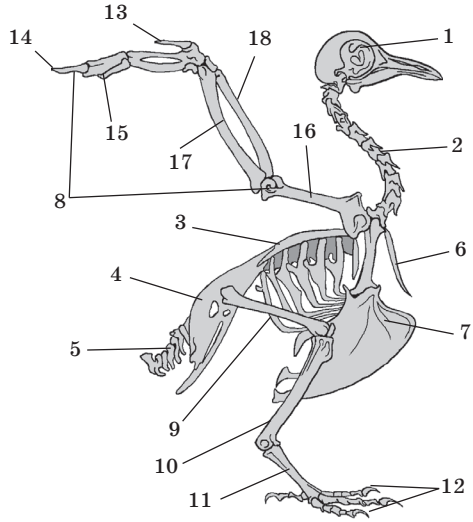


Рис. 137. Скелет птицы:

1 — череп;
2 — шейный отдел позвоночника;
3 — грудной отдел позвоночника;
4 — сложный крестец;
5 — хвостовые позвонки;
6 — вилочка;
7 — киль грудины;
8 — крыло;
9 — бедро;
10 — голень;
11 — цевка;
12 — пальцы ног;
13 — первый палец;
14 — второй палец;
15 — третий палец;
16 — плечевая кость;
17 — локтевая кость;
18 — лучевая кость

Грудина несет крупный выступ — *киль*, к которому прикрепляются летательные мышцы.

Пояс передних конечностей у птиц образован парными лопатками, ключицами и вороньими костями. Ключицы образуют *вилочку*, а вороньи кости упираются в грудину. Передние конечности у птиц преобразованы в крылья, в них выделяют плечевую, локтевую и лучевую кости, а также кости кисти, однако часть костей запястья и пясти срастаются, образуя *пряжку*. Сохраняется только три пальца (второй, третий и четвертый).

Скелет задних конечностей также претерпевает изменения по сравнению с пресмыкающимися: тазовые кости прирастают к сложному крестцу, слабо развивается малая берцовая кость, а часть костей предплюсны и плюсны срастаются в *цевку* (снаружи она покрыта роговыми чешуйками), остается 2—4 пальца.

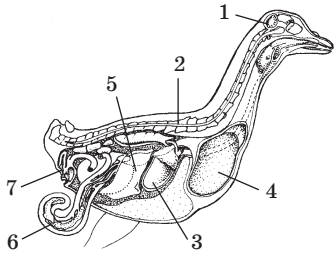


Рис. 138. Внутреннее строение птиц:
1 — головной мозг;
2 — спинной мозг;
3 — сердце;
4 — пищевод;
5 — желудок;
6 — кишечник;
7 — клоака

Мускулатура птиц развита намного сильнее, чем у рептилий. Особенно развиты мышцы, обеспечивающие способность птиц к полету — грудные и подключичные мышцы, которые крепятся к килю грудины, а к крыльям тянутся только сухожилия.

Среди птиц имеются как растительноядные и на-

секомоядные, так и хищные виды. Клюв лишен зубов и покрыт роговым чехлом. *Пищеварительная система* птиц состоит из ротовой полости, глотки, пищевода, желудка, тонкого и толстого кишечника, а также клоаки (рис. 138). В ротовой полости пища смачивается слюной и поступает в глотку и далее в пищевод. В пищеварительной системе перед желудком может быть расширение пищевода — зоб, где пища накапливается и начинает перевариваться. Желудок состоит из двух отделов — железистого и мускульного. В железистом отделе пища подвергается воздействию пищеварительного сока, а в мускульном перетирается в результате сокращения мышечных стенок и с помощью мелких камешков, которые заглатывает птица. Из желудка пища попадает сначала в тонкий кишечник, а затем в толстый, который открывается в клоаку. В тонком кишечнике пища обрабатывается секретами печени и поджелудочной железы, что обеспечивает ее переваривание. Высокая скорость обмена веществ обусловливает быстрое переваривание пищи.

Дыхательная система птиц представлена дыхательными путями, легкими и примыкающими к ним воздушными мешками. В связи с приспособлением к полету птицам свойственно двойное дыхание, при котором воздух дважды проходит через легкие благодаря наличию воздушных мешков: при вдохе он проходит, не задерживаясь, через легкие, а при выдохе в легких кислород этого воздуха обменивается на углекислый газ. Кроме дыхательной функции, воздушные мешки снижают

удельную плотность тела птицы. В дыхательной системе имеется нижняя гортань с голосовыми связками (рис. 139).

Кровеносная система птиц замкнутая, с двумя кругами кровообращения. Сердце четырехкамерное, у некоторых мелких птиц оно способно сокращаться до 1 000 раз в минуту.

Выделительная система представлена почками и мочеточниками, открывающимися в клоаку. Конечным продуктом обмена веществ у птиц, как и у рептилий, является мочевая кислота.

Нервная система птиц высокоорганизованная, особенно развиты передние полушария головного мозга и мозжечок.

Органы чувств представлены органами зрения (глаза), слуха (внутреннее и среднее ухо), изредка — обоняния. Глазные яблоки у птиц относительно крупные, они защищены веками и мигательной перепонкой. Особенно хорошо развито зрение у хищных и птиц, охотящихся ночью. Орган слуха развит лучше, чем у рептилий, так как улитка более обособлена, и имеется зачаток наружного слухового прохода. Обоняние у большинства птиц развито слабо, хотя у новозеландских киви, уток, грифов и некоторых других, которые находят добычу по запаху, оно более развито.

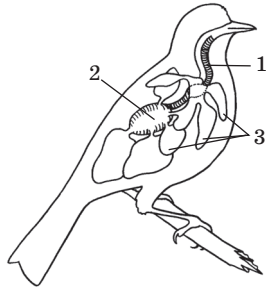


Рис. 139. Дыхательная система птиц:
1 — трахея;
2 — легкие;
3 — воздушные мешки

Птицы — раздельнополые животные, у самцов

имеются парные семенники и семяпроводы, открывающиеся в клоаку, а у самок — парные яичники и яйцеводы, однако обычно сохраняется только один из яичников.

Яйцо птиц относительно крупных размеров, поскольку содержит значительный запас питательных веществ для развития зародыша (желток, белок) (рис. 140). Зародыш развивается из небольшого зародышевого диска на поверхности желтка. Для обеспечения лучшего прогрева зародыша желток как бы подвешен на своеобразных канатиках — *халазах* — в белковой оболочке. Дыхание зародыша обеспечивается за счет воздуха, находящегося в воздушной камере между подскорлуповыми оболочками. Известковая скорлуповая оболочка пронизана порами, обеспечивающими газообмен с окружающей средой. Она часто имеет маскировочную окраску.

Классификация птиц. Класс Птицы делится на три надотряда: Пингвинообразные, Страусообразные и Типичные птицы (см. «Экспресс-помощник», с. 343—345).

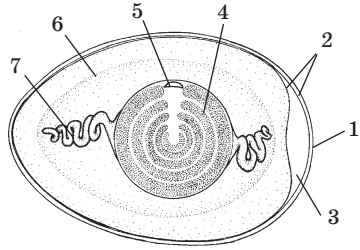


Рис. 140. Строение яйца:
1 — скорлуповая оболочка;
2 — подскорлуповая оболочка;
3 — воздушная камера;
4 — желток;
5 — зародышевый диск;
6 — белковая оболочка;
7 — халазы

Экология птиц. Птиц разбивают на экологические группы по местам обитания: птицы леса (синицы, дятлы, дрозды, рябчики, тетерева, глухари), птицы открытых пространств (дрофы, страусы), водоплавающие птицы (утки,

лебеди), птицы побережий водоемов и болот (аисты, цапли, кулики, кайры, чайки, тупики).

ЗАПОМНИ

Птиц различают по характеру пищи: ласточки, стрижи, синицы – насекомоядные; совы, ястребы, коршуны — хищные; дубоносы, клесты — зерноядные.

Роль птиц в природе и в жизни человека. Птицы играют важнейшую роль в регуляции численности различных беспозвоночных животных, наносящих вред сельскому и лесному хозяйству. Кроме того, они издавна одомашнены человеком, ценятся не только их мясо, но и яйца, перья и кожа.

Класс Млекопитающие

Включает свыше 4 тыс. видов теплокровных животных, кожа которых имеет волосяной покров и многочисленные железы. Большая часть млекопитающих рождает детенышей и выкармливает их молоком. Головной мозг отличается сильным развитием коры больших полушарий.

Тело млекопитающих имеет четко выраженные голову, туловище, хвост и конечности. На голове, помимо ротового отверстия, глаз и голого носа с парой ноздрей, более или менее выражены ушные раковины. Большинство представителей имеет мясистые губы, ограничивающие ротовое отверстие. Глаза снабжены подвижными веками и слезными железами, секрет которых омывает их и защищает от пересыхания.

Покровы тела. Кожа млекопитающих трехслойная, образована эпидермисом, дермой, или собственно кожей, и подкожной жировой клетчаткой. Видо-

изменениями эпидермиса являются волосы, когти, ногти, рога и копыта млекопитающих, а также разнообразные железы. Для представителей класса характерны потовые и сальные железы. Отличительным признаком млекопитающих является видоизменение потовых желез — млечные железы, секретом которых (молоком) они выкармливают детенышей. У некоторых видов могут быть также ядовитые или мускусные железы.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Млекопитающие распространены по всему миру и встречаются на всех континентах, во всех океанах и на большинстве существующих островов.

Шерсть млекопитающих играет значительную роль в терморегуляции, защищает тело от механических воздействий, уменьшает испарение с поверхности тела, а также может иметь покровительственную окраску. У многих млекопитающих имеется два типа волосков — более жесткие остистые и мягкий подшерсток. В течение года мех может меняться, этот процесс называется линькой. Видоизмененные остистые волоски — вибриссы, расположенные на голове, лапах и других частях тела, выполняют функцию органов осязания, а у ежей и дикобразов остистые волоски преобразованы в жесткие иглы.

Опорно-двигательная система. Скелет млекопитающих делится на скелет головы, скелет туловища и скелеты конечностей (рис. 141). Череп отличается большим мозговым отделом, в среднем ухе — три слуховых косточки: молоточек, наковальня и стремечко. Позвоночник млекопитающих делится на пять отделов: шейный, грудной, поясничный, крестцовый и хвостовой. В шейном отделе насчитывается обычно 7 позвонков.

В грудном отделе обычно 12—15 позвонков, к ним прикрепляются ребра, образующие вместе с грудиной грудную клетку. Поясничный отдел состоит из 2—9 позвонков, а позвонки крестцового отдела (2—4) срастаются в крестцовую кость, к которой прикрепляются тазовые кости. Число позвонков в хвостовом отделе сильно варьирует (3—49). Строение поясов конечностей существенно зависит от характера движений млекопитающих. На конечностях может быть различное количество пальцев: у парнокопытных остаются третий и четвертый пальцы, а у непарнокопытных — только третий.

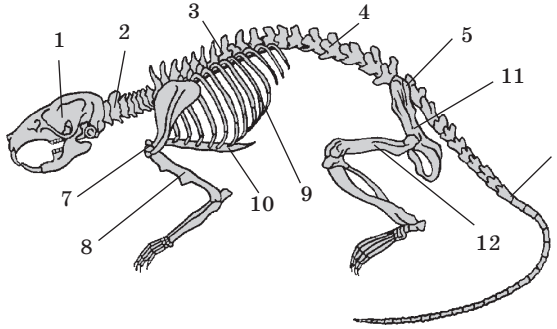


Рис. 141. Скелет млекопитающего:
1 — череп;
2 — шейный отдел позвоночника;
3 — грудной отдел позвоночника;
4 — поясничный отдел позвоночника;
5 — крестцовый отдел позвоночника;
6 — хвостовой отдел позвоночника;
7 — плечевой пояс;
8 — скелет передней конечности;
9 — ребра;
10 — грудина;
11 — тазовый пояс;
12 — скелет задней конечности

Мышечная система млекопитающих сильно развита, особенно мышцы конечностей, подкожные и дыхательные мышцы, в том числе и *диафрагма*, изменение положений которой связано с процессами вентиляции легких.

Пищеварительная система. Для млекопитающих характерно наличие губ, ограничивающих спереди предротовую полость, сзади ее ограничивают зубы. У большинства представителей в течение жизни происходит смена зубов (молочные на постоянные). Зубы млекопитающих различаются по форме и выполняемым функциям: резцы, клыки, предкоренные и коренные. Число зубов и их форма зависят от характера пищи.

В ротовую полость открываются протоки слюнных желез, выделяющих слюну с пищеварительными ферментами. Из ротовой полости через глотку и пищевод пища попадает в хорошо выраженный желудок, который может иметь до четырех отделов, как у жвачных животных (рубец, сетку, книжку и сычуг) (рис. 142).

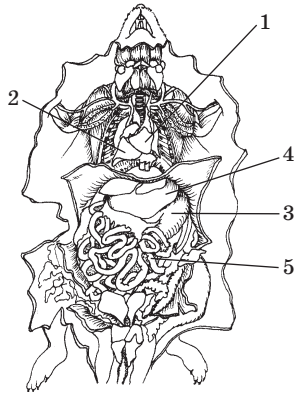


Рис. 142. Внутреннее строение млекопитающего:
1 — сердце;
2 — легкое;
3 — желудок;
4 — печень;
5 — кишечник

Кишечник делится на тонкий и толстый. В тонкий кишечник открываются протоки печени и поджелудочной железы, секреты которых обеспечивают переваривание

пищи. Длина тонкого кишечника сильно варьирует в зависимости от потребляемой пищи: у растительноядных он длиннее, чем у хищных и насекомоядных. На границе тонкого и толстого кишечника у многих видов имеется выраженная слепая кишка. Толстый кишечник в зависимости от характера потребляемой пищи также может иметь различную длину. Важную роль в переваривании пищи у млекопитающих играют симбиотические микроорганизмы и простейшие: у жвачных они обитают в желудке (рубце), у грызунов — в слепой кишке, у человека — в толстой.

Дыхательная система млекопитающих образована дыхательными путями (носовая полость, носоглотка, гортань с голосовыми связками, трахея и парные бронхи) и парными легкими. В вентиляции легких принимают участие межреберные мышцы и диафрагма.

Кровеносная система млекопитающих замкнутая, с двумя кругами кровообращения, сердце четырехкамерное.

Выделительная система. Выведение конечных продуктов обмена веществ осуществляется через почки, соединенные с мочевым пузырем мочеточниками. Опорожнение мочевого пузыря происходит через мочеиспускательный канал.

Нервная система млекопитающих высокоорганизованная, особенно сильно развит головной мозг. Большие полушария переднего мозга покрыты корой, у хищных млекопитающих и приматов имеются извилины, складки и борозды коры, что обусловливает сложные формы поведения.

У представителей класса развиты органы слуха (внутреннее, среднее ухо с тремя слуховыми

косточками и наружное ухо со слуховым проходом и ушной раковиной), зрения (глаза), осязания (вибриссы), обоняния и вкуса.

Половая система. Млекопитающие — раздельнополые животные: у самцов имеются парные семенники, семяпроводы большей частью совмещены с мочеиспускательным каналом; у самок — парные яичники, маточные трубы и обычно непарная матка. Оплодотворение внутреннее. Особенности процесса вынашивания и рождения детенышей положены в основу классификации млекопитающих. Выкармливают детенышей молоком.

Годовой цикл в жизни млекопитающих. Весной у этих животных начинается подготовка к размножению, связанная с созданием семейных пар, табунов, гаремов. Некоторые животные при этом роют норы, строят гнезда и другие укрытия для защиты детенышей, которые появляются ближе к лету. В умеренных широтах к осени у млекопитающих начинается подготовка к зиме, сопровождающаяся накоплением запасов подкожного жира, кормов, линькой. На зиму часть из них мигрирует в другие районы в поисках пищи, а другие остаются на прежнем месте и впадают в спячку либо продолжают вести активный образ жизни.

Классификация млекопитающих. Млекопитающих делят на два подкласса: Первозвери и Настоящие звери. Настоящих зверей отличает способность к живорождению, тогда как первозвери откладывают яйца. Настоящих зверей делят на две группы — Низшие звери, к которым относят сумчатых, и Высшие звери, или Плацентарные, которые охватывают всех остальных представителей класса (см. «Экспресс-помощник, с. 346—348»).

Происхождение млекопитающих. Первые млекопитающие, похожие на современных яйцекладущих, появились в триасовом периоде. По-видимому, их предками были небольшие зверозубые рептилии с зубами, посаженными в отдельные альвеолы. После гибели динозавров млекопитающие заняли господствующее положение.

Экологические группы млекопитающих. В зависимости от среды обитания млекопитающих делят на обитающих в наземно-воздушной, почвенной и водной среде. К наземным млекопитающим относятся населяющие лес и заросли крупных кустарников (белки, зайцы и др.), а также обитающие на открытых пространствах (копытные, львы и др.). Воздушную среду освоили рукокрылые, летяга, сумчатая белка. Подземные млекопитающие — это слепыш, златокрот, крот обыкновенный. К водным зверям относятся бобры, ондатры, морские львы, синий кит, дельфины и др.

Роль млекопитающих в природе и в жизни человека. Среди млекопитающих имеются как домашние, так и промысловые животные, в которых ценятся мясо, мех, рога, бивни и др. К этой группе животных относятся и вредители посевов и запасов продовольствия — грызуны, которые могут быть переносчиками различных заболеваний (чумы, туляремии и др.).

ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ

1. Общим для вирусов и прокариот является
1) отсутствие сформированного ядра
2) автотрофный способ питания
3) способность к воспроизведению
4) наличие РНК как носителя наследственной информации

2. Наибольшее разнообразие способов получения энергии характерно для царства
1) бактерий
2) грибов
3) животных
4) растений

3. У клеток бактерий, в отличие от клеток растений, имеется
1) жгутик
2) клеточная стенка
3) рибосомы
4) капсула

4. Клетки каких растительных тканей лишены ядра?
1) ксилемы и флоэмы
2) колленхимы и склеренхимы
3) древесного и пробкового камбия
4) кожицы и перидермы

5. Приспособлением к опылению у березы является
1) яркий околоцветник
2) крупная липкая пыльца
3) цветение до распускания листьев
4) образование одиночных цветков

6. Сухие многосемянные раскрывающиеся плоды характерны для
   1) арахиса и мака
   2) тюльпана и подсолнечника
   3) капусты и кукурузы
   4) белой акации и редиса

7. У хордовых, в отличие от остальных групп беспозвоночных, нервная система представлена
   1) сетью нервных клеток
   2) парными нервными стволами, связанными перемычками
   3) брюшной нервной цепочкой
   4) нервной трубкой

8. Укажите признаки приспособленности птиц к полету. Выберите три верных ответа из шести. Обведите выбранные цифры
   1) наличие крыльев
   2) теплокровность
   3) легочное дыхание
   4) развитие киля
   5) облегченность скелета
   6) наличие клюва

9. Установите последовательность процессов конъюгации у инфузорий. Запишите получившуюся последовательность цифр
   1) мейотическое деление генеративного ядра
   2) обмен частями генеративного ядра
   3) образование конъюгационного мостика
   4) рассасывание вегетативного ядра
   5) митотическое деление генеративного ядра

10. Насекомые, как и паукообразные
   1) осуществляют выделение с помощью жирового тела
   2) имеют стадию личинки в жизненном цикле
   3) несут две пары усиков
   4) имеют смешанную полость тела

ЭКСПРЕСС-ПОМОЩНИК

Сравнительная характеристика отделов водорослей

Признак	Красные водоросли	Диатомовые водоросли	Бурые водоросли	Зеленые водоросли
Жизненная форма	Многоклеточные	Одноклеточные	Многоклеточные	Одноклеточные, многоклеточные и колониальные
Окраска таллома	Голубая, малиново-красная	Желто-зеленая	Бурая, оливково-зеленая	Зеленая
Особенности строения	Жгутики отсутствуют	Кремнеземный панцирь	—	—
Запасное вещество	Багрянковый крахмал	Хризоламинарин, масло	Ламинарин	Крахмал
Способ размножения	Бесполое, вегетативное, половое	Бесполое, половое	Бесполое, вегетативное, половое	Бесполое, вегетативное, половое
Количество видов	5 тыс.	20 тыс.	1,5 тыс.	20—25 тыс.
Представители	Порфира, родимения, анфельция	Навикула, пиннулярия, цимбелла	Ламинария, фукус, саргассум	Хламидомонада, хлорелла, эвглена, вольвокс, улотрикс, спирогира, ульва

Сравнительная характеристика отделов высших споровых растений

Признак	Моховидные (кукушкин лен)	Плауновидные (плаун булавовидный)	Хвощевидные (хвощ полевой)	Папоротниковидные (щитовник мужской)
Преобладающее поколение	Гаметофит	Спорофит	Спорофит	Спорофит
Спорофит (2n)	Коробочка с крышечкой и колпачком на ножке	Побеги ползучие, листья шиловидные, придаточные корни, спороносные колоски	Мутовчато ветвящиеся побеги, чешуйчатые листья, корневища, спороносные колоски	Корневище, придаточные корни, листья — вайи — с сорусами на нижней стороне
Гаметофит (n)	Стебель с листочками, ризоиды	Подземный	Полуподземный	Сердцевидная пластинка — заросток
Количество видов	12 тыс.	1 тыс.	30	25 тыс.
Представители	Кукушкин лен, сфагнум, маршанция, риччия	Плаун булавовдиный, баранец	Хвощ полевой, хвощ лесной	Щитовник мужской, кочедыжник, орляк, адиантум венерин волос, сальвиния, марсилия

Цикл развития сосны

Основные различия представителей двудольных и однодольных

Признаки	Класс Двудольные	Класс Однодольные
Зародыш	Семядоли обычно две	Семядоля обычно одна
Корневая система	Обычно стержневая	Обычно мочковатая
Жизненная форма	Древесные, кустарниковые или травянистые растения	В основном травы (за исключением пальм и агав)
Стебель	Четко выражены кора и сердцевина, имеется камбий	Кора и сердцевина не ясно выражены, камбий отсутствует
Листья	Простые или сложные, обычно черешковые. Жилкование перистое или пальчатое	Всегда простые, часто сидячие или влагалищные. Жилкование параллельное или дуговое
Цветок	Число членов цветка в основном кратно 5 или 4	Число членов цветка в основном кратно 3

Основные типы плодов

Название плода	Особенности строения	Примеры
Зерновка	Кожистый околоплодник срастается с семенем	Овес, рис, пырей
Семянка	Кожистый околоплодник не срастается с семенем	Подсолнечник
Орех	Околоплодник деревянистый	Дуб, орешник
Крылатка	Семянки и орешки с крыловидным выростом	Клен, ясень, береза
Боб	Плод из двух створок, к которым прикрепляются семена	Горох, бобы
Стручок и стручочек	Плод из двух створок с перегородкой, семена прикреплены к перегородке	Пастушья сумка, капуста
Коробочка	Кубышкообразный плод, открывающийся крышечкой или отверстиями	Мак, белена, гвоздика
Костянка	Плод с сочной мякотью и одревесневшим внутренним слоем околоплодника — косточкой	Вишня, персик, миндаль
Ягода	Многосемянный плод с мякотью, покрытой тонкой кожицей	Смородина, томат
Яблоко	Семена лежат в пленчатых сухих камерах	Айва, груша, яблоня
Тыквина	Семена лежат в сочной мякоти плода, наружный слой околоплодника деревянистый	Огурец, арбуз, кабачки
Померанец	Многогнездный ягодоподобный плод, экзокорний которого ярко окрашен и содержит эфирные масла	Апельсин, лимон, мандарин, грейпфрут, лайм

Схема жизненного цикла высших растений

Основные признаки типов простейших

Тип, количество видов	Размножение	Органоиды движения	Ядро	Представители
Саркожгутиковые (около 25 тыс. видов)	Бесполое, половое	Ложноножки, жгутики	Одно	Амеба протей, фораминиферы, лучевики, трипаносома
Апикомплексы 4800 видов	Половое	Нет или жгутик	Одно	Малярийный плазмодий
Инфузории 7500 видов	Половое (конъюгация)	Реснички	Два (вегетативное и генеративное)	Инфузория-туфелька

Сравнительная характеристика отрядов ракообразных

Отряд, количество видов	Характерные признаки	Представители
Веслоногие, свыше 1 800	Тело расчленено на головогрудь, грудь и брюшко, на головогруди имеется 1 глазок и 6 пар конечностей, для плавания служат длинные антеннулы	Циклоп
Десятиногие, 8 500	Тело расчленено на головогрудь и сегментированное брюшко (у крабов не выражено), 5 пар ходильных ног, первая из которых обычно заканчивается клешнями	Рак речной, краб-пальмовый вор, креветка
Листоногие, 400	Большая часть тела прикрыта головогрудным щитом, грудные ножки листовидной формы (у дафний для передвижения служат крупные антенны)	Дафнии
Равноногие, 4 500	Тело сплющено в спинно-брюшном направлении, делится на голову, грудь и брюшко, грудные ножки ходильные, брюшные выполняют дыхательную функцию	Мокрица, водяной ослик
Усоногие, свыше 1 000	Тело снабжено известковым панцирем, усовидные грудные ножки образуют густую сеть, обеспечивающую питание и дыхание	Морские желуди, морские уточки

Сравнительная характеристика отрядов паукообразных

Отряд, количество видов	Характерные признаки	Представители
Пауки, свыше 27 тыс.	Тело делится на головогрудь и брюшко, с перетяжкой между ними; хелицеры крючковидные, с протоками ядовитых желез, педипальпы короткие; 8 простых глазков; 4 пары ходильных конечностей; органы дыхания — легкие и трахеи; на нижней стороне брюшка — паутинные бородавки	Домовой паук, паук-крестовик, тарантул, паук-серебрянка
Сенокосцы, 2 500	Тело расчленено на головогрудь и брюшко, перетяжка отсутствует; хелицеры клешневидные; ноги лазательные	Сенокосец обыкновенный
Скорпионы, 600	Тело расчленено на головогрудь и членистое брюшко с ядовитой иглой на конце; хелицеры клешневидные, педипальпы хватательные, с крупными клешнями; дыхание легочное	Пестрый скорпион
Акариформные клещи, 15 тыс.	Тело или его часть слитные, дыхание кожное или трахейное	Чесоточный зудень, волосяные клещи, паутинный клещ
Паразитиформные клещи, 10 тыс.	Все части тела слиты в сплошной панцирь, у некоторых ротовой аппарат образует «головку» и состоит из режущих хелицер и педипальп, благодаря которым он прокусывает кожу	Таежный клещ, собачий клещ

Сравнительная характеристика отрядов насекомых

Отряды, количество видов	Характерные признаки	Представители
Насекомые с неполным превращением		
Вши, около 150	Крылья редуцированы; ротовой аппарат колюще-сосущий; ноги цепляющиеся; паразиты человека и животных	Человеческая вошь (головная и платяная)
Полужесткокрылые, или Клопы, более 30 тыс.	Две пары крыльев (передние — полунадкрылья, задние — перепончатые), сложены в покое на спине плоско; ротовой аппарат колюще-сосущий	Постельный клоп, поцелуйный клоп, водомерки, вредная черепашка
Прямокрылые, более 20 тыс.	Две пары крыльев (передние — надкрылья с прямым жилкованием, задние — веерные перепончатые крылья); ротовой аппарат грызущий; задние ноги часто прыгательные	Обыкновенный кузнечик, домовой сверчок, саранча
Стрекозы, около 4 500	Две пары сетчатых крыльев, тело обычно вытянутое, голова подвижная, глаза очень крупные; ротовой аппарат грызущий	Коромысло, лютка, красотка
Тараканові, 2 500	Две пары крыльев (передняя — кожистые надкрылья, задние — веерные перепончатые); ротовой аппарат грызущий; яйца откладывает в оболочке	Черный таракан, рыжий таракан, или прусак

Окончание таблицы

Отряды, количество видов	Характерные признаки	Представители
Насекомые с полным превращением		
Блохи, около 1 тыс.	Крылья редуцированы; конечности хорошо развиты, особенно задние (прыгательные); ротовой аппарат колюще-сосущий	Человеческая блоха
Двукрылые, около 80 тыс.	Одна пара сетчатых крыльев, вторая преобразована в жужжальца; ротовой аппарат колющий или лижущий	Комар малярийный, муха комнатная, жужжало
Жесткокрылые, или жуки, около 250 тыс.	Две пары крыльев (первая — жесткие надкрылья без жилок, вторая — перепончатые); ротовой аппарат грызущий	Жужелица-карабус, колорадский жук
Перепончатокрылые, более 300 тыс.	Две пары сетчатых крыльев (задние меньше передних); ротовой аппарат грызущий или грызуще-лижущий; второй и третий сегменты могут образовывать стебелек; на конце тела может иметься жало или яйцеклад	Медоносная пчела, обыкновенная оса, рыжий лесной муравей
Чешуекрылые, или бабочки, около 140 тыс.	Две пары крыльев, покрытых чешуйками; ротовой аппарат сосущий (у личинок — гусениц — грызущий)	Капустная белянка, платяная моль, махаон

Сравнительная характеристика систематических групп костных рыб

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
Подкласс Лучеперые		
Отряд Осетрообразные, 25	Хрящевой скелет сохраняется всю жизнь, на переднем конце тела — вытянутое рыло; кожа голая или с несколькими рядами костных пластинок — жучков	Русский осетр, белуга, севрюга, стерлядь
Надотряд Костистые рыбы		
Отряд Карпообразные, 66	Пресноводные открытопузырные рыбы, разнообразные по внешнему виду, питанию и размножению	Карп, вобла, лещ, линь, карась, толстолобик
Отряд Лососеобразные, около 400	Открытопузырные рыбы с развитым жировым плавником и выраженной боковой линией	Кета, горбуша, семга
Отряд Окунеобразные, около 6 тыс.	Морские и пресноводные закрытопузырные рыбы с острыми шиповидными лучами плавников. Брюшные плавники обычно расположены под грудными, а иногда и впереди их	Окунь, судак, скумбрия обыкновенная, тунец

Окончание таблицы

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
Отряд Сельдеобразные, около 300	Морские открытопузырные рыбы с телом более или менее округлой формы и слабо окостеневшим черепом. Боковая линия не выражена, чешуя легко спадает	Сельдь атлантическая, иваси, сардина европейская
Отряд Щукообразные, 10	Хищные рыбы открытопузырные с сильно вытянутыми челюстями, вооруженными острыми зубами	Щука обыкновенная
Подкласс Лопастеперые рыбы		
Надотряд Двоякодышащие рыбы, 6	Большая часть скелета пожизненно остается хрящевой, хорошо развита мускулатура плавников. Органы дыхания — легкие и жабры	Неоцератод, протоптерус, лепидосирен
Надотряд Кистеперые рыбы, 1	Тело покрыто чешуями в виде костных пластинок, хорошо развита мускулатура парных плавников. Органы дыхания — жабры, однако есть заплывшее жиром легкое	Латимерия

Сравнительная характеристика отрядов земноводных

Отряд, количество видов	Характерные признаки	Представители
Хвостатые, около 350	Тело удлиненное, хвост хорошо развит, конечности короткие, примерно одинаковой длины; органы дыхания — легкие и кожа; оплодотворение наружное, развитие непрямое	Тритон гребенчатый, амбистома, саламандра исполинская
Бесхвостые, около 3 500	Туловище короткое, шея не выражена, задние прыгательные ноги в 2–3 раза длиннее передних. Ребер обычно нет; хвост имеется только на личиночной стадии, хвостовые позвонки срастаются в единую кость	Лягушка озерная, жаба обыкновенная, квакша
Безногие, около 170	Тело червеобразной формы, конечностей нет, число позвонков достигает 200–300. Органы чувств развиты слабо	Червяга кольчатая и рыбозмей цейлонский

Сравнительная характеристика отрядов пресмыкающихся

Отряд, число видов	Характерные признаки	Представители
Чешуйчатые, около 6 500	Тело покрыто роговой чешуей, конечности пятипалые (у змей отсутствуют), зубы мелкие (у ядовитых змей имеется пара крупных ядовитых зубов с протоками ядовитых желез); грудина и оба легких имеются только у ящериц	Ящерица живородящая, желтопузик, уж обыкновенный, анаконда, гадюка степная
Черепахи, 230	Тело покрыто костно-роговым панцирем, две пары конечностей (иногда преобразованы в ласты), челюсти снабжены роговыми чехлами с режущим краем	Черепаха европейская болотная, черепаха средиземноморская
Крокодилы, 23	Тело покрыто крупными роговыми щитками, две пары конечностей (на задних имеется плавательная перепонка), зубы однотипные, конической формы; в сердце почти полная перегородка	Аллигаторы китайский и миссисипский, крокодил нильский

Сравнительная характеристика надотрядов птиц

Систематическая группа, число видов	Характерные признаки	Места гнездования	Представители
Надотряд Пингвины, 16	Крылья видоизменены в ласты, перья лишены опахал, сплошь покрывают тело; на ногах 4 пальца (3 соединены плавательной перепонкой), обращенных вперед, кости без воздухоносных полостей, на грудине имеется киль; птенцы гнездового типа	Каменистые побережья, ледяные поля	Пингвин Адели, пингвин очковый
Надотряд Страусообразные, 7	Крылья недоразвиты, перья лишены упругих опахал, покрывают тело сплошь; на ногах 2–3 пальца, обращенных вперед, кости без воздухоносных полостей, грудина без киля; птенцы выводковые	Пустыни, степи, саванны	Страус, нанду, киви, казуар, эму
Надотряд Типичные птицы, 8 500	Крылья хорошо развиты, перья типичного строения, расположены на теле отдельными участками; на ногах 3–4 пальца, кости облегченные, с воздушными полостями, на грудине имеется киль; птенцы гнездового или выводкового типа	Повсеместно	
Отряд Аистообразные, 118	Шея и конечности очень длинные, клюв прямой и острый; на ногах 4 пальца, задний палец поставлен низко и служит опорой; птенцы гнездовые	Побережья водоемов, болота	Аист обыкновенный, цапля серая

Продолжение таблицы

Систематическая группа, число видов	Характерные признаки	Места гнездования	Представители
Отряд Воробьинообразные, около 5100	Строение крыльев и клюва очень разнообразно, на ногах 4 пальца, первый палец обращен назад, выражен половой диморфизм; птенцы гнездовые	Все ландшафты	Жаворонок, ласточка, свиристель, соловей, дрозд, синица
Отряд Гусеобразные, более 200	Тело плотное, вальковатое, шея длинная, хвост короткий; клюв обычно уплощенный; края клюва снабжены поперечными роговыми пластинками, образующими цедильный аппарат; на ногах 4 пальца (3 передних соединены плавательной перепонкой); птенцы выводковые	Внутренние водоемы всех континентов, кроме Антарктиды	Гусь серый, лебедь-шипун, казарка краснозобая, шилохвость, утка серая, кряква
Отряд Дятлообразные, около 400	Мелкие или средние по величине очень разнообразные по внешнему виду птицы со слегка изогнутым или долотообразным клювом; оперение рыхлое, пуха нет; язык длинный, тонкий, у некоторых укороченный или умеренной длины; на ногах 4 пальца, приспособлены к лазанию по деревьям; птенцы гнездовые	Леса различного типа	Дятел черный, дятел большой пестрый, дятел зеленый

Окончание таблицы

Систематическая группа, число видов	Характерные признаки	Места гнездования	Представители
Отряд Голубеобразные, около 300	Телосложение плотное; голова маленькая, клюв небольшой; крылья длинные, заостренные; оперение густое и плотное; хорошо развит зоб; птенцы гнездовые	Все ландшафты тропических и умеренных широт	Голубь сизый, горлица обыкновенная, вяхирь
Отряд Куробразные, около 280	Птицы средней величины, плотного сложения, с коротким и крепким клювом и сильными четырехпалыми ногами (3 направлены вперед, 1 — назад); крылья короткие, широкие; выражен половой диморфизм; птенцы выводковые	Леса, степи, пустыни	Перепел, серая куропатка, фазан обыкновенный, тетерев, глухарь, рябчик
Отряд Совообразные, 144 вида	Ночные хищные птицы; оперение мягкое, рыхлое; ноги сильные, с длинными и острыми когтями; крылья длинные, хвост короткий, закругленный на конце; клюв сильный, с загнутым вниз острым кончиком; большие глаза, хорошо развит слух; птенцы гнездовые	Степи, пустыни, горы, леса	Сова ушастая, сыч домовой, сипуха неясыть серая
Отряд Соколообразные, или дневные хищники, 290 видов	Клюв крючковатый, пальцы сильные, с острыми загнутыми когтями; оперение жесткое, плотное; крылья длинные, приспособлены к парящему полету; птенцы гнездовые	Различные ландшафты	Ястреб, сокол, гриф

Сравнительная характеристика систематических групп млекопитающих

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
Подкласс Первозвери, или Однопроходные, 3	Имеют клоаку, в которую открываются кишечник, мочевыделительные и половые протоки; у самок влагалище и матка отсутствуют, поэтому они откладывают яйца; зародыш развивается вне организма матери, питается молоком, которое слизывает с кожи на млечном поле, так как молочные железы лишены сосков; зубов нет	Ехидна австралийская, проехидна, утконос
Подкласс Настоящие звери, около 4000	Зародыш развивается в матке; молочные железы открываются на сосках, расположенных на брюшной стороне тела; большинство представителей имеют мясистые губы и зубы; клоака отсутствует	
Отряд Сумчатые, 250	Зародыш развивается в матке, но плацента не образуется, детеныши рождаются недоразвитыми; молочные железы открываются протоками на сосках, расположенных в сумке; смены зубов не происходит	Опоссум южный, коала, крот сумчатый, кенгуру рыжий, кенгуру серый
Отряд Насекомоядные, 370	Передний конец тела вытянут в хоботок; уши редуцированы; желудок простой; активны в основном ночью	Еж обыкновенный, бурозубка малая, крот европейский
Отряд Рукокрылые, 850	Передние конечности преобразованы в крылья, на груди не имеется киль; активны в основном ночью и в сумерках; способны к эхолокации	Вампир обыкновенный, ночница большая, вечерница рыжая

Продолжение таблицы

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
Отряд Грызуны, 1 600	Внешний вид разнообразен, на верхней и нижней челюстях по одной паре резцов, клыков нет	Белка обыкновенная, летяга, бобр, мышь домовая, крыса серая
Отряд Зайцеобразные, 65	Передние конечности короткие, а задние — длинные, уши либо длинные, либо короткие и округлые; на верхней челюсти две пары резцов, а на нижней — одна	Пищуха северная, заяц-русак, заяц-беляк
Отряд Хищники, 240	Сильно развиты клыки и хищные зубы; конечности пятипалые, с когтями	Песец, волк, лисица обыкновенная, медведь бурый
Отряд Ластоногие, 39	Крупные животные, форма тела обтекаемая; округлая в поперечном сечении; обе пары конечностей преобразованы в ласты; ушные раковины редуцированы; волосяной покров сплошной или сильно изреженный	Котик северный морской, сивуч, морж, заяц морской, тюлень серый
Отряд Китообразные, 85	Размеры от средних до очень крупных; передние конечности преобразованы в ласты, задние редуцированы; волосяной покров отсутствует; кожные железы отсутствуют, за исключением молочных	Афалина, косатка, серый кит, кашалот, кит гренландский

Окончание таблицы

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
Отряд Парнокопытные, 170	Конечности высокие, тонкие, шея длинная, морда вытянутая; на ногах по четыре пальца, из которых хорошо развиты второй и третий; на пальцах — роговые копыта; у жвачных желудок имеет четыре отдела	Кабан, бегемот, лось, лань, жираф, олень благородный, зубр
Отряд Непарнокопытные, 17	Крупные млекопитающие, внешний вид разнообразен; на ногах хорошо развит один (третий) палец, первый отсутствует; палец защищен роговым копытом	Зебра, дикий осел, лошадь Пржевальского, носорог белый
Отряд Хоботные, 2	Тело массивное, удлиненное; нос и верхняя губа образуют хобот; конечности высокие, колоннообразные, пятипалые	Слон африканский, слон индийский
Отряд Приматы, более 200	Конечности пятипалые, большой палец может быть противопоставлен остальным, на пальцах имеются ногти; молочные зубы меняются на постоянные	Макак японский, павиан, гиббон быстрый
Семейство Человекообразные обезьяны (Гоминиды), 4	Хвост отсутствует, телосложение тяжелое, передние конечности длиннее задних; на всех пальцах имеются уплощенные ногти; ладони и подошвы лишены волос	Горилла, шимпанзе, орангутанг

ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ЗДОРОВЬЕ

Ткани

Ткань представляет собой совокупность клеток и межклеточного вещества, объединенных общностью строения и происхождения, а также выполняемыми функциями.

У человека и животных выделяют четыре основных типа тканей: *эпителиальную, мышечную, нервную и соединительную*.

Эпителиальная ткань, или *эпителий* (рис. 143), покрывает тело, выстилает все полости внутренних органов и образует различные железы. Она выполняет защитную, дыхательную, всасывающую, выделительную, секреторную и другие функции. Клетки эпителиальной ткани плотно прилегают друг к другу, межклеточного вещества в ней немного или нет совсем, и ее обязательно подстилает соединительная ткань.

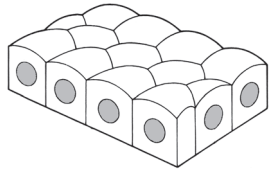


Рис. 143. Эпителий

По расположению и выполняемым функциям эпителии делят на железистые и поверхностные. *Железистые эпителии* являются основой желез внутренней и внешней секреции, например слезных, слюнных, щитовидной и др. Они способны вырабатывать разнообразные продукты — секреты, например слезную жидкость, пищеварительные ферменты и гормоны.

Поверхностные эпителии по количеству слоев клеток подразделяют на однослойные и многослойные, а по форме клеток — на плоские, кубические, призматические, реснитчатые и т. д.

Соединительная ткань заполняет все промежутки между органами и другими тканями и составляет более 50 % массы тела человека. Отличительными особенностями ее строения является наличие большого количества межклеточного вещества и значительное разнообразие клеточных элементов. Межклеточное вещество соединительной ткани состоит из коллагеновых и эластических белковых волокон, а также аморфного вещества. Этот тип ткани выполняет в организме питательную, транспортную, защитную, опорную, пластическую и структурообразовательную функции.

Соединительную ткань делят на собственно соединительные ткани, скелетные и питательные, или трофические (кровь и лимфу).

К собственно соединительным тканям относят плотные волокнистые ткани сухожилий и связок, волокнистую соединительную ткань, а также ретикулярную и жировую ткани. В рыхлой волокнистой соединительной ткани преобладает аморфное вещество, она сопровождает сосуды, образует дерму и некоторые органы. Ретикулярная ткань образует своеобразную сетку из волокон и отростчатых клеток в красном костном мозге, селезенке, лимфатических узлах и др. Она играет важную роль в процессе кроветворения. Жировая ткань образована жировыми клетками и составляет подкожную жировую клетчатку и прослойки между внутренними органами.

Скелетные соединительные ткани представлены костной и хрящевой. Первой из них образованы кости скелета и ткани зуба. Межклеточное вещество костной ткани содержит до 70 % минеральных солей, особенно фосфата кальция, придающего ей прочность, около 20 % воды и белки. Клетки этой ткани — остеоциты — замурованы в пластинках межклеточного вещества и соединяются друг с другом отростками.

Хрящевая ткань соединяет кости скелета, образует суставные поверхности, формирует дыхательные пути, ушную раковину, крылья носа и т. д. Ее межклеточное вещество сильно оводнено, в нем преобладают коллагеновые волокна. Основными клетками хрящевой ткани являются хондроциты, они расположены группами в межклеточном веществе.

Мышечная ткань — тип ткани, отличительными особенностями которой является возбудимость и сократимость.

Сокращение мышечной ткани обусловлено взаимодействием актиновых и миозиновых микронитей. Элементы мышечной ткани обычно имеют вытянутую форму. Они обеспечивают движение организма человека и сокращение стенок внутренних органов и принимают участие в осуществлении некоторых важнейших функций жизнедеятельности. Мышечные ткани организма делят на гладкие и поперечнополосатые. К поперечнополосатым относят скелетную и сердечную мышечные ткани. Исчерченность поперечнополосатой мышечной ткани обусловлена наложением чередующихся актиновых и миозиновых микронитей.

Единицами строения *поперечнополосатой скелетной мышечной ткани* являются многоядерные

мышечные волокна с характерной исчерченностью. Этой тканью образованы скелетные и мимические мышцы, мышцы рта, языка, гортани, верхней части пищевода и диафрагма.

Поперечнополосатая сердечная мышечная ткань состоит из исчерченных мышечных клеток — *кардиомиоцитов* — с одним-двумя ядрами (рис. 144). Благодаря особым клеточным контактам она способна сокращаться одновременно. Сердечная мышечная ткань образует средний слой стенки сердца — миокард.

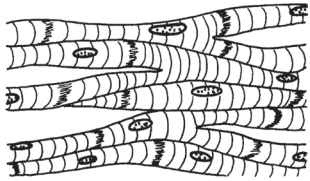


Рис. 144. Сердечная поперечнополосатая мышечная ткань

Клетки гладкой мышечной ткани — *миоциты* — имеют веретеновидную форму и одно ядро (рис. 145). Этот вид ткани залегает в стенках внутренних мышечных органов, таких как пищевод, желудок, мочевой пузырь, артерии и др.

Нервная ткань обеспечивает интеграцию частей организма в единое целое, регуляцию и координацию их деятельности, взаимодействие организма с окружающей средой, а у человека — еще и мышление, сознание и речь. Основными свойствами нервной ткани являются возбудимость и проводимость. Клетки нервной ткани плотно прилегают друг к другу. Основным видом клеток нервной ткани являются нейроны, способные к возбуждению (об-

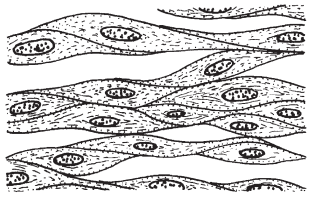


Рис. 145. Гладкая мышечная ткань

разованию нервных импульсов) и его проведению (рис. 146).

Нейроны состоят из тела и отростков. Отростки, по которым нервный импульс приходит в нейрон, называются *дендритами*, а передающие его другим клеткам — *аксонами*.

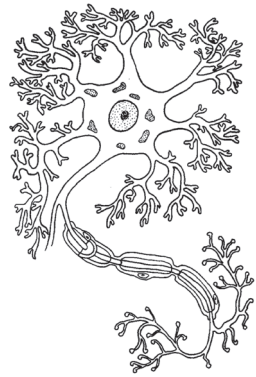


Рис. 146. Нейрон

Передача информации в виде нервного импульса от одного нейрона к другому или на другие клетки происходит через особый вид клеточных контактов — щелевидные *синапсы* (рис. 147). Передающий импульс нейрон выделяет путем экзоцитоза специального вещества — *медиатора*, которое воспринимается следующей клеткой и вызывает ее реакцию (возбуждение или торможение). Соответственно в зависимости от характера действия синапсы делят на возбуждающие и тормозные. Некоторые нервные клетки способны выделять гормоны в кровоток.

Питание, защита и изоляция нейронов друг от друга являются функциями клеток *нейроглии*, которая заполняет все промежутки между нейронами.

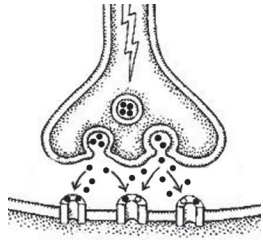


Рис. 147. Синапс

Нервная ткань является основным структурно-функциональным элементом нервной системы, образует головной и спинной мозг, а также нервы и нервные узлы.

Опорно-двигательная система

Опорно-двигательная система обеспечивает опору тела о землю, поддержание его формы и перемещение в пространстве, защищает внутренние органы, а также выполняет кроветворную и терморегуляторную функции и принимает участие в процессах обмена веществ. Она делится на активную (скелет и его соединения) и пассивную (мышцы) части.

Химический состав, строение и классификация костей. В состав костей входят неорганические и органические вещества. Неорганические вещества костей в основном представлены водой (около 20 %) и солями кальция, придающими костям прочность, а органические вещества костей — это в большинстве своем белки, обеспечивающие их эластичность.

Большая часть костной ткани организма человека организована в костные пластинки, состоящие из клеток-остеоцитов и костного межклеточного вещества, содержащего известковые образования и белковые волокна. Основной единицей строения кости является *остеон*, образованный 5—20 вложенными друг в друга цилиндрическими костными пластинками. В центре остеона расположен канал с проходящими в нем сосудами. Из остеонов состоят более крупные элементы кости — костные перекладины. В зависимости от расположения последних различают *компактное* и *губчатое костные вещества*.

С учетом особенностей строения кости скелета делятся на трубчатые, плоские, губчатые и смешанные. К плоским костям относится лопатка,

к губчатым — ключица, ребра и грудина, а к смешанным — позвонки. Трубчатые кости характерны для плеча, предплечья, бедра и голени, на них наиболее удобно рассматривать внутреннее строение кости.

В трубчатой кости выделяют *головки*, *тело* и места перехода головок в тело — *шейки* (рис. 148). Наружный слой кости образует компактное вещество, головки под ним заполнены губчатым веществом, тогда как тело остается полым. У новорожденного ребенка все внутреннее пространство кости занимает *красный костный мозг*, выполняющий кроветворную функцию, однако у взрослых людей он сохраняется только между перекладинами губчатого вещества, а в костномозговой полости в теле кости его замещает *желтый костный мозг*. Снаружи тело кости покрыто надкостницей, а суставные поверхности головок — хрящом. Деление клеток надкостницы обеспечивает рост кости в толщину, тогда как растяжение кости связано в основном с хрящевыми прослойками, которые сохранились от рождения, и перестройкой костной ткани. В целом, кость является таким же органом, как и сердце, печень и почки, поэтому она обильно снабжается кровью и иннервируется.

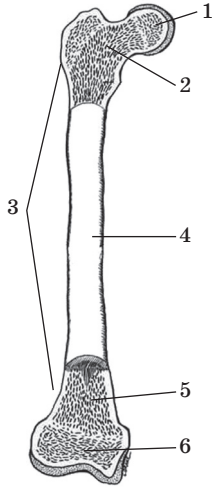


Рис. 148. Строение трубчатой кости:
1 — головка;
2 — шейка;
3 — тело;
4 — костномозговая полость;
5 — губчатое вещество;
6 — компактное вещество

Соединения костей в зависимости от строения и выполняемых функций делят на неподвижное, полуподвижное и подвижное. *Неподвижное* соединение, или *шов*, характеризуется прочным срастанием костей (кости черепа и таза). *Полуподвижное* соединение костей осуществляется с помощью хрящевых прокладок (позвоночник). *Подвижное* соединение, или *сустав*, образовано суставными поверхностями костей (головками), покрытыми хрящом, суставной сумкой и заполнено суставной жидкостью для снижения силы трения суставных поверхностей (рис. 149).

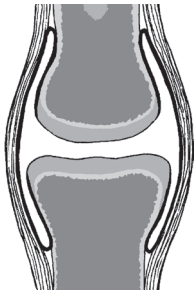


Рис. 149. Сустав

Строение скелета. В скелете человека различают скелет головы (череп), скелет туловища и скелеты конечностей (рис. 150).

Череп защищает от внешних воздействий головной мозг и органы чувств, а также является опорой лица, начальных отделов пищеварительной и дыхательной систем. В черепе выделяют лицевой и мозговой отделы. Лицевой отдел образован парными носовыми, скуловыми, слезными и верхнечелюстными костями, а также непарной нижнечелюстной костью, которая сочленяется с верхнечелюстной двумя суставами. В мозговой отдел входят парные теменные и височные кости, а также непарные лобная и затылочная.

Скелет туловища состоит из *позвоночника* и *грудной клетки*. Позвоночник связывает части тела между собой, выполняет защитную и опорную

функции для спинного мозга и спинномозговых нервов, поддерживает голову, служит для прикрепления конечностей, перераспределяет тяжесть тела на нижние конечности, а также обусловливает возможность прямохождения. У человека позвоночник состоит из 33—34 позвонков.

Типичный *позвонок* имеет тело и дугу, которая замыкает позвоночное отверстие, а также отростки. Совокупность позвоночных отверстий образует *позвоночный канал*, в котором проходит спинной мозг.

Позвоночник делится на пять отделов: *шейный*, *грудной*, *поясничный*, *крестцовый* и *копчиковый*. В шейном отделе насчитывается 7 позвонков, он обеспечивает движение головы.

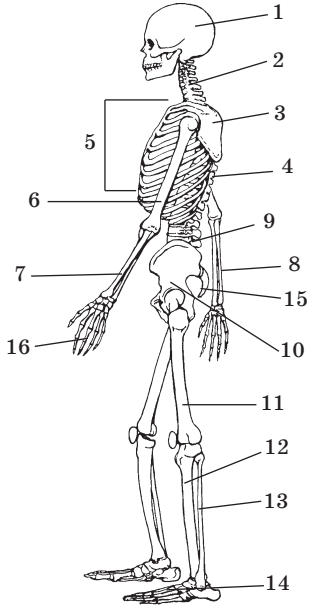


Рис. 150. Скелет человека:
1 — череп;
2 — шейный отдел;
3 — плечевой пояс;
4 — грудной отдел позвоночника;
5 — грудная клетка;
6 — плечевая кость;
7 — локтевая кость;
8 — лучевая кость;
9 — поясничный отдел позвоночника;
10 — тазовый пояс;
11 — бедренная кость;
12 — большая берцовая кость;
13 — малая берцовая кость;
14 — кости стопы;
15 — копчик;
16 — кости кисти

В связи с тем, что первый и второй позвонки шейного отдела — *атлант* и *эпистрофей* соответственно — обеспечивают поворот головы, они имеют особое строение. Грудной отдел образован 12 позвонками, к которым прикрепляются парные ребра. В поясничном отделе 5 позвонков. Крестцовый отдел также содержит 5 сросшихся позвонков, тогда как копчиковый — 4÷5.

Грудную клетку образуют ребра и грудина, однако десять пар ребер из двенадцати тем или иным образом сочленяются с грудиной, а две пары заканчиваются в толще мышц, не достигая ее. С одной стороны, грудная клетка защищает органы грудной полости, а с другой — движения ребер обеспечивают легочную вентиляцию и движение крови и лимфы по сосудам.

Функции конечностей у человека строго разграничены: верхние — органы труда, а нижние — опоры и передвижения. Эти особенности накладывают отпечаток и на их строение. Скелет конечностей образован скелетами верхних и нижних конечностей.

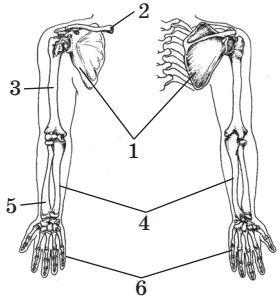


Рис. 151. Скелет верхней конечности:
1 — лопатка;
2 — ключица;
3 — плечевая кость;
4 — локтевая кость;
5 — лучевая кость;
6 — кости кисти

Скелет верхних конечностей делится на скелет свободных верхних конечностей и пояс верхних конечностей (рис. 151). Пояс верхних конечностей, или плечевой пояс, образован парными лопатками и ключицами. Он обеспечивает прикрепление верхних конечностей к туло-

вищу. Скелет свободных верхних конечностей состоит из плечевой кости, двух костей предплечья — локтевой и лучевой — и костей кисти. Верхняя головка плечевой кости образует плечевой сустав с лопатками и ключицами, а нижняя соединяется с костями предплечья в локтевом суставе. Кости кисти разделяются на кости запястья, пясти и фаланги пальцев.

Скелет нижних конечностей делится на скелет свободных нижних конечностей и пояс нижних конечностей (рис. 152). Пояс нижних конечностей, или тазовый пояс, служащий для прикрепления их к туловищу, представлен тремя сросшимися парными тазовыми костями. Он прочно соединен с крестцом. Скелет свободных нижних конечностей образован бедренной костью, двумя костями голени — большой и малой берцовыми, костями стопы и надколенником. Верхняя головка бедренной кости образует с тазом тазобедренный сустав, а с костями голени — коленный, прикрытый спереди надколенником. В состав стопы входят кости предплюсны, плюсны и фаланги пальцев.

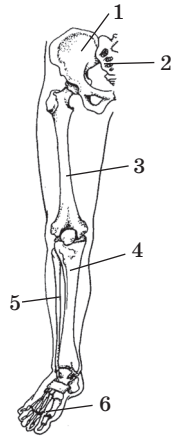


Рис. 152. Кости нижней конечности:
1 — тазовые кости;
2 — крестец;
3 — бедренная кость;
4 — большая берцовая кость;
5 — малая берцовая кость;
6 — кости стопы

В связи с прямохождением у человека, по сравнению с другими млекопитающими, имеется ряд особенностей строения скелета: постепенное

утолщение позвоночника книзу; наличие четырех изгибов позвоночника (шейного, грудного, поясничного и крестцового), амортизирующих сотрясение при движении; более слабое развитие верхних конечностей по сравнению с нижними в связи с переносом на последние веса тела, а также сводчатая форма стопы, способствующая ослаблению колебаний при перемещении тела.

Строение и функции скелетных мышц. Активная часть опорно-двигательной системы организма человека представлена скелетными мышцами. В мышце различают *брюшко*, образованное пучками поперечнополосатых мышечных волокон, и соединительнотканные *сухожилия*, с помощью которых она прикрепляется к костям или вплетается в кожу. Концы мышцы называют *головкой* и *хвостом*. Помимо сухожилий соединительная ткань также связывает воедино пучки мышечных волокон и образует оболочку брюшка — *фасцию* (рис. 153).

Для обеспечения бесперебойной работы мышцы также обильно снабжаются кровью и иннервируются.

Кроме обеспечения движения тела скелетные мышцы ограничивают стенки полостей тела (ротовой, брюшной и др.), образуют стенки некоторых органов (глотки, гортани и др.), обеспечивают работу дыхательной системы, а их активность необходима для нормального формирования нервной системы в процессе индивидуального развития. Кожные мышцы могут принимать участие в предотвращении переохлаждения, обеспечивая

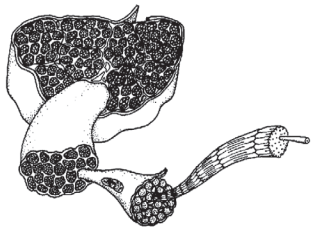


Рис. 153. Строение мышцы

выработку тепла в ходе сокращения. При этом тело покрывается «гусиной кожей».

Классификация мышц. Мышцы тела человека классифицируют по морфологическим особенностям, функциям и расположению. Так, по направлению мышечных волокон их подразделяют на прямые, косые и круговые.

По функциям мышцы относят к сгибателям, разгибателям, сфинктерам и др. При этом мышцы, выполняющие одну и ту же функцию, называются *синергистами*, а выполняющие противоположные функции — *антагонистами*. Например, плечевая мышца и двуглавая мышца плеча являются синергистами, поскольку сгибают руку в локтевом суставе. Двуглавая и трехглавая мышцы плеча — антагонисты, так как первая сгибает руку в локтевом суставе, а вторая — разгибает ее.

Основными группами мышц тела являются мышцы головы, туловища и конечностей (рис. 154).

Среди *мышц головы* наибольшее значение имеют мимические и жевательные. К мимическим мышцам головы относятся, например, круговые мышцы глаз и рта, тогда как к жевательным — жевательная, височная и др.

Мышцы туловища делят на мышцы шеи, груди, живота и спины. Мышцы шеи обеспечивают движения головы, как, например, подкожная мышца шеи. Мышцы груди представлены большой и малой грудными, а также межреберными мышцами. К мышцам живота относятся, прежде всего, косые, поперечная и прямая мышцы живота (мышцы пресса), а к мышцам спины — трапециевидная и широчайшая мышцы спины. Не менее важной мышцей туловища является диафрагма,

разграничивающая грудную и брюшную полости и принимающая непосредственное участие в дыхательных движениях.

Наиболее крупными *мышцами верхних конечностей* являются дельтовидная, двуглавая и трехглавая мышцы плеча, а *нижних конечностей* — четырехглавая и трехглавая мышцы бедра, ягодичные, портняжная и икроножная мышцы (рис. 154).

Работа мышц. Согласно законам физики, работа — это энергия, затраченная на перемещение тела с определенной силой на определенное расстояние.

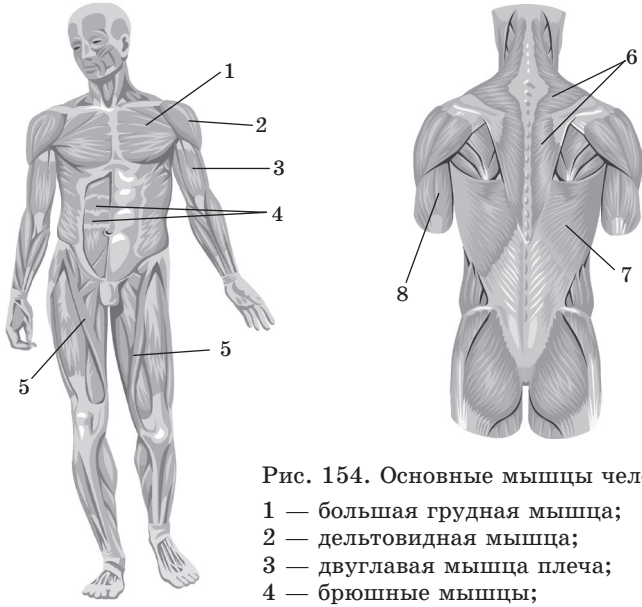


Рис. 154. Основные мышцы человека:
1 — большая грудная мышца;
2 — дельтовидная мышца;
3 — двуглавая мышца плеча;
4 — брюшные мышцы;
5 — портняжная мышца;
6 — трапециевидная мышца;
7 — широчайшая мышца спины;
8 — трехглавая мышца плеча

Механическая работа совершается мышцами благодаря их *сокращению*. В основе сокращения мышцы лежит взаимодействие микронитей актина и миозина отдельного мышечного волокна, для совершения которого необходимы энергия АТФ и присутствие ионов кальция. Если при сокращении мышцы происходит перемещение тела или некоего груза в пространстве, то такая работа называется *динамической*, тогда как работа в отсутствие укорочения мышцы, как, например, при удержании тела или груза в определенном положении — *статической*.

Сокращение мышцы чередуется с *расслаблением*, причиной которого является снижение концентрации ионов кальция, способствующее нарушению взаимодействия актиновых и миозиновых микронитей.

Продолжительная деятельность приводит к временному снижению работоспособности мышцы, которое заключается в уменьшении силы сокращения и удлинении периода расслабления. Это явление называется *утомлением*. Основной причиной утомления мышцы считается ее недостаточное снабжение кислородом, способствующее накоплению молочной и пировиноградной кислот на фоне снижения синтеза АТФ.

Пищеварительная система

Пищеварением называют совокупность процессов механического измельчения и химического расщепления пищи, которое делает ее компоненты пригодными для всасывания и использования

в процессе обмена веществ. Эту функцию выполняет система пищеварения. Кроме того, она обеспечивает также удаление непереваренных остатков пищи, выделение токсичных продуктов обмена веществ и поддержание иммунитета.

Пищеварительная система человека образована пищеварительным каналом и сопутствующими железами. Общая длина пищеварительного канала составляет 8—10 м, состоит из ротовой полости, глотки и пищевода, желудка, тонкого и толстого кишечника (рис. 155).

Ротовая полость подразделяется на преддверие рта, или предротовую полость, и собственно ротовую полость. Спереди преддверие рта ограничено щеками и губами, а сзади — зубами. В него ведет ротовое отверстие. Губы обеспечивают восприятие температуры и консистенции пищи.

У ребенка насчитывается 20 молочных зубов, а у взрослого человека — 32 постоянных.

Постоянный *зуб* имеет коронку, шейку и корни. Коронка покрыта эмалью, а корни — цементом, под ними залегает слой костной ткани — дентина.

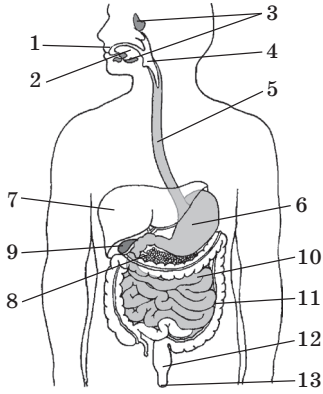


Рис. 155. Пищеварительная система человека:

1 — ротовое отверстие;
2 — язык;
3 — слюнные железы;
4 — глотка;
5 — пищевод;
6 — желудок;
7 — печень;
8 — поджелудочная железа;
9 — желчный пузырь;
10 — тонкий кишечник;
11 — толстый кишечник;
12 — прямая кишка;
13 — анальное отверстие

Середину зуба занимает *пульпа*, в которой располагаются кровеносные сосуды, обеспечивающие питание тканей зуба, и нервные окончания.

На каждой челюсти у взрослого человека расположены по 4 резца, 2 клыка, 4 малых коренных зуба и 6 больших коренных. С помощью зубов пища разделяется на куски, измельчается и пережевывается.

Самым распространенным заболеванием зубов является *кариес*.

В ротовую полость открывается три пары крупных *слюнных желез* — околоушные, подъязычные и поднижнечелюстные, а также многочисленные мелкие железки щек, языка и неба. Они вырабатывают слюну, содержащую около 99 % воды и растворенные в ней минеральные соли и белки. Немаловажную роль среди белков слюны играют ферменты амилаза и птиалин, начинающие расщепление углеводов-полисахаридов, а также лизоцим, который обеззараживает пищу. Кроме того, значение слюны в пищеварении заключается также в смачивании пищи и склеивании ее частиц, что облегчает пережевывание, формирование пищевого комка и глотание. Для нормального функционирования компонентов слюны необходима щелочная среда.

Язык — это мышечный орган, прикрепленный задним концом. Он обеспечивает восприятие вкуса, температуры и консистенции пищи, а также способствует перемешиванию пищи во рту и глотанию пищевого комка. Язык вместе с зубами участвует в формировании членораздельной речи.

Таким образом, в ротовой полости происходит измельчение, смачивание и первичное переваривание пищи, а также восприятие ее вкуса.

Глотка является частью пищеварительной трубки, соединяющей ротовую и носовую полости с одной стороны, и пищевод с гортанью — с другой.

Пищевод — это выстланная изнутри эпителием мышечная трубка, по которой пища попадает в желудок. Длина пищевода составляет около 23—25 см. Он начинается в шейной области, проходит через грудную полость, диафрагму и впадает в желудок, лежащий в брюшной полости. Пищевод расположен позади трахеи.

Желудок — полый мышечный орган объемом 1,5—2 л. Стенки желудка выстланы эпителием, который выделяет желудочный сок и слизь, предотвращающую переваривание стенок желудка (рис. 156). В состав желудочного сока входят фермент пепсин и соляная кислота. Соляная кислота активирует пепсин и отчасти обеззараживает пищу, а также делает среду в желудке кислой. Под действием пепсина происходит расщепление белков до аминокислот.

Кишечник у человека делится на тонкий и толстый. Длина *тонкого кишечника* составляет около 5—6 м, он образован двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишками. В двенадцатиперстную кишку открываются протоки печени и поджелудочной железы.

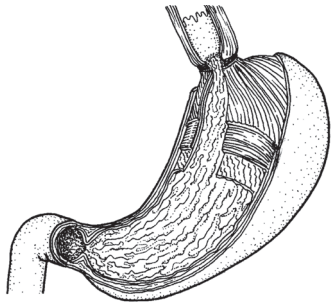


Рис. 156. Строение желудка человека

Стенки тонкого кишечника покрыты многочисленными выростами эпителия — ворсин-

ками, а также содержат многочисленные кишечные железки, вырабатывающие кишечный сок. В тонком кишечнике под действием ферментов сока поджелудочной железы и кишечного сока происходит окончательное расщепление углеводов, белков и жиров, а также их всасывание в кровь и лимфу. Для нормальной работы ферментов в тонком кишечнике оптимальной является щелочная среда. Стенки ворсинок кишечника имеют микроворсинки, что способствует значительному увеличению поверхности всасывания растворенных веществ. Следует отметить, что углеводы и аминокислоты всасываются в кровь и обязательно проходят через печень, тогда как продукты расщепления жиров, поступающие в лимфу, минуют печень.

ЗАПОМНИ

Углеводы и аминокислоты всасываются в кровь и обязательно проходят через печень.

В *толстом кишечнике*, образованном слепой, ободочной и прямой кишками, завершается расщепление веществ, происходит обратное всасывание воды и формируются каловые массы. В нем также обитают симбиотические бактерии, которые расщепляют некоторые непереваренные организмом человека вещества, например целлюлозу, синтезируя витамины (например, группы В) и другие биологически активные вещества, которые затем всасываются в кровь и используются организмом. Слепая кишка имеет червеобразный отросток (аппендикс), который является органом иммунной системы. Его воспаление называется *аппендицитом*.

Печень является самой крупной железой организма, масса которой составляет около 1,5 кг. Она обеспечивает обезвреживание ядовитых веществ, попадающих в кровь, способствует перевариванию пищи, а также выполняет запасающую функцию. Секрет печени называется *желчью*, он способствует эмульгированию, омылению, расщеплению и всасыванию жиров, а также стимулирует сокращения стенок кишечника. С желчью выделяются также продукты распада вредных для организма веществ. В сутки вырабатывается около 1,5—2 л желчи, однако часть ее в отсутствие пищи временно накапливается в желчном пузыре. Кровеносные сосуды, которые оплетают стенки тонкого кишечника, собираются в воротную вену печени. Кровь, принесенная воротной веной, проходит своеобразную очистку, в ходе которой обезвреживаются ядовитые для организма вещества. Избыток глюкозы в плазме крови задерживается в печени и запасается в виде гликогена, при необходимости высвобождаясь. Регулируется данный процесс гормонами поджелудочной железы — инсулином и глюкагоном.

Поджелудочная железа относится к железам смешанной секреции, поскольку часть ее клеток выделяет в тонкую кишку пищеварительный сок, а другая часть выбрасывает в кровяное русло гормоны инсулин и глюкагон. Сок поджелудочной железы содержит ферменты, расщепляющие углеводы, белки и жиры, например, амилазу, трипсин и липазу.

Каловые массы периодически удаляются из организма путем дефекации через анальное отверстие.

Изучением процессов пищеварения и их рефлекторного характера занимался великий русский физиолог И. П. Павлов. В опытах на собаках он доказал, что выработка слюны и желудочного сока — это безусловный рефлекс на запах и вид пищи.

Обмен веществ и превращение энергии в организме человека. Поскольку человек относится к гетеротрофным существам, он нуждается в постоянном поступлении органических веществ из окружающей среды как для построения собственного организма, так и для обеспечения его потребностей в энергии.

Органические вещества, поступившие в клетку, в основном направляются на энергетические потребности клетки. Элементарное поддержание жизнедеятельности и активная деятельность требуют различных затрат энергии, поэтому на уровне организма различают основной и общий обмены. *Основной обмен* — это энергозатраты в стандартных условиях у спокойно лежащего, но не спящего человека утром натощак. Он необходим для работы внутренних органов и расслабленных мышц. Взрослый человек расходует в день около 100,56 кДж на 1 кг массы в сутки, а подросток — 142,6 кДж на 1 кг.

Общий обмен во многом зависит от образа жизни человека, его профессии и возраста, и в среднем почти в два раза превышает основной обмен.

На основе исследования обмена веществ разработана концепция рационального питания, согласно которой количество и качество потребляемой пищи должно соответствовать потребностям организма. На ее основе разрабатываются *нормы пита-*

ния — общее количество пищи и соотношение ее компонентов, которые обеспечивают нормальное состояние здоровья людей разного возраста, пола, способа жизни и труда, соответствует биологической природе человека.

Основными источниками энергии в пище являются углеводы, белки и липиды. В суточном рационе взрослого человека белки, липиды и углеводы должны входить в соотношении 1:1:4. Среднесуточная потребность человека в основных органических веществах определяется возрастом, полом, профессией и другими показателями. В среднем за сутки взрослый человек должен потреблять 80—100 г белков, столько же жиров и 350—400 г углеводов, причем для мужчин эти нормы несколько выше, чем для женщин.

Кроме незаменимых амино- и жирных кислот пища содержит еще некоторые компоненты, необходимые организму для нормального функционирования, например витамины и микроэлементы, однако их содержание в продуктах питания настолько мало, что количество потребляемой пищи часто должно превышать расчетные показатели.

Витамины — это физиологически активные вещества, принимающие участие в процессе обмена веществ как регуляторы процессов жизнедеятельности. Витамины входят в состав многих ферментов и некоторых важнейших веществ, которые принимают участие в процессах метаболизма.

Подавляющее большинство витаминов не синтезируется в организме человека и должно поступать с пищей, чаще всего растительной. Важная роль в обеспечении организма витаминами при-

надлежит микрофлоре толстого кишечника, которая вырабатывает, например, некоторые витамины группы В. В летний и осенний период организм получает их в достаточном количестве, тогда как в зимнее, и особенно в весеннее время ощущается недостаток витаминов. Полное отсутствие какого-либо витамина в организме называется авитаминозом, однако оно встречается редко, гораздо более распространенное явление — пониженное содержание витамина в организме — гиповитаминоз. Гиповитаминоз является настолько же небезопасным для процессов жизнедеятельности в организме, как и гипервитаминоз — повышенное содержание витамина. Например, при избытке витамина А возникают изменения кожи, слизистых оболочек и костей, головные боли и малокровие, а гипервитаминоз по витамину С может спровоцировать не только повреждения поджелудочной железы и почек, но и способствовать ускоренному выведению других витаминов из организма.

Всего известно около 20 витаминов и витаминоподобных веществ. По физико-химическим свойствам их делят на две группы: водорастворимые (витамины группы В и С) и жирорастворимые (витамины А, D и Е).

Витамины являются нестойкими соединениями, которые разрушаются в процессе хранения продуктов питания и приготовления пищи, особенно при термической обработке. Например витамин С разрушается уже при 80° С. Кроме того, значительная часть витаминов находится в поверхностных слоях овощей и фруктов, поэтому следует срезать как можно более тонкий их слой.

Рациональное питание является залогом здоровья, хотя здоровый образ жизни заключается не только в нем.

Дыхательная система

Дыхательная система человека состоит из дыхательных путей и легких (рис. 157). Дыхательные пути, в свою очередь, подразделяются на носовую полость, носоглотку, гортань, трахею и бронхи, разветвляющиеся в легких на многочисленные канальцы — бронхиолы.

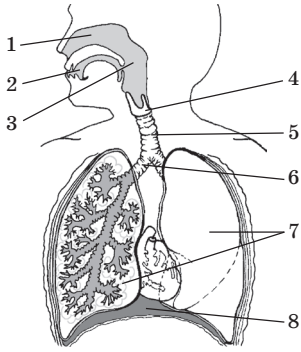


Рис. 157. Дыхательная система человека:
1 — носовая полость;
2 — ротовая полость;
3 — носоглотка;
4 — гортань;
5 — трахея;
6 — бронхи;
7 — легкие;
8 — диафрагма

Носовая полость открывается наружу ноздрями с одной стороны, и сообщается с носоглоткой — с другой. Она выстлана реснитчатым эпителием с многочисленными железистыми клетками и обильно снабжается кровью. В ней воздух очищается от взвешенных частиц, в том числе возбудителей различных заболеваний, увлажняется и приводится к температуре тела (согревается или охлаждается). В верхней части носовой полости расположены обонятельные рецепторы, обеспечивающие восприятие запаха.

Носоглотка сообщается с носовой и ротовой полостями, через нее воздух попадает в гортань.

Гортань — воронкообразный соединительнотканный орган, прикрытый хрящевым надгортанником. При попадании пищи на корень языка, когда происходит рефлекторный акт глотания, надгортанник должен закрыться, чтобы пища не попала в дыхательные пути.

Передняя часть гортани сформирована щитовидным хрящом. В гортани расположены голосовые связки, обеспечивающие вместе с зубами, языком и губами членораздельную речь.

Трахея спереди защищена хрящевыми полукольцами, а сзади затянута эластичной соединительнотканной перегородкой, что обеспечивает беспрепятственное прохождение пищи по пищеводу, расположенному непосредственно за трахеей. В нижней части трахея разветвляется на два бронха — правый и левый.

Бронхи окружены хрящевыми кольцами. Входя в легкие, они начинают разветвляться на все более мелкие бронхи следующих порядков и бронхиолы, заканчивающиеся пузырьками — *альвеолами*, собранными в гроздевидные структуры.

Легкие — парные органы, лежащие в грудной полости, ограниченной грудной клеткой и диафрагмой. Легкие человека имеют альвеолярное строение. Стенки альвеол выстланы эпителием и густо оплетены капиллярами, они выделяют специальную жидкость, которая способствует газообмену и препятствует спаданию стенок альвеол. В альвеолах воздух отдает крови кислород и обогащается углекислым газом.

Легкие покрыты плеврой, имеющей два листка — наружный и внутренний, между которыми находится плевральная жидкость, уменьшающая силу трения при дыхательных движениях.

Механизм легочной вентиляции. В процессе дыхания вдох осуществляется в такой последовательности: сокращаются межреберные мышцы, ребра поднимаются, диафрагма опускается, объем грудной клетки увеличивается, давление в грудной полости падает, что приводит к растяжению легких и втягиванию воздуха в них. Выдох происходит в обратном порядке: межреберные мышцы и диафрагма расслабляются, ребра опускаются, диафрагма поднимается, объем грудной клетки уменьшается, объем легких сокращается и воздух выталкивается наружу.

ЗАПОМНИ

Содержание кислорода во вдыхаемом воздухе составляет около 21 %, углекислого газа — 0,03 %, в выдыхаемом — соответственно 16 % и 4 %.

Газообмен в тканях. Совершая вдох и выдох человек вентилирует легкие, поддерживая в альвеолах относительно постоянный состав газов. Во вдыхаемом воздухе концентрация кислорода повышена, а в выдыхаемом — снижена. Содержание же углекислого газа в выдыхаемом воздухе, наоборот, выше, чем во вдыхаемом.

В легких кислород из альвеолярного воздуха переходит в кровь, а углекислый газ из крови — в легкие путем диффузии через стенки альвеол и кровеносных капилляров. Направление и скорость диффузии определяются парциальным давлением газа в воздухе, или его напряжением в растворе.

Кровь транспортирует кислород от легких к тканям и углекислый газ от тканей к легким в связанном с гемоглобином эритроцитов состоянии.

Обогащенная кислородом кровь поступает во все органы и ткани организма, где происходит диффузия кислорода в ткани, которая обусловлена разницей напряжения в крови и тканях. В клетках кислород используется в биохимических процессах тканевого дыхания — окислении органических соединений до углекислого газа и воды с образованием АТФ.

Дыхательные и легочные объемы. Вентиляция легких определяются глубиной дыхания и частотой дыхательных движений. Глубина дыхания и его частота зависят от физической нагрузки, степени тренированности, эмоционального состояния, условий окружающей среды и других причин. В покое они невелики, тогда как на холоде газообмен усиливается, чем поддерживается постоянство температуры тела. В связи с этим выделяют ряд легочных объемов и емкостей:

1. *Дыхательный объем* — объем вдыхаемого и выдыхаемого воздуха в спокойном состоянии (в среднем около 500 мл).
2. *Резервный объем вдоха* — дополнительный объем воздуха, который человек может вдохнуть после нормального вдоха (около 1500 мл).
3. *Резервный объем выдоха* — объем воздуха, который человек может еще выдохнуть после нормального выдоха (около 1500 мл).
4. *Остаточный объем легких* — объем воздуха, который остается в легких после самого глубокого выдоха (около 1200 мл).

5. *Жизненная емкость легких* — это объем воздуха, который можно выдохнуть после самого глубокого вдоха, является суммой дыхательного объема, резервных объемов вдоха и выдоха (3,5—4,7 л).
6. *Общая емкость легких* — объем воздуха, содержащийся в легких после самого глубокого вдоха, является суммой жизненной емкости и остаточного объема легких (4,7—5 л).
7. *Функциональная остаточная емкость* — объем воздуха, остающийся в легких после спокойного выдоха, является суммой резервного объема выдоха и остаточного объема (2,7—2,9 л). Обеспечивает выравнивание колебаний концентраций газов во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе.

Легочная вентиляция — это количество воздуха, проходящее через легкие в единицу времени. Обычно измеряют минутный объем дыхания (МОД), равный произведению дыхательного объема на частоту дыхания. В покое минутный объем дыхания равен 6—8 л. При средней мышечной нагрузке он достигает 80 л/мин, а при тяжелой физической нагрузке — 120÷150 л/мин.

Часть вдыхаемого воздуха (140—150 мл) задерживается в воздухоносных путях, и поэтому не принимает участия в вентиляции альвеол.

Регуляция дыхания. Процесс дыхания подлежит нервной и гуморальной регуляции. С одной стороны, «дыхательные» нейроны дыхательного центра, расположенного в продолговатом мозге, посылают ритмические импульсы к межреберным мышцам и диафрагме, а с другой, чутко реагируют на сигналы, приходящие от разнообраз-

ных рецепторов. Часть рецепторов расположена в легких и дыхательных путях, и реагирует на их растяжение. Другие рецепторы находятся в продолговатом мозге и стенках сосудов, и реагируют на изменение концентрации углекислого газа, кислорода, pH крови. Вдох вызывается увеличением концентрации углекислого газа в крови, а выдох стимулируется растяжением стенок дыхательных путей и легких. В целом дыхание является рефлекторным актом.

На интенсивность дыхания существенное влияние могут оказывать высшие дыхательные центры в коре больших полушарий переднего мозга, а также вегетативная нервная система. Так, ее симпатический отдел способствует учащению дыхания и увеличению глубины дыхания, а парасимпатический, наоборот, снижает его частоту и глубину.

В гуморальной регуляции дыхания задействован в основном гормон надпочечников — адреналин, возрастание концентрации которого способствует увеличению частоты и силы дыхательных движений.

Внутренняя среда организма человека

Поддержание относительного постоянства состава и показателей внутренней среды организма — *гомеостаза* — является одним из неотъемлемых свойств живого. У одноклеточных организмов оно достигается за счет диффузии и осмоса, тогда как подавляющее большинство клеток многоклеточных организмов утрачивает непосредственный контакт с окружающей средой и омывается

жидкостями внутренней среды, на которых и лежит гомеостатическая функция, связанная с транспортировкой необходимых организму веществ и продуктов обмена. Внутреннюю среду организма формируют кровь, тканевая жидкость и лимфа.

Кровь — это особый вид соединительной ткани, выполняющей ряд важнейших функций: транспортную, регуляторную, защитную и гомеостатическую. Транспортная роль крови заключается в обеспечении процессов дыхания, переносе питательных веществ и выделении. Не менее активно она принимает участие и в регуляции функций организма, так как в ней содержатся гормоны и другие биологически активные вещества. Защитная функция крови связана с поддержанием иммунитета и способностью к свертыванию. Потеря 30 % крови приводит к смерти.

ЗАПОМНИ

Содержание плазмы в крови составляет 52—61 %. Литр плазмы человека содержит около 900 г воды, 65—85 г белка и около 20 г солей.

Объем крови в организме человека с массой тела около 70 кг достигает 5—5,5 л. Кровь состоит из двух основных компонентов — плазмы и форменных элементов.

Плазма крови содержит неорганические и органические вещества. Неорганические вещества плазмы — это вода (90 %) и минеральные соли (0,9 %), а органические — белки (7 %), жиры (0,8 %) и углеводы (0,12 %). Лишенная белка фибриногена плазма называется *сывороткой*. Плазма связывает и переносит некоторое количество газов (в основном углекислый газ), питательные вещества и продукты обмена веществ, а также выпол-

няет регуляторную функцию и формирует защитные свойства организма.

Форменные элементы крови. К форменным элементам крови относят эритроциты, лейкоциты и тромбоциты. *Эритроциты*, или красные кровяные тельца, — безъядерные клетки 7—8 мкм в диаметре и около 2 мкм в толщину, имеющие форму двояковогнутого диска. Они содержат гемоглобин, который обратимо связывает кислород и углекислый газ. Гемоглобин, присоединивший кислород, называется оксигемоглобином, а его комплекс с углекислым газом — карбгемоглобином. Кровь, обогащенная кислородом, имеет более яркий, алый цвет и называется *артериальной*, а обедненная им — *венозная* — более темного, красного цвета.

Количество эритроцитов достигает 4,9—5,5 млн в мм^3. Они образуются в красном костном мозге, функционируют около 120 суток, при этом могут надолго задерживаться в капиллярах кожи, печени и селезенке. Эти органы называют «депо» крови. Разрушаются эритроциты в печени, селезенке и костном мозге. Функцией эритроцитов является транспорт кислорода и углекислого газа.

Лейкоциты, или белые кровяные тельца, — крупные, часто бесформенные клетки диаметром 4,5—18 мкм, имеющие ядро. Количество лейкоцитов колеблется от 4 до 9 тыс. в мм^3. Как и эритроциты, они образуются в красном костном мозге, а дозревают в селезенке и лимфатических узлах. Одни лейкоциты живут несколько часов, а другие — на протяжении всей жизни человека. Разрушаются лейкоциты в слизистой оболочке пищеварительного тракта, местах воспаления, селезенке, костном мозге и других органах иммунной системы.

Основная функция лейкоцитов — защитная (формирование иммунитета), их количество существенно возрастает при попадании в организм болезнетворных агентов.

Некоторые лейкоциты выделяют специальные белки-антитела, которые связывают этих возбудителей, ослабляют и могут уничтожать, их называют *лимфоцитами*, а другие — поглощают возбудителей различных заболеваний и чужеродные белки путем фагоцитоза. Такие лейкоциты называются *фагоцитами*. Скопление мертвых микроорганизмов, живых и погибших фагоцитов образует желтоватую массу, которая называется *гноем*.

Тромбоциты, или кровяные пластинки, — это мелкие бесцветные, безъядерные обломки клеток 2—4 мкм в диаметре. Их количество достигает 200—400 тыс. в мм^3. Образуются они в красном костном мозге, функционируют в течение 8—11 суток. Разрушаются тромбоциты в местах нарушения целостности кровеносных сосудов, где образуют тромбы. Тромбоциты выполняют защитную функцию, поскольку, принимая участие в свертывании крови, они препятствуют кровопотере и попаданию различных инфекционных агентов.

ЗАПОМНИ

Наиболее распространенными заболеваниям крови являются разнообразные анемии, лейкемия, гемофилия.

Группы крови. Переливание крови. При значительных кровопотерях и некоторых заболеваниях требуется переливание крови, однако в прошлом это приводило к смерти пациентов или тяжелым расстройствам здоровья. Причиной этого явления оказалось склеивание эритроцитов у лиц, которым

переливают кровь — *реципиентов*. Исследования показали, что эритроциты могут нести специальные белки-агглютиногены, обозначаемые большими латинскими буквами A и B, тогда как в плазме крови могут содержаться другие белки — агглютинины, обозначаемые греческими буквами α и β. Во избежание склеивания эритроцитов — агглютинации — в крови одного и того же человека не должны встретиться одноименные агглютинины и агглютиногены (A и α, B и β). Всего было выделено четыре группы крови по системе AB0, обозначаемые римскими цифрами или буквами латинского алфавита: I (0), II (A), III (B), IV (AB) (см. «Экспресс-помощник», с. 447).

На знании этих особенностей основано переливание крови при кровопотерях и хирургических операциях. Лиц с I группой крови называют *универсальными донорами*, так как их кровь можно переливать лицам с любой группой крови. Людям со II группой крови можно переливать кровь лиц с I и II группами крови, а лицам с III — кровь I и III групп. Лиц с IV группой крови называют *универсальными реципиентами*, так как им можно переливать кровь любой группы.

В настоящее время при переливании используют кровь только группы реципиента, поскольку, кроме системы AB0 существуют и другие системы, например, система *резус*. Лица, мембраны эритроцитов которых несут специальный белок на поверхности, называются резус-положительными, а не имеющие его — резус-отрицательными. При переливании крови лиц с положительным резусом людям с отрицательным резус-фактором также происходит агглютинация. Данная система полу-

чила свое название от макак резус, у которых она впервые была найдена.

Резус-фактор имеет значение и для протекания беременности, поскольку, если мать резус-отрицательна, а плод — резус-положителен, то при родах его кровь может попасть в кровь матери, и ее организм начнет вырабатывать антитела (агглютинины) на антигены (агглютиногены) эритроцитов, что при следующей беременности может привести к серьезным осложнениям.

Иммунитетом называют способность организма защищать собственную целостность и биологическую индивидуальность. В основе иммунитета лежит невосприимчивость организма к инфекционным заболеваниям. Основы учения об иммунитете были разработаны И. И. Мечниковым и П. Эрлихом.

Сущность иммунных реакций заключается в том, что высокомолекулярные органические вещества, в частности белки и полисахариды, проникшие во внутреннюю среду организма, воспринимаются как чужеродные — *антигены*, и в ответ на их появление начинается выработка специальных веществ — антител, которые связывают и обезвреживают эти антигены, а также стимулируют процесс фагоцитоза.

Иммунитет может быть естественным и искусственным. *Естественный иммунитет* вырабатывается организмом без искусственных вмешательств, тогда как *искусственный* возникает только после введения в организм специальных лекарственных форм.

Естественный иммунитет может быть *врожденным* и *приобретенным*. Врожденный иммунитет

формируется благодаря проникновению антител через плаценту или при передаче их с молоком матери, тогда как приобретенный — только в результате перенесения различных заболеваний.

Различают и два вида искусственного иммунитета — *активный* и *пассивный*. Активный иммунитет возникает в результате введения ослабленных возбудителей заболеваний или выделяемых ими веществ в виде *вакцин*, например, против дифтерии. Пассивный же иммунитет обусловлен внесением готовых антител к возбудителям — *сывороток*. Активный иммунитет более стоек, чем пассивный, сохраняющийся 4—6 недель. Значительный вклад в разработку принципов создания вакцин и их введения в медицинскую практику внес великий французский биолог Л. Пастер (1822—1895).

Некоторые заболевания (ветряная оспа, краснуха, скарлатина и др.) человек переносит один раз в жизни, так как информация о возбудителях сохраняется специальными лимфоцитами — клетками иммунной памяти. Другими заболеваниями человек может заражаться многократно, так как возбудители этих заболеваний либо слишком быстро мутируют, как вирусы гриппа или иммунодефицита человека, либо иммунитет на них возникает временно.

Ряд антигенов, например пыльца растений, домашняя пыль, кошачья шерсть, способен вызывать особенную, ураганную форму иммунологического ответа, которая проявляется в повышении чувствительности организма к ним, — *аллергию*. Такие антигены называются *аллергенами*. Аллергия развивается, как правило, не при первом,

а при повторном контакте с аллергеном. При аллергии организм отвечает на аллерген чрезмерной реакцией, повреждающей его собственные клетки и ткани в результате отека, воспаления, спазма и расслабления гладкой мускулатуры, других нарушений. Биологическое значение аллергии не выяснено.

Наиболее опасной причиной снижения иммунитета является инфицирование ВИЧ.

Свертывание крови. Свертывание крови представляет собой сложный процесс образования сгустка крови — тромба, который предотвращает как кровопотерю, так и попадание в организм разнообразных веществ и возбудителей заболеваний.

Нарушение целостности сосудов обыкновенно сопровождается скоплением тромбоцитов около места повреждения и запуском каскада реакций свертывания крови, в которых принимают участие белки тромбопластин и протромбин, витамин К и кальций. Результатом этих событий является превращение растворимого белка фибриногена в растворимый фибрин, который формирует густую сеть. В этой сети запутываются как собственно тромбоциты, так и другие клетки крови. Окончательное формирование тромба связано с его уплотнением.

Лимфа. Лимфой называется желтоватая жидкость, заполняющая лимфатическую систему. По своему составу она подобна крови, однако в ее плазме содержится намного больше белков, а форменные элементы представлены в основном лейкоцитами. Лимфа начинает образовываться в лимфатических капиллярах, куда поступает избыток тканевой жидкости (сама тканевая жидкость в ос-

новном состоит из плазмы крови и лейкоцитов, выдавленных через стенки капилляров). В лимфатических узлах лимфа пополняется лимфоцитами, здесь же задерживаются возбудители различных заболеваний. Лимфа выполняет транспортную, питательную и защитную функции.

Строение и жизнедеятельность органов системы кровообращения

Кровообращением называют непрерывное движение крови по замкнутым полостям сердца и кровеносным сосудам, поскольку только в движении кровь может выполнять свои функции. Кровообращение обеспечивается сердечными сокращениями.

Система кровообращения человека, или кровеносная система, образована сердцем и сосудами, заполненными кровью. Она замкнутая, имеет два круга кровообращения (рис. 158).

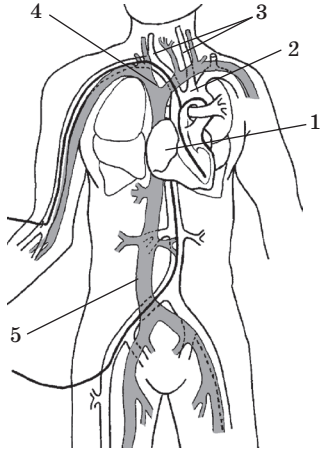


Рис. 158. Кровеносная система человека:
1 — сердце;
2 — аорта;
3 — сонные артерии;
4 — верхняя полая вена;
5 — нижняя полая вена

Строение сердца. Сердце — полый мышечный орган, который ритмически сокращается в течение всей жизни человека. Оно располагается в левой половине грудной полости, над диафрагмой. Сердце заключено в околосердечную соединительнотканную

сумку — *перикард*, который препятствует излишнему растяжению сердца и его переполнению кровью. Между перикардом и стенкой сердца находится специальная жидкость, снижающая трение при сокращении сердца.

Стенки самого сердца трехслойные — снаружи они покрыты соединительнотканным *эпикардом*, изнутри выстланы эпителием — *эндокардом*, а между ними находится наиболее мощный средний слой — *миокард*, образованный сердечной поперечнополосатой мышечной тканью (рис. 159).

Сердце у человека четырехкамерное, оно делится перегородкой на правую и левую половины. Левая половина заполнена *артериальной* (обогащенной кислородом) кровью, а правая — *венозной* (обедненной кислородом). Каждая половина делится на *предсердие* и *желудочек*, разграниченные клапанами. Между правым предсердием и правым желудочком расположен *трехстворчатый клапан*, а между левым предсердием и левым желудочком — *двухстворчатый* (*митральный*). Так как левый желудочек должен обеспечить движение крови по всем органам и испытывает бóльшие нагрузки, его мышечные стенки развиты сильнее, чем у правого (рис. 160).

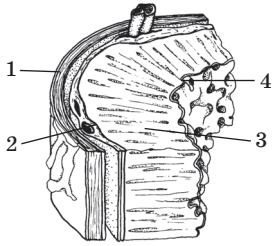


Рис. 159. Строение стенки сердца:
1 — перикард;
2 — эпикард;
3 — миокард;
4 — эндокард

Работа сердца. Сердце является своеобразным насосом кровеносной системы, который гонит кровь по сосудам. Цикл работы сердца состоит из чередующихся периодических сокращений (*систолы*)

и расслабления (*диастолы*). Наполненные кровью предсердия сокращаются (систола предсердий — 0,1 с), впрыскивая кровь в желудочки. Затем стенки предсердий расслабляются, и они начинают постепенно наполняться кровью. Приток крови в предсердия обусловлен разницей давлений в венах и предсердиях, сокращениями скелетных мышц, а также присасывающим действием грудной клетки и самих предсердий. Сокращение стенок желудочков (систола желудочков), которые выбрасывают кровь к внутренним органам, длится около 0,3 с. Возвращению крови в желудочки мешают створчатые клапаны, поэтому вся кровь из левого желудочка устремляется в аорту, а из правого — в легочный ствол. После выброса крови происходит общее расслабление стенок сердца (диастола — 0,4 с), после чего цикл повторяется. Кровь из сосудов не может вернуться в желудочки, поскольку в них имеются полулунные клапаны.

Благодаря свойствам миокарда — возбудимости, проводимости, сократимости и ритмичной автоматии — обеспечивается четкая работа сердца.

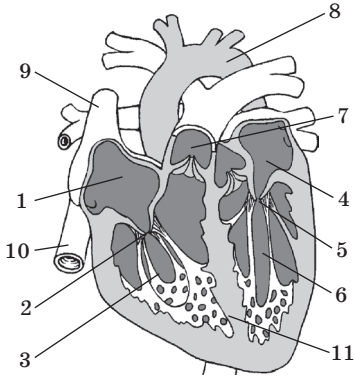


Рис. 160. Строение сердца:
1 — правое предсердие;
2 — трехстворчатый клапан;
3 — правый желудочек;
4 — левое предсердие;
5 — двухстворчатый (митральный) клапан;
6 — левый желудочек;
7 — аорта;
8 — легочная артерия;
9 — верхняя полая вена;
10 — нижняя полая вена;
11 — перегородка

Автоматией сердца называется его способность сокращаться автономно, без внешних побуждений. Возбуждение возникает в специальных участках сердечной мышцы — узлах. Ведущий узел, расположенный в стенке правого предсердия у места впадения полых вен, задает частоту сердечных сокращений, поэтому его называют водителем ритма. От него возбуждение распространяется по всему сердцу, а также по особым участкам мышечной ткани. Одновременность сокращения предсердий или желудочков достигается за счет клеточных контактов сердечной поперечнополосатой мышечной ткани.

Регуляция работы сердца. Несмотря на то что сердце функционирует постоянно, перекачивая около 10 т крови в сутки, оно всегда точно реагирует на потребности организма и подстраивается под них. Достигается это приспособление за счет сложной системы регуляции его деятельности: сердце находится под контролем не только нервной системы, но и отвечает на различные гуморальные влияния.

Центры регуляции сердечной деятельности находятся в спинном и продолговатом мозге, а также в гипоталамусе и коре больших полушарий переднего мозга. Контроль за деятельностью сердца осуществляется через посредство вегетативной нервной системы: ее симпатический отдел способствует увеличению частоты и силы сердечных сокращений, тогда как парасимпатический, наоборот, ослабляет их и урежает ритм, вплоть до остановки сердца.

Изменения работы сердца наблюдаются и под воздействием биологически активных веществ,

циркулирующих в крови. Например, гормоны адреналин и норадреналин увеличивают силу и частоту сердечных сокращений. Это имеет важное биологическое значение, поскольку сильные физические нагрузки и эмоциональное напряжение связаны с выбросом адреналина в кровь, которое влечет за собой усиление сердечной деятельности.

Строение и функции кровеносных сосудов. Кровеносные сосуды являются своеобразными транспортными магистралями для движения крови по всему организму. Различают три вида сосудов: артерии, вены и капилляры. *Артериями* называют сосуды, несущие кровь от сердца к органам. Крупнейшими артериями организма человека являются аорта, берущая начало от левого желудочка сердца, легочные и сонные артерии.

Вены — это сосуды, которые возвращают кровь от органов к сердцу. Самыми большими венами организма человека являются верхняя и нижняя полая вены, собирающие кровь от верхней и нижней половины тела, а также легочные вены.

Стенки крупных сосудов образованы эластичной соединительной тканью и эпителием, однако артерии отличаются от вен тем, что у них имеется дополнительный слой гладкой мышечной ткани, сокращение которой способствует продвижению крови по сосудам. В венах же есть клапаны, препятствующие движению крови в обратном направлении.

Капилляры — это мельчайшие сосуды, стенки которых образованы только эпителиальной тканью. Капилляры образуют сеть во внутренних органах, обеспечивая доставку крови в самые отдаленные точки организма.

Круги кровообращения. Кровеносная система человека имеет два круга кровообращения — *большой* и *малый* (рис. 161). Большой круг кровообращения связывает сердце со всеми органами, кроме легких. Он начинается в левом желудочке, кровь из которого выбрасывается в аорту, растекается по всему телу, а затем собирается в верхнюю и нижнюю полые вены, впадающие в правое предсердие. Артерии большого круга кровообращения несут артериальную кровь, а вены — венозную. Малый круг кровообращения связывает сердце только с легкими, он начинается в правом желудочке и заканчивается в левом предсердии. Легочные артерии малого круга кровообращения несут венозную кровь, а легочные вены — артериальную.

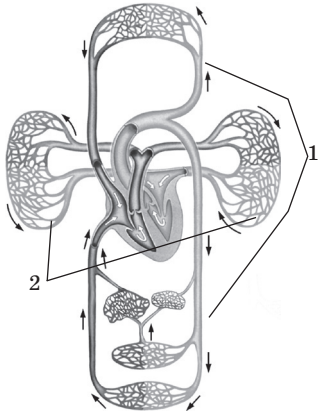


Рис. 161. Круги кровообращения:
1 — большой круг кровообращения;
2 — малый круг кровообращения

Лимфатическая система

Кроме кровеносной, в организме человека имеется еще одна сосудистая система — система лимфообращения, или лимфатическая (рис. 162). Она состоит из сосудов и лимфатических узлов, расположенных по ходу сосудов. К сосудам системы

лимфообращения относятся капилляры и протоки, наиболее крупный из которых — грудной.

В отличие от кровеносной системы, сосуды лимфатической не образуют замкнутого круга, так как наиболее крупные из них в конечном итоге впадают в вены большого круга кровообращения вблизи правого предсердия. Кроме того, сосуды лимфатической системы не проникают в головной и спинной мозг, глаза, среднее ухо, хрящи, эпителий кожи и т. д. Движение лимфы в них обеспечивается ритмическим сокращением стенок крупных лимфатических сосудов, наличием клапанов, присасывающим действием грудного лимфатического протока и грудной полости, а также сокращением скелетных мышц. В связи с отсутствием специализированного мышечного насоса наподобие сердца ток лимфы очень медленный.

Лимфатическая система выполняет защитную, дренажную и питательную функции.

Защитная функция лимфатической системы связана с образованием в ее узлах лимфоцитов, выработкой антител и задержкой возбудителей различных заболеваний. Удаление избытка жидкости, выходящей в ткани из кровяного русла через неплотно прилегающие друг к другу клетки эпителия капилляров, обеспечивается капиллярами лимфатической системы, которые впадают в более крупные

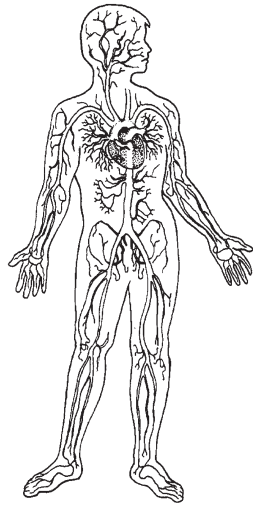


Рис. 162. Лимфатическая система человека

сосуды, и, в конечном итоге, в вены большого круга кровообращения. С лимфой переносится также часть липидов, всасывающихся в тонком кишечнике.

Выделительная система

Конечные продукты обмена веществ, особенно аммиак, образующийся в процессе распада белков, могут быть чрезвычайно токсичными для организма. В организме человека выделение осуществляется с помощью выделительной, пищеварительной, дыхательной системы, потовых и сальных желез кожи. Однако ведущую роль в этом процессе жизнедеятельности играет именно выделительная система.

В состав *выделительной системы* входят почки, мочеточники, мочевой пузырь и мочеиспускательный канал. Почки — это парные бобовидные органы, лежащие в поясничной области брюшной полости со спинной стороны. На внутренней вогнутой поверхности почки расположены ворота, через которые входят артерии и нервы и выходят вены, лимфатические сосуды и мочеточник (рис. 163). Функциями почек являются выведение конечных продуктов обмена веществ в процессе мочеобразова-

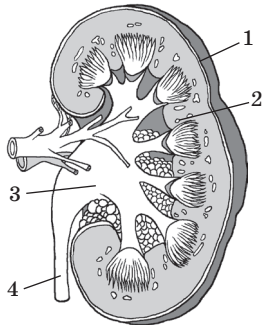


Рис. 163. Строение почки:
1 — корковое вещество;
2 — мозговое вещество;
3 — почечная лоханка;
4 — мочеточник

ния, поддержание водно-солевого баланса, регуляция давления крови и др.

На поперечном срезе почки выделяют корковое и мозговое вещество, а также почечные чашки и почечную лоханку. Функциональной единицей почек является *нефрон*. В каждой почке расположено до 1 млн нефронов. Нефрон состоит из капсулы Шумлянского—Боумена, охватывающей клубочек капилляров, и канальцев, соединенных петлей Генле. Капсулы нефронов и часть канальцев расположены в корковом веществе, тогда как петля Генле и остальные канальцы переходят в мозговое. Нефрон обильно снабжается кровью: приносящая артериола образует клубочек капилляров в капсуле, они собираются в выносящую артериолу, вновь распадающуюся на сеть капилляров, оплетающих канальцы и только затем собирающихся в вену (рис. 164).

Мочеобразование. Процесс образования мочи состоит из трех этапов: клубочковой фильтрации, канальцевой реабсорбции и секреции. В процессе *фильтрации* из крови в полость капсулы благодаря разности давлений просачиваются вода и большинство растворенных в ней низкомолекулярных веществ — минеральных солей, глюкозы, аминокислот, мочевины и др. Результатом фильтрации

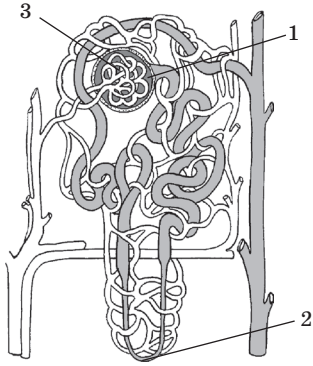


Рис. 164. Строение нефрона:
1 — капсула Шумлянского—Боумена;
2 — петля Генле;
3 — капиллярный клубочек

является образование слабоконцентрированной первичной мочи. Так как кровь многократно проходит через почки, в течение суток у человека образуется 150—180 л первичной мочи.

Конечные продукты обмена веществ, например мочевина и аммиак, а также ряд ионов и антибиотиков, могут дополнительно выделяться в мочу клетками стенок канальцев — этот процесс называется *секрецией*.

Сразу же после фильтрации начинается процесс *реабсорбции* — обратного всасывания воды и части растворенных в ней веществ, в частности глюкозы, аминокислот, витаминов и многих ионов. В результате реабсорбции образуется 1—1,5 л вторичной мочи в сутки, в которой не должно быть ни глюкозы, ни белков. В основном она содержит продукты распада азотистых соединений — мочевину и аммиак, токсичные для организма.

Мочеиспускание. По канальцам нефронов моча поступает в собирательные трубочки, а оттуда — в почечные чашки и почечную лоханку. Из почечной лоханки моча по мочеточникам собирается в мочевой пузырь — полый мышечный орган, вмещающий до 0,5 л жидкости. Из мочевого пузыря моча периодически удаляется по мочеиспускательному каналу.

Регуляция мочевыделения и мочеиспускания. Мочеиспускание является рефлекторным актом. Центр мочеиспускания находится в крестцовом отделе спинного мозга. Безусловными раздражителями выступают не давление мочи в мочевом пузыре, а растяжение его стенок и скорость наполнения.

Кожа

Кожа покрывает все тело снаружи, она выполняет защитную функцию, создавая барьер на пути возбудителей различных заболеваний и предохраняя внутренние органы от механических повреждений, сотрясения и обезвоживания. Кожа принимает активное участие в процессах обмена веществ, регуляции температуры тела, дыхании и выделении. В ней находится много рецепторов, которые чувствуют тепло и холод, боль и давление. Кожа связана со всеми органами и системами органов человека. Ее площадь составляет в среднем 1,5—2 $м^2$.

В коже выделяют три основных слоя — эпидермис, дерму, или собственно кожу, и подкожную жировую клетчатку (рис. 165). Лежащий на поверхности кожи многослойный плоский ороговевающий эпителий — *эпидермис* — снаружи покрыт мертвыми клетками, которые постоянно слущиваются и заменяются новыми благодаря делению клеток росткового слоя. В глубоких слоях эпидермиса под действием ультрафиолетового излучения синтезируются витамин D и пигмент меланин, придающий коже смуглый оттенок, называемый *за-*

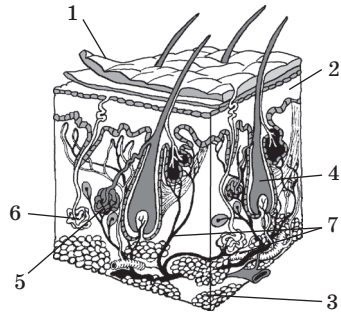


Рис. 165. Строение кожи:
1 — эпидермис;
2 — дерма;
3 — подкожная жировая клетчатка;
4 — волос;
5 — сальная железа;
6 — потовая железа;
7 — нервные окончания

гаром. Загар защищает организм от губительного действия ультрафиолетовых лучей.

Производными эпидермиса являются волосы, ногти и кожные железы. Нижняя часть корня называется *волосяной луковицей*. Ее клетки живые и постоянно делятся, что является основой роста волоса. Каждый волос лежит в волосяной сумке, в которую открывается проток сальной железы. Положение волоса в пространстве определяется мышцей, поднимающей волос, прикрепленной к волосяной сумке.

Ноготь представляет собой роговую пластинку, лежащую на ногтевом ложе, которая ограничена с трех сторон ногтевыми валиками. Рост ногтя обеспечивается делением клеток на участке эпителия, на котором лежит корень ногтя.

Эластичная *дерма* образована рыхлой и плотной неоформленной соединительными тканями. В ней располагаются кровеносные и лимфатические сосуды, рецепторы, корни волос, а также потовые и сальные железы.

Функцией *потовых желез* является потоотделение, выполняющее функции терморегуляции и выведения конечных продуктов обмена веществ, поскольку испарение воды с поверхности кожи снижает температуру тела, а в состав пота, помимо воды, входят также различные соли и мочевина.

Сальные железы выделяют на поверхность кожное сало, покрывающее кожу и волосы и имеющее водоотталкивающие и бактерицидные свойства. Кроме того, сало делает кожу эластичной. При несоблюдении правил личной гигиены пот вступает

в химическую реакцию с салом с образованием жирных кислот, имеющих характерный неприятный запах.

Кровеносные сосуды кожи обеспечивают нормальное протекание процессов жизнедеятельности кожи и терморегуляцию, в них также может задерживаться значительное количество крови. Температуру окружающей среды чувствуют рецепторы, лежащие в дерме. Если температура воздуха высокая, диаметр сосудов увеличивается и кожа отдает тепло. А если низкая, то диаметр сосудов уменьшается и кожа уменьшает теплоотдачу.

Дерму подстилает соединительнотканная *подкожная жировая клетчатка*, которая выполняет защитную и запасающую функции.

Размножение и развитие человека

Несмотря на впечатляющие успехи биотехнологии, единственным способом продолжения рода человеческого является половое размножение, которое обеспечивается половой системой. Тем не менее она не является жизненно необходимой для выживания отдельно взятого человека. *Половая система* контролирует развитие структурно-функциональных различий между мужчинами и женщинами, что, в конечном итоге, влияет на их поведение. Если большинство систем органов мужского и женского организмов не имеет существенных различий, то к половой системе это не относится.

Мужская половая система представлена наружными и внутренними половыми органами (рис. 166). К наружным мужским половым органам относятся *половой член*, или пенис, и *мошонка*, покрытые кожей.

Половой член имеет головку, тело и корень. Место перехода тела в головку называется шейкой, а складка кожи на головке полового члена — крайней плотью. На вершине полового члена открывается мочеиспускательный канал, совмещенный с семявыносящим протоком.

Внутри полового члена находятся два пещеристых тела и одно губчатое.

Внутренними мужскими половыми органами являются яички, семявыносящие пути и железы. *Яички* — это парный орган, расположенный в мошонке. В них в процессе сперматогенеза образуются сперматозоиды, дозревающие затем в придатках яичек. Для оплодотворения сперматозоиды должны пройти по семявыносящим путям, которые имеют несколько желез, выделяющих семенную жидкость, которая вместе со сперматозоидами образует сперму. Кроме того, яички вырабатывают и мужские половые гормоны — андрогены, в частности тестостерон.

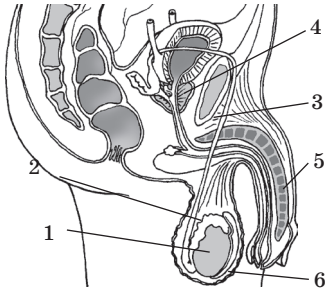


Рис. 166. Строение мужской половой системы:
1 — яичко;
2 — придаток яичка;
3 — семявыносящий проток;
4 — простата;
5 — половой член;
6 — мошонка

Женская половая система также состоит из наружных и внутренних половых органов (рис. 167). Наружные женские половые органы: *большие* и *малые срамные губы*, *клитор* и *преддверие влагалища*. Срамные губы являются складками кожи, закрывающими вход во *влагалище*.

Внутренние женские половые органы подразделяются на яичники, придатки яичников, маточные трубы, матку и влагалище. *Яичники* являются парными половыми железами, расположенными в брюшной полости. В них в процессе овогенеза образуются яйцеклетки, выходящие затем в *маточные трубы* и *матку* — полый мышечный орган, обеспечивающий развитие плода и рождение ребенка. Наружу матка открывается *влагалищем*. Помимо яйцеклеток, яичники также вырабатывают женские половые гормоны — эстрогены и прогестерон, регулирующие процесс овогенеза и протекание беременности.

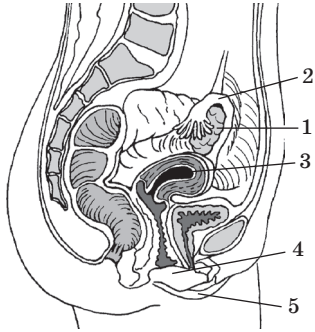


Рис. 167. Строение женской половой системы:
1 — яичник;
2 — маточная труба;
3 — матка;
4 — вагина;
5 — срамные губы

Онтогенез человека. Оплодотворение у человека происходит в маточных трубах, после чего дробящаяся зигота постепенно опускается в матку, где происходит прикрепление зародыша к ее стенке — *имплантация*. Через формирующуюся в месте контакта матки и зародыша *плаценту*, или детское место, эмбрион получает от

матери кислород и питательные вещества и выводит углекислый газ, а также ряд продуктов обмена веществ. Начиная с девятой недели развития, когда зародыш человека имеет в основном сформированные ткани и органы, он называется *плодом*. Плодный период характеризуется быстрым ростом и развитием зародыша. Общая продолжительность беременности у человека составляет около 266 суток.

Различные внешние воздействия, особенно курение, прием алкоголя, наркотиков и сильнодействующих лекарственных препаратов, а также болезни матери, могут привести к нарушению в развитии плода и срыву беременности или рождению ребенка с ограниченными возможностями.

Процесс родов стимулируется гормоном окситоцином, который вызывает сильные сокращения стенок матки и раскрытие ее шейки.

Постэмбриональное развитие человека делят на период новорожденности (1—10 дней), грудной период (10 дней—1 год), раннее (1—3 года), первое (4—7 лет) и второе (8—12 лет у мальчиков, 8—11 лет у девочек) детство, подростковый период (13—16 лет у мальчиков, 12—15 лет у девочек), юность (17—21 год у юношей, 16—20 лет у девушек), молодость (22—35 лет у мужчин, 21—35 лет у женщин), зрелость (36—60 лет у мужчин, 36—55 лет у женщин), пожилой возраст (61—74 года у мужчин, 56—74 года у женщин), старческий возраст (75—90 лет) и долгожительство (90 лет и выше).

В грудном возрасте ребенок должен получать материнское молоко, которое помимо питательных веществ содержит антитела, формирующие в тече-

ние первого года жизни его иммунитет. На первых этапах постэмбрионального развития особое значение имеют правильное питание и регулярные консультации врачей, поскольку, например, недостаток витамина D в пище может привести к рахиту, а нарушение функций гипофиза и щитовидной железы — к замедлению роста и развития.

В течение первых лет жизни и в подростковом возрасте, когда происходит половое созревание, быстро растут и развиваются опорно-двигательный аппарат, пищеварительная, дыхательная системы, мочеполовой аппарат. За первый год жизни ряд органов и систем достигает величины взрослого (глаз, внутреннее ухо, центральная нервная система). В подростковом периоде быстро растут и развиваются половые органы, развиваются вторичные половые признаки. В юношеском возрасте рост и развитие организма в основном завершаются. Строение тела в зрелом возрасте изменяется мало, а в пожилом и старческом прослеживаются характерные для этих возрастов перестройки, которые изучает наука геронтология. Следует особо подчеркнуть, что активный образ жизни, регулярные занятия физической культурой замедляют процесс старения.

Эндокринная система

Многоклеточные организмы нуждаются в сложной системе согласования всех процессов жизнедеятельности для поддержания постоянства внутренней среды и своевременного реагирования на внешние воздействия. В организме человека эту

функцию выполняют нервная, эндокринная и иммунная системы.

Гуморальная регуляция — это координация физиологических функций с помощью биологически активных веществ через жидкости организма: кровь, лимфу и тканевую жидкость.

Биологически активными веществами называются вещества, вырабатываемые клетками и тканями организма и оказывающие сильное стимулирующее влияние на функции организма. К ним относятся гормоны, витамины и ферменты. Витамины в большинстве своем поступают в организм человека извне, тогда как гормоны и ферменты вырабатываются специальными железами.

Железы организма человека делятся на железы внешней, внутренней и смешанной секреции. К *железам внешней секреции* относятся все железы, имеющие протоки и периодически выводящие свои продукты в полость органов или наружу. Это слюнные, слезные, потовые, сальные и другие железы. Они вырабатывают пищеварительные ферменты, слезную жидкость, кожное сало и т. д. *Железы внутренней секреции* продуцируют гормоны, поступающие во внутреннюю среду организма. *Железы смешанной секреции* выделяют свои продукты и в кровь, и в органы тела.

Гормоны — биологически активные вещества, образуемые специализированными железами и оказывающие действие в тканях-мишенях в микроскопических количествах.

Однако влияние гормонов распространяется не на весь организм, а только на конкретные клетки, ткани и органы. Это их свойство называется

специфичностью. Недостаток гормонов, связанный с гипофункцией соответствующей железы, равно как и избыток, обусловленный ее гиперфункцией, негативно влияют на жизнедеятельность организма, приводя к появлению патологических изменений.

Совокупность желез внутренней секреции называется *эндокринной системой* организма. Строение и функции желез внутренней секреции изучает наука *эндокринология*.

Эндокринную систему организма человека образуют гипоталамус, гипофиз, эпифиз, щитовидная железа, паращитовидные железы, поджелудочная железа, надпочечники и половые железы (яичники и яички) (рис. 168).

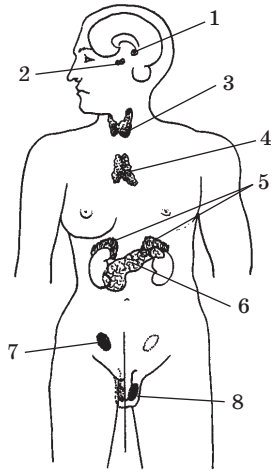


Рис. 168. Эндокринная система человека:
1 — эпифиз;
2 — гипофиз;
3 — щитовидная железа;
4 — тимус;
5 — надпочечники;
6 — поджелудочная железа;
7 — яичник;
8 — семенник

Гипоталамус — отдел промежуточного мозга, высший центр нейрогуморальной регуляции в организме человека. В нем вырабатываются вещества, влияющие на образование гормонов гипофиза, а также два гормона, только высвобождаемые гипофизом — вазопрессин (антидиуретический гормон) и окситоцин. Вазопрессин задерживает воду в организме в процессе мочеобразования. Снижение концентрации этого гормона приводит к бы-

строй потере воды и даже обезвоживанию. Окситоцин стимулирует родовую деятельность, вызывая изгнание плода из матки.

Гипофиз — небольшая железа, которая расположена у основания головного мозга и вырабатывает ряд гормонов, а также высвобождает вазопрессин и окситоцин, продуцируемые гипоталамусом. Гормоны гипофиза стимулируют деятельность других желез внутренней секреции. К ним относятся адренокортикотропный гормон (АКТГ), гонадотропные гормоны — лютеинизирующий (ЛГ) и фолликулостимулирующий (ФСГ), лактотропный гормон, или пролактин (ЛТГ), меланоцитстимулирующий (МСГ), соматотропный (СТГ) и тиреотропный гормоны (ТТГ).

АКТГ регулирует деятельность надпочечников и стимулирует выделение адреналина. Гонадотропные гормоны способствуют формированию половых желез и их нормальному функционированию. ЛТГ вызывает увеличение молочных желез и выделение молока у матери после рождения ребенка. МСГ усиливает пигментацию кожи человека. СТГ стимулирует рост организма. Недостаток СТГ приводит к *карликовости*, при этом пропорции тела и умственное развитие остаются нормальными. Избыток СТГ вызывает *гигантизм*, а если концентрация гормона повышается у взрослого человека, то увеличиваются размеры отдельных выступающих органов — это заболевание называется *акромегалией*. ТТГ контролирует деятельность щитовидной железы.

Эпифиз, или *шишковидная железа*, входящая в состав промежуточного мозга, участвует в регуляции биологических ритмов организма и проду-

цирует гормон *мелатонин*, участвующий в регуляции биоритмов.

Щитовидная железа, расположенная в средней области шеи, выделяет тиреоидные гормоны тироксин и трийодтиронин, а также кальцитонин. Тиреоидные гормоны регулируют обмен веществ в организме, способствуя нормальным процессам роста, развития и дифференцировки тканей. Кальцитонин снижает уровень кальция в крови за счет его отложения в костях.

Гиперфункция щитовидной железы приводит к повышению интенсивности обмена веществ, возбудимости нервной системы, бессонницы и развитию зоба. Комплекс этих симптомов получил название *базедовой болезни*. Гипофункция щитовидной железы, наоборот, вызывает замедление обмена веществ, которые накапливаются в коже, и повышает возбудимость нервной системы. Это заболевание называется *микседемой*. Недостаток тиреоидных гормонов в детстве и юности приводит к карликовости и *кретинизму*.

ЭТО ИНТЕРЕСНО

Щитовидная железа у человека состоит из двух долей, имеет форму бабочки и находится под щитовидным хрящом.

Паращитовидные железы расположены на поверхности щитовидной железы и выделяют паратгормон. Он способствует повышению уровня кальция в крови и поэтому является антагонистом кальцитонина. Гиперфункция паращитовидных желез может привести к нарушениям костной ткани и остеопорозу.

Надпочечники — парные эндокринные органы, лежащие вблизи верхней части почек. В надпочечниках выделяют корковый слой и мозговое

вещество. В корковом слое надпочечников образуются кортикостероиды, а в мозговом — адреналин и норадреналин. Кортикостероиды регулируют обмен органических и неорганических веществ в организме человека.

Их недостаток приводит к *Аддисоновой* (*бронзовой*) *болезни*, симптомами которой являются усиленная пигментация кожи, слабость, головокружение, нарушения пищеварения и др.

Адреналин выделяется надпочечниками во многих критических ситуациях. Он усиливает работу сердца, сужает кровеносные сосуды, тормозит пищеварение, повышает потребление кислорода, увеличивает концентрацию глюкозы в крови, кровоток в печени и т. д. Выброс адреналина в кровь связан с действием сильных раздражителей на организм человека и является неотъемлемым компонентом стрессовых реакций организма.

К железам *смешанной секреции* относятся поджелудочная и половые железы.

Поджелудочная железа, помимо пищеварительных ферментов, выделяет в кровоток гормоны инсулин и глюкагон, регулирующие углеводный обмен. *Инсулин* снижает концентрацию глюкозы в крови, способствуя ее поглощению печенью и другими органами, а *глюкагон*, наоборот, повышает концентрацию глюкозы в крови вследствие расщепления гликогена в печени. Недостаток инсулина, приводящий к повышению концентрации глюкозы в крови, вызывает развитие *сахарного диабета*. Избыток инсулина может привести к резкому падению концентрации глюкозы, потере сознания и судорогам. Отклонения в содержании глюкагона у человека наблюдаются крайне редко.

Половые железы вырабатывают одновременно половые продукты и половые гормоны (женские — *эстрогены*, мужские — *андрогены*), оказывая значительное влияние на процессы роста, развития и полового созревания, а также регулируя формирование вторичных половых признаков.

Нервная система

Нервная регуляция представляет собой совокупность показателей в организме человека, которые координируют работу отдельных органов и систем, осуществляют их взаимосвязь между собой и всего организма с окружающей средой за счет возникновения и передачи электрических волн — нервных импульсов.

Нервная система человека образована нервной тканью, структурной единицей которой является *нейрон*. Под действием достаточно сильных раздражителей, например вспышки света, в нейронах возникают и передаются нервные импульсы. По характеру деятельности нейроны делятся на чувствительные, вставочные и двигательные. *Чувствительные* нейроны проводят нервные импульсы от органов в центральную нервную систему, *двигательные* — из центральной нервной системы к органам, в то время как любые нейроны, лежащие между ними, называют *вставочными*.

Основной формой деятельности нервной системы является рефлекс.

Рефлекс — это реакция организма на любой раздражитель, которая осуществляется с помощью нервной системы.

Путь, по которому проходит нервный импульс при реализации рефлекса, называется *рефлекторной дугой*. Элементарная рефлекторная дуга образована двумя нейронами — чувствительным и двигательным. Примером такой рефлекторной дуги является дуга коленного рефлекса (рис. 169). Если нанести ниже колена легкий удар специальным молоточком, в ответ голень и стопа будут резко выброшены вперед. Большинство рефлекторных дуг в организме человека содержит все три типа нейронов: чувствительный, вставочный и двигательный.

Анатомически нервная система делится на *центральную* (ЦНС) и *периферическую* (ПНС). ЦНС, в свою очередь, подразделяется на головной и спинной мозг, а ПНС представляет собой совокупность нервов и нервных узлов, лежащих за пределами ЦНС. В зависимости от выполняемых функций выделяют *соматическую* и *автономную* (*вегетативную*) нервные системы. Соматическая нервная система, представляющая собой совокупность нервных центров и нервов, управляет работой мышц тела, а контроль над работой внутренних органов осуществляет вегетативная (автономная) нервная система.

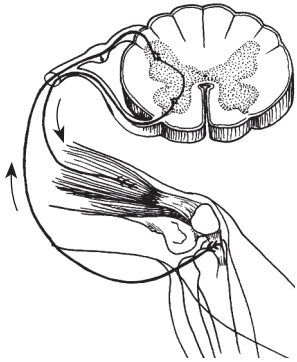


Рис. 169. Рефлекторная дуга коленного рефлекса

Спинной мозг располагается в позвоночном канале, образованном телами и дугами позвонков. Снаружи он покрыт тремя оболочка-

ми: твердой, паутинной и мягкой. Спинной мозг имеет вид длинного шнура с продольными бороздами.

В центре спинного мозга проходит спинномозговой канал, заполненный спинномозговой жидкостью. Спинномозговой канал окружен серым веществом, тогда как на периферии спинного мозга располагается белое вещество (рис. 170). Белое вещество образовано длинными отростками нейронов, образующими проводниковые пути. Серое вещество состоит из тел двигательных и вставочных нейронов. От спинного мозга отходит 31—33 пары спинномозговых нервов, иннервирующих органы тела. Спинномозговые нервы образуются в результате слияния передних (двигательных) и задних (чувствительных) корешков.

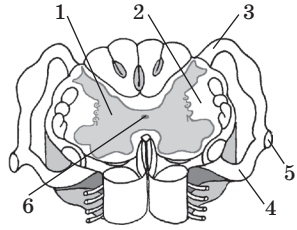


Рис. 170. Поперечный срез спинного мозга:
1 — серое вещество;
2 — белое вещество;
3 — задний корешок;
4 — передний корешок;
5 — спинномозговой нерв;
6 — спинномозговой канал

Спинной мозг выполняет проводниковую и рефлекторную функции. В нем находятся центры таких рефлексов, как коленный и мочеиспускательный.

Головной мозг человека находится в полости черепа и имеет три оболочки: твердую, паутинную и мягкую (рис. 171). Снаружи и изнутри, в желудочках, мозг омывается особой жидкостью — ликвором. Масса головного мозга в среднем составляет около 1300—1400 г.

Головной мозг анатомически делят на продолговатый мозг, мост, мозжечок, средний, промежуточный и передний мозг.

В *продолговатом мозге* находятся центры дыхания, сердцебиения, жевания, глотания, потоотделения, защитных рефлексов (кашель, чихание, рвота, слезоотделение и мигание), рефлексы поддержания позы и др. Помимо рефлекторной, он выполняет также и проводниковую функцию, поскольку через него проходят нервные тракты из спинного мозга в мост.

Мост, в свою очередь, соединяет средний и продолговатый мозг и в основном выполняет проводниковую функцию.

Мозжечок образован двумя полушариями, покрытыми корой. Он координирует движения организма, участвует в поддержании тонуса мышц и регуляции работы внутренних органов.

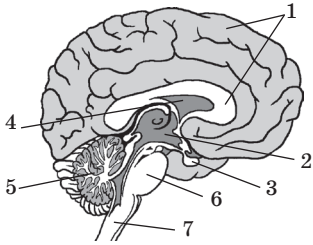


Рис. 171. Строение головного мозга:
1 — передний мозг;
2 — гипофиз;
3 — гипоталамус;
4 — таламус;
5 — мозжечок;
6 — мост;
7 — продолговатый мозг

В *среднем мозге* находятся центры первичного анализа информации, приходящей от органов чувств, а также проводниковые пути. В ответ на вспышку света или сильный звук человек поворачивает голову в направлении раздражителя — это безусловный ориентировочный рефлекс. Немаловажную роль средний мозг играет в регуляции тонуса скелетных мышц.

Промежуточный мозг образован таламусом (зрительными буграми), гипоталамусом (подбугорьем) и эпифизом. В таламусе находятся центры анализа зрительной информации, а также организации инстинктов, влечений и эмоций. Он интегрирует нервные пути, идущие в передний мозг и от него, а также осуществляет быстрый анализ и переключение на разные участки коры переднего мозга информации, поступающей от различных органов тела. В нижней части гипоталамус соединен с гипофизом — железой внутренней секреции. Функциями гипоталамуса являются регуляция обмена веществ, терморегуляция, деятельность пищеварительной, эндокринной и выделительной систем, системы кровообращения, голода и насыщения, жажды и ее утоления, страха, ярости, сна и бодрствования, а также эмоций.

В целом промежуточный мозг вместе со средним осуществляет сложные рефлекторные, или инстинктивные реакции. Некоторые его центры принимают участие в удержании внимания, не пропуская в кору больших полушарий ненужные в данный момент доцентровые сигналы. Спереди он переходит в большие полушария конечного мозга.

Продолговатый мозг, мост, средний и промежуточный мозг, а также мозжечок объединяют в *ствол мозга*. Он выполняет рефлекторную, проводниковую и ассоциативную функции, обеспечивая взаимодействие всех структур ЦНС. В толще серого вещества продолговатого мозга, моста, среднего и промежуточного мозга располагается *ретикулярная формация* — сеть нейронов, тесно связанная с остальными структурами ЦНС. Ее ос-

новной функцией является регуляция уровня активности коры больших полушарий, мозжечка, таламуса и спинного мозга.

Большие полушария переднего мозга занимают большую часть мозгового отдела черепа, что связано с развитием функций данного отдела мозга. Они покрыты корой из серого вещества, под которой находится подкорка — белое вещество. Серое вещество коры больших полушарий в основном состоит из тел нейронов и их коротких отростков, тогда как подкорка представляет собой совокупность их длинных отростков, среди которых встречаются небольшие скопления нейронов — подкорковые центры или ядра.

Кора больших полушарий образует многочисленные борозды и извилины, увеличивающие ее площадь поверхности. Наиболее крупные борозды делят кору на доли: лобную, височную, теменную и затылочную (рис. 172). Участки коры, отвечающие за выполнение определенных функций, называют *зонами*, или *центрами*. Четких границ между ними не существует, однако всего выделяют от 50 до 200 таких центров. Их можно разделить на три группы: сенсорные, двигательные и ассоциативные. Сенсорные зоны воспринимают сигналы от различных рецепторов, в двигательных зонах формируются сигналы к соответствующим органам, тогда как ассоциативные объединяют деятельность двух первых.

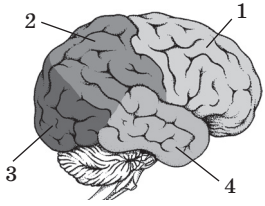


Рис. 172. Доли коры больших полушарий головного мозга:
1 — лобовая;
2 — теменная;
3 — затылочная;
4 — височная

В лобной доле расположены двигательные центры, в теменной — вкусовые и кожно-мышечного чувства, в височной — слуховые, в затылочной — зрительный.

С деятельностью ассоциативных зон наиболее сильно связаны высшие психические функции — мышление и сознание, речь и др.

В подкорке находятся центры древних рефлексов, например мигательного. Таким образом, передний мозг в основном выполняет рефлекторную функцию, а также является основой психической деятельности человека.

Раньше считалось, что у левшей доминирует правое полушарие, а у правшей — левой. Однако никаких анатомических различий между ними обнаружено не было. Впоследствии было установлено, что в левом полушарии располагаются центры речи, письма, восприятия цифр и нот, счета и др., тогда как в правом осуществляется восприятие пространственных образов. Таким образом, асимметрия полушарий носит функциональный характер. Вместе с тем между полушариями существуют настолько тесные связи, что ни обработка информации, ни большинство высших психических функций не могут осуществляться только одним из них.

Вегетативная нервная система, охватывающая отделы головного мозга и нервы с их разветвлениями, иннервирует в основном внутренние органы — сердце, сосуды, железы внутренней секреции и др. Она делится на два отдела — симпатический и парасимпатический.

Узлы *симпатического* отдела лежат в грудном и поясничном отделах спинного мозга, а также по

обе стороны от позвоночного столба. Его раздражение приводит к увеличению частоты и силы сердечных сокращений и дыхательных движений, сужению многих сосудов, расширению зрачков.

ЗАПОМНИ

Вегетативная нервная система играет ведущую роль в поддержании постоянства внутренней среды организма.

Узлы *парасимпатического* отдела находятся в продолговатом мозге, крестцовом отделе спинного мозга и во внутренних органах. Он отвечает за снижение частоты и силы сердечных сокращений и дыхательных движений, расширение сосудов, сужение зрачков, однако усиливает пищеварение и выделение.

Ряд внутренних органов иннервируются одновременно обоими отделами вегетативной нервной системы, однако ко многим кровеносным сосудам, селезенке, органам чувств и ЦНС подходят только симпатические или парасимпатические волокна.

Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности организма как основа его целостности, связи со средой

Нервная и эндокринная системы представляют собой неразрывное единство, обусловленное многочисленными прямыми и обратными связями. Получение сигналов от различных рецепторов является прерогативой именно нервной системы, которая и включается в работу первой. Ее импульсы мгновенно и точно воздействуют на органы, изменяя их

активность. Однако контроль со стороны нервной системы является недолговременным, она действует точечно, тогда как для «закрепления» эффекта и вовлечения всего организма в реакцию сигнал через гипоталамус поступает и к эндокринной системе. Гипоталамус и сам выделяет гормоны вазопрессин и окситоцин, оказывающие существенное действие на функции организма. В гипоталамусе выделяются нейрогормоны, регулирующие работу гипофиза, а тот, в свою очередь, воздействует на иные эндокринные железы с помощью собственных гормонов. Гормоны, выделяемые железами внутренней секреции, с одной стороны, действуют более продолжительное время, а с другой — подключают к работе и другие органы, а также согласовывают их деятельность.

Гормоны эндокринных желез необходимы и для нормального развития самой нервной системы, поскольку, например, при нехватке гормонов щитовидной железы в детском возрасте происходит недоразвитие головного мозга, ведущее к кретинизму.

Органы чувств, их роль в организме

Восприятие и анализ воздействий внешнего мира на организм и внутренних изменений, происходящих в нем, осуществляется чувствительными нервными аппаратами, которые получили название *сенсорных систем*, или *анализаторов*. Они играют немаловажную роль в функционировании организма в целом, поскольку без информации, получаемой с их помощью, невозможно приспо-

собление организма к происходящим изменениям и поддержание гомеостаза. Особенностью анализаторов человека является то, что с их помощью человек воспринимает не только предметы и явления материального мира, но и абстрактные понятия, выраженные в виде слов, математических символов, образов художественных произведений.

Анализаторы тесно связаны между собой, и при недостаточном развитии или повреждении одного из них происходит повышение остроты восприятия другими, то есть компенсация. Так, у слепых людей обычно повышается острота слуха и осязания, а у глухих развиваются зрение и тактильная чувствительность.

Значительный вклад в разработку учения об анализаторах внес великий русский физиолог И. П. Павлов. Он считал анализатор совокупностью рецепторов (*периферический отдел*), путей проведения возбуждения (*проводниковый отдел*), а также нейронов, анализирующих раздражитель в коре мозга (*центральный отдел анализатора*).

Рецептором называют специализированное образование, выполняющее функцию преобразования энергии внешнего раздражителя в нервные импульсы, несущие нервным центрам информацию о раздражителе.

Строение и функции органа зрения

Строение глаза. Зрительные рецепторы расположены в глазу, который имеет форму неправильного шара. Глаз удерживается в глазнице черепа

круговой мышцей и тремя парами глазничных мышц. Он защищен снаружи рядом вспомогательных органов — *бровями*, *веками* и *ресницами*. Внутренняя поверхность век и передние участки глаза покрыты слизистой оболочкой — *конъюнктивой*. При моргании поверхность глаза смачивается слезной жидкостью, содержащей ионы и бактерицидные вещества. Ее вырабатывают слезные железы, расположенные в наружной части глазницы над глазом. Избыток слезной жидкости стекает в носовую полость через слезный проток.

Глазное яблоко имеет три оболочки: белочную, сосудистую и сетчатку. Наружная соединительнотканная белочная оболочка, или *склера*, спереди переходит в прозрачную и выпуклую *роговицу* (роговую оболочку), имеющую наибольший коэффициент преломления. Под склерой расположена сосудистая оболочка, обеспечивающая кровоснабжение глаза. Передняя часть сосудистой оболочки образует *радужную оболочку глаза* и *ресничное тело*. Они состоят из мышечных клеток, сокращение и расслабление которых позволяет изменять диаметр *зрачка* в центре радужной оболочки, через которую в глаз попадает свет, и кривизну хрусталика соответственно (рис. 173).

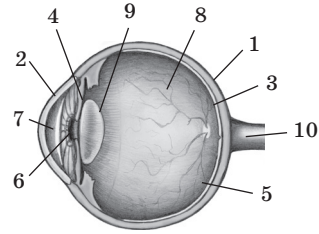


Рис. 173. Строение глаза:
1 — склера;
2 — роговица;
3 — сосудистая оболочка;
4 — радужная оболочка;
5 — сетчатка;
6 — зрачок;
7 — передняя камера;
8 — задняя камера;
9 — хрусталик;
10 — зрительный нерв

С внутренней стороны сосудистой оболочки находится слой клеток пигментного эпителия, к которому прилегает внутренняя оболочка глаза — *сетчатка* (сетчатая оболочка), обеспечивающая преобразование светового раздражителя в нервные импульсы.

Между роговицей и радужной оболочкой имеется наполненная водянистой влагой полость — *передняя камера глаза*. За радужной оболочкой находится прозрачное тело, имеющее форму двояковыпуклой линзы — *хрусталик*, прикрепленный к мышцам ресничного тела. Сокращение и расслабление ресничных мышц позволяет изменять кривизну хрусталика и фокусировать изображение рассматриваемого объекта на сетчатке. Таким образом, хрусталик играет ведущую роль в приспособлении глаза к наилучшему видению, или *аккомодации*. Расположенная за хрусталиком полость — *задняя камера глаза* — заполнена студенистым *стекловидным телом*. Водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело вместе с роговицей составляют оптическую систему глаза, которая формирует на сетчатке перевернутое уменьшенное изображение рассматриваемого объекта.

Внутренняя оболочка глаза — *сетчатка* — состоит из нескольких слоев клеток, первый из которых образован зрительными рецепторами и непосредственно прилегает к пигментным клеткам, а остальные — нейронами, отростки которых в конечном итоге собираются в зрительный нерв.

Зрительные рецепторы сетчатки называются палочками и колбочками. Палочки содержат зрительный пигмент родопсин и ответственны за вос-

приятие света. Большая часть колбочек сосредоточена напротив просвета зрачка — в так называемом *желтом пятне*, которое является местом наилучшего видения. Колбочки содержат зрительный пигмент йодопсин и отвечают за восприятие цвета. В сетчатке имеется участок, на котором не происходит восприятия световых раздражителей, так как он не содержит ни палочек, ни колбочек — *слепое пятно*. На этом участке из сетчатки выходит зрительный нерв, который соединяет глаз с головным мозгом.

Несмотря на то что мозговые центры органа зрения расположены и в среднем, и в промежуточном мозге, львиная доля информации анализируется в затылочной доле коры больших полушарий переднего мозга.

Функции органа зрения. Зрение дает нам возможность различать не только свет и цвет, но и размеры предметов, расстояние до них и скорость их движения. Большая часть этих характеристик воспринимается только с помощью двух глаз, формирующих единое видение — *бинокулярное зрение*.

Нарушения зрения. Самыми распространенными заболеваниями органа зрения являются близорукость, дальнозоркость, астигматизм, катаракта, глаукома, конъюнктивит и другие. При близорукости изображение фокусируется перед сетчаткой, и для его исправления человеку необходимо носить очки с двояковогнутыми линзами. Дальнозоркость сопряжена с фокусировкой изображения за сетчаткой, поэтому для ее коррекции используются двояковыпуклые линзы.

Строение и функции органа слуха

Периферический отдел слуховой сенсорной системы человека устроен очень сложно и состоит из наружного, среднего и внутреннего уха (рис. 174).

Наружное ухо образовано ушной раковиной и наружным слуховым проходом, который соединяет наружное ухо со средним.

Среднее ухо включает *барабанную перепонку* и три слуховых косточки: молоточек, наковальню и стремечко. Последнее граничит с перепонкой овального окна, входящей в состав внутреннего уха. Полость среднего уха (барабанная полость) также соединяется с носоглоткой *евстахиевой трубой*, что позволяет регулировать резкие перепады давления в ней, например, при взрыве.

Внутреннее ухо представляет собой костный лабиринт, состоящий из улитки и полукружных каналов. Функцию восприятия звуковых раздражителей выполняет только улитка, а полукружные каналы являются органом равновесия. Улитка у человека представляет собой костную полость, образующую спираль в два с половиной оборота. Две внутренние мембраны разделяют эту полость на три канала, заполненные жидкостью. Верхний и нижний каналы сообщаются на вершине улитки через особое

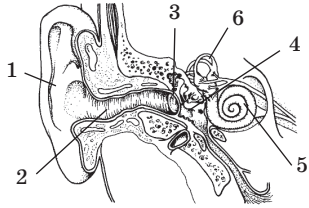


Рис. 174. Строение органа слуха:
1 — ушная раковина;
2 — внешний слуховой проход;
3 — барабанная перепонка;
4 — слуховые косточки;
5 — завиток;
6 — полукружные каналы

окошечко — геликотрему. В среднем канале расположен рецепторный аппарат улитки — *кортиев орган*, волосковые клетки которого воспринимают звуковые колебания.

Звуковые колебания, усиленные и сконцентрированные ушной раковиной и наружным слуховым проходом, вызывают колебания барабанной перепонки, которые, в свою очередь, передаются на перепонку овального окна посредством системы слуховых косточек. Колебания перепонки овального окна вызывают изменения давления жидкости в верхнем канале улитки и соответствующие колебания покровной мембраны, которая оказывает давление на волосковые клетки кортиева органа и вызывает их возбуждение. Гасятся колебания внутренней жидкости в верхнем канале благодаря переливанию части этой жидкости в нижний канал через геликотрему и сопротивлению перепонки круглого окна, граничащей со средним ухом.

Преобразованное в нервные импульсы возбуждение рецепторов по слуховому нерву поступает в головной мозг. Несмотря на то что центры слуха расположены в среднем и промежуточном мозге, ее анализ осуществляется в основном в височной доле коры больших полушарий переднего мозга.

Строение и функции органа равновесия

Орган равновесия, или вестибулярная сенсорная система, наряду со зрительной и соматосенсорной системами, играет ведущую роль в пространственной ориентации человека. Его периферический отдел состоит из трех полукружных каналов и двух

мешочков, находящихся в пирамиде височной кости рядом с улиткой. Полукружные каналы расположены в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, как и мешочки, они представляют собой замкнутые резервуары с жидкостью. В стенках каналов и мешочков имеются участки рецепторных клеток, волоски которых погружены в желеобразные структуры с кристалликами кальция — отолитовые мембраны и купола. Движение тела в пространстве вызывает смещение этих структур и возбуждение рецепторов, которое передается в продолговатый мозг, мозжечок, гипоталамус, лобную и теменную доли коры больших полушарий переднего мозга. Благодаря своевременному поступлению информации от мешочков головной мозг контролирует положение головы в пространстве, тогда как полукружные каналы ответственны за восприятие положения тела. Кроме того, вестибулярный аппарат позволяет различать даже самое незначительное ускорение или замедление прямолинейного движения и вращения.

Строение и функции органа осязания

Рецепторы осязания не образуют специального органа чувств. Они расположены в коже по всей поверхности тела и в языке. Осязательные рецепторы различают температуру (тепло и холод), давление, вибрацию и боль. Данная сенсорная система дает нам возможность различить размеры, форму, плотность объекта, фактуру его поверхности и ряд других характеристик. Возбуждение от этих рецепторов передается в теменную долю коры больших полушарий переднего мозга.

Строение и функции органа вкуса

Большинство веществ имеет специфический вкус, но можно выделить четыре основных — соленый, кислый, горький и сладкий, комбинации которых и создают неповторимые ощущения.

Рецепторы вкуса входят в состав вкусовых почек, или луковиц, расположенных на вкусовых сосочках на языке (рис. 175). Кончик языка лучше всего различает сладкий и соленый вкус, корень языка — горький, а кислый вкус в основном ощущается по бокам языка. Такое их расположение неслучайно, поскольку многие ядовитые вещества горькие на вкус, и их попадание на корень языка вызывает рвотный рефлекс.

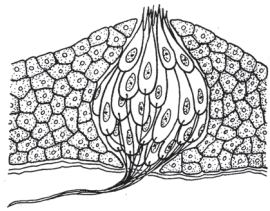


Рис. 175. Вкусовые сосочки языка

Во время еды, помимо рецепторов вкуса, работают рецепторы обоняния и осязания. Возбуждение от вкусовых рецепторов передается в продолговатый мозг и в кору больших полушарий переднего мозга сразу по нескольким нервам. Центральное представительство органа вкуса, по-видимому, расположено в височной доле коры.

Строение и функции органа обоняния

Рецепторы обоняния представляют собой ресничные клетки, погруженные в эпителий верхней части носовой полости. С их помощью мы ощущаем запахи. В настоящее время выделяют

шесть основных запахов: пряный, смолистый, гнилостный, цветочный, горелый и фруктовый. Все остальные запахи являются композициями этих основных шести.

Концентрация вещества в воздухе может быть очень маленькой, но человек ощущает его запах. Обонятельные нервы передают возбуждение от рецепторов в центры в коре больших полушарий переднего мозга, расположенные в височной доле.

Рецепторы вкуса и обоняния относят к хеморецепторам, так как их возбуждение происходит только в результате взаимодействия с молекулами растворенных или летучих веществ.

Высшая нервная деятельность

Рефлексом называют реакцию организма на любой раздражитель, осуществляемую с помощью нервной системы. Рефлексы делят на безусловные и условные.

Безусловные рефлексы — это относительно постоянные, стереотипные, генетически закрепленные (врожденные) реакции организма на внутренние и внешние раздражители, осуществляемые с участием ЦНС.

Одни безусловные рефлексы начинают проявляться сразу после рождения (сосательный), а другие — только с возрастом. Безусловные рефлексы составляют основу *низшей нервной деятельности*, которая обеспечивает приспособление организма к относительно постоянным, привычным для него условиям окружающей среды.

Неизменяемые и стабильные формы поведения, представляющие собой сложные комплексы связанных друг с другом безусловных рефлексов, для запуска которых необходимы особые пусковые механизмы, называются *инстинктами*. Более совершенное приспособление организма к условиям среды достигается в процессе расширения жизненного опыта, усвоения знаний, умений, навыков — *научения*. К научению относят подражание, привыкание, запечатление (импринтинг), выработку условных рефлексов, рассудочную деятельность, вероятностное прогнозирование и др.

ЗАПОМНИ

Приспособление животных и человека к изменяющимся условиям существования обеспечивается функционированием нервной системы.

Запечатление, или **импринтинг**, — это форма обучения, заключающаяся в том, что в начальный период жизни человек или животное способны запоминать некие ключевые сигналы, которые впоследствии запускают определенные формы поведения.

Например, так фиксируются образы родителей и постигаются основы языка, которым пользуются окружающие.

Условные рефлексы — это индивидуально приобретенные приспособительные реакции животных и человека.

Для выработки условных рефлексов необходимо многократное совпадение во времени двух раздражителей, один из которых — безусловный, вызывающий безусловно-рефлекторную реакцию, а другой — условный, как бы возвещающий о предстоящем безусловном раздражении, при этом

условный раздражитель должен предшествовать безусловному и быть слабее его, поскольку именно внешние стимулы являются наиболее важными для организма. Кроме того, кора головного мозга должна находиться в функционально активном состоянии, поскольку трудно представить себе выработку рефлекса у засыпающего человека. В выработке условного рефлекса важную роль играет подкрепление.

При совпадении во времени условного и безусловного раздражителей в коре головного мозга появляются очаги возбуждения. Один из них, который удовлетворяет некую существующую потребность организма, становится ведущим и его называют *доминантой*.

Доминанта — это преобладающая в данный момент система связанных между собой нервных центров, которая определяет ответ организма на любые внешние и внутренние воздействия. Она определяется *мотивацией* и служит основой многих сложных проявлений высшей нервной деятельности. Различают пищевую, половую, оборонительную и другие доминанты. Влияние доминантного центра распространяется на другие центры, которые выполняют подчиненную роль. Учение о доминантных центрах получило название *принципа доминанты*, оно было разработано выдающимся российским физиологом, академиком А. А. Ухтомским.

Мотивации — это активные состояния мозговых структур, которые направляют поведение животных и человека на удовлетворение возникающих потребностей.

Мотивации делят на три группы: биологические, свойственные человеку и животным; со-

циальные, свойственные человеку и частично животным, и духовные, свойственные только человеку и связанные с интеллектуальными потребностями.

Между очагами возбуждения образуется *временная связь* — совокупность нейрофизиологических, биохимических и ультраструктурных изменений в мозге, возникающих в процессе совместного действия условного и безусловного раздражителей. По-видимому, образование временной связи обусловлено «схождением» нервных путей от различных очагов возбуждения к одному нейрону.

Поскольку для обеспечения приспособления к меняющимся условиям среды необходима не только способность к выработке условных рефлексов, но и возможность устранения ненужных, существует также и механизм торможения.

Различают три вида торможения: безусловное (внешнее), условное (внутреннее) и запредельное.

Безусловное торможение происходит в том случае, если в дальнейшем с безусловным рефлексом совпадает во времени более сильное торможение, которое более актуально для организма в данное время.

Условное торможение происходит при отсутствии подкрепления условного раздражителя безусловным, в том числе если они не совпадают во времени, по силе и т. д.

Условное торможение способствует быстрой смене форм поведения сообразно меняющимся условиям среды и биологическим мотивациям.

Запредельное торможение обусловлено слишком сильными или длительными воздействиями условного раздражителя.

Динамический стереотип — это относительно устойчивый комплекс условных рефлексов, основанный на способности нервной системы человека точно воспроизводить последовательность действий в ответ на одинаковые раздражители.

Совокупность условных и безусловных рефлексов, а также психических функций, которые обеспечивают наиболее совершенное приспособление животных и человека к условиям окружающей среды и совершаются с участием высших отделов ЦНС (коры больших полушарий и подкорки), называется *высшей нервной деятельностью*. Высшая нервная деятельность обеспечивается двумя основными процессами — возбуждением и торможением. Во время действия условных и безусловных раздражителей эти процессы возникают в коре головного мозга, где они могут распространяться или концентрироваться на ограниченном участке. В основе приспособления лежит способность коры головного мозга быстро формировать новые рефлексы и тормозить старые в ответ на изменения в среде.

Совокупность условных и безусловных рефлексов, а также психических функций, которые обеспечивают наиболее совершенное приспособление животных и человека к условиям окружающей среды и совершаются с участием высших отделов ЦНС (коры больших полушарий и подкорки) называется *высшей нервной деятельностью*. Высшая нервная деятельность обеспечивается двумя основными процессами — возбуждением и торможением. Во время действия условных и безусловных раздражителей эти процессы возникают в коре головного мозга, где они могут распространяться

или концентрироваться на ограниченном участке. В основе приспособления лежит способность коры головного мозга быстро формировать новые рефлексы и тормозить старые в ответ на изменения в среде.

Типы высшей нервной деятельности. При исследовании поведения животных в естественных условиях и в процессе выработки условных рефлексов И. П. Павлов открыл четыре основных типа высшей нервной деятельности, которые в основном совпадают с классическими типами темперамента, выделенными еще Гиппократом: сангвинический, флегматический, холерический и меланхолический. В основу их классификации были положены сила, уравновешенность и подвижность возбуждения и торможения.

Сангвинический тип характеризуется достаточной силой и подвижностью нервных процессов (сильный, уравновешенный, подвижный).

Флегматический тип отличается достаточной силой нервных процессов на фоне относительно слабой их подвижности (сильный, уравновешенный, инертный).

Холерическому типу присуща значительная сила нервных процессов с явным преобладанием возбуждения над торможением (сильный, неуравновешенный, безудержный).

Меланхолический тип характеризуется низкой силой и подвижностью нервных процессов с преобладанием торможения над возбуждением (слабый, неуравновешенный, инертный).

Рассудочная деятельность — это способность прогнозировать возможного появления новых связей, а не базируется на ранее найденных. При этом

временные связи между явлениями устанавливаются спонтанно, путем догадки, которая затем проверяется на практике. Рассудочная деятельность является началом мышления.

Вероятностный характер внешней среды придает относительность любой адаптации и побуждает организм к *вероятностному прогнозированию*.

Сон — состояние сниженной двигательной активности, при котором в значительной степени отсутствует реакция на внешние раздражители. Сон периодически сменяет бодрствование, и, вероятно, является одним из проявлений биологических ритмов.

Переход человека в состояние сна объясняется необходимостью отдыха, накоплением во время бодрствования различных продуктов метаболизма, ограничением специальными структурами мозга притока сенсорной информации, включением нервных центров сна, общим торможением нервных процессов в мозге.

Ночной сон состоит обычно из 4—5 циклов продолжительностью 90—100 мин, в которых чередуются фазы медленного и быстрого сна. Медленный сон сопровождается снижением частоты сердечных сокращений, артериального давления, дыхания. Во время быстрого сна у человека наблюдаются быстрые движения глаз, усиливается сердцебиение и возрастает артериальное давление, частота дыхания, возникают сновидения.

Во сне происходит восстановление объемов кратковременной памяти, эмоционального равновесия, нарушенной системы психологических защит.

Сновидения видят все люди, однако далеко не все способны их воспроизвести после пробуждения

в силу различных особенностей. По-видимому, они являются механизмом своеобразной психологической защиты, попыткой решения конфликтов, возникающих в реальной действительности.

Сознание, память, эмоции, речь, мышление. *Сознанием* называют способность человека отделять себя от других людей и окружающего мира, реально оценивать окружающую действительность. Оно может быть выражено в словах, образах, художественных произведениях и др. Возникновение и развитие сознания исторически сопряжено с возникновением и развитием трудовой деятельности человека, однако оно не является врожденным, формируясь в процессе индивидуального развития.

Сознание включает в себя все формы психической деятельности человека: ощущения, восприятия, представления, мышление, внимание, эмоции и волю.

Ощущение — это процесс отражения в нашей ЦНС отдельных свойств предметов и явлений окружающего мира (цвет, форма, запах и т. д.), непосредственно воздействующей на наши органы чувств. Все ощущения суммируются в виде восприятия, однако лишь более обобщенное представление может нам позволить оперировать с предметом.

Восприятие — это процесс приема с помощью органов чувств и преобразования информации, обеспечивающий организму ориентировку в окружающем мире. Этот процесс познания определяется внешними причинами, при этом явления внешнего мира запечатлеваются в виде образов, ощущений и словесных символов. Ощущение и восприятие — это активные процессы, которым способствуют

мышление и речь, поскольку мышление позволяет нам познать предметы и явления окружающего мира, которые не могут быть восприняты непосредственно. Однако в отличие от представления, восприятие не дает целостной картины объекта или явления, оно все еще достаточно расчленено.

Представление — это образное отражение предмета или явления, проявляющееся в пространственно-временной связи его составляющих, признаков и свойств. Оно является более высокой формой конкретно-чувственного отражения действительности, формирующейся в процессе индивидуальной жизни организма, чем ощущение и восприятие.

Накопление индивидуального опыта в процессе жизни особи обеспечивается памятью. *Память* — это способность запоминать, хранить, узнавать и воспроизводить информацию, в основе которой лежит деятельность нервной системы. Противоположностью процесса запоминания является забывание.

Виды памяти классифицируют по форме проявления (образная, эмоциональная, логическая, словесно-логическая), по временной характеристике, или продолжительности (мгновенная, кратковременная, долговременная). Мгновенная, или сенсорная память необходима для обеспечения головного мозга возможностью выделения отдельных признаков и свойств сенсорного сигнала, распознавания образа. При достаточной силе воздействия она переходит в разряд кратковременной памяти, которая необходима для выполнения текущих поведенческих и мыслительных операций. Ей также свойственны процессы забывания, и лишь наибо-

лее важная информация перегружается в долговременную («вечную») память.

В основе механизмов памяти является передача нервных импульсов между нейронами коры головного мозга, а также накопление специфических пептидов, формирующих памятные следы.

Запоминание информации определяется многими составляющими, ведущую роль среди которых играют внимание, эмоции и объем памяти.

Вниманием называется сосредоточенность психической деятельности на определенном объекте, с помощью которого обеспечивается отбор необходимой информации. Различают непроизвольное и произвольное внимание. *Непроизвольное внимание* возникает помимо воли человека. Оно обычно сохраняется до тех пор, пока объект сохраняет новизну и утрачивается, как только он перестает вызывать интерес. В основе непроизвольного внимания лежит ориентировочный рефлекс. *Произвольное внимание* связано с волевым сосредоточением на определенном предмете или явлении, которое может не вызывать интереса, но являться необходимым.

Эмоции — это субъективные реакции животных и человека на внешние и внутренние раздражители, которые проявляются в виде неудовольствия или удовольствия, радости, страха, гнева и т. д. Эмоции тесно связаны с понятиями потребностей и мотивацией, поскольку именно с возможностью их удовлетворения или неудовлетворения связа-ны проявления эмоций. С физиологической точки зрения эмоции — это активные состояния структур мозга, регулирующих поведение таким образом, чтобы достичь максимально положитель-

ных результатов на фоне минимизации отрицательных.

Различают эмоциональные реакции, эмоциональные состояния и эмоциональные отношения. *Эмоциональные состояния*, или настроения — это субъективное переживание, отражающее отношение данного индивидуума к окружающему миру и к самому себе, например, радость, грусть, ярость и др. Изменения же в организме, которые сопровождают эмоциональные состояния, называются *эмоциональными реакциями*. К ним относятся улыбка, смех, плач. Эмоции же, порождаемые социальными или духовными потребностями, принято называть *эмоциональными отношениями*, или, проще, чувствами. От эмоциональных состояний их отличает направленность на конкретный объект. К ним относятся любовь, ненависть, ревность, зависть.

В отличие от животных, человек способен не только непосредственно воспринимать предметы и явления с помощью своих органов чувств, но и анализировать их свойства, находить общее и различия, а также создавать новые образы и синтезировать ситуации, т. е. ему свойственно мышление. *Мышление* — это процесс опосредованного, обобщенного отражения действительности с ее связями, отношениями, закономерностями. Оно позволяет не только связать какие-то объекты и явления на основе имеющегося опыта, но и спрогнозировать развитие ситуации. Отличительной особенностью человеческого мышления является его неразрывная связь с языком, речью.

Язык — это социальное средство хранения и передачи информации, которое отличается си-

стемностью организации единиц языка, хотя строение, словарный состав и др. характеристики языков могут различаться. Язык прежде всего реализуется и существует в речи.

Речь — один из видов коммуникативной деятельности человека, использование средств языка для общения с другими членами языкового коллектива. Она выполняет коммуникативную, регулирующую и программирующую функции. Коммуникативная функция речи заключается в осуществлении общения между людьми с помощью языка. Регулирующая функция речи реализуется в высших психических функциях — сознательных формах психической деятельности. Программирующая функция выражается в построении смысловых схем речевого высказывания, грамматических структур предложений, в переходе от замысла к внешнему развернутому высказыванию.

Воля — это сознательное управление эмоциями и действиями, осуществление задуманного.

Особенности психики человека. *Психика* — это специфическое свойство головного мозга, заключающееся в отражении предметов и явлений существующего вне нас и независимо от нас материального мира. Функция психического отражения заключается не только в адекватности картины объективной реальности, но и в регуляции поведения и деятельности человека.

Однако лишь человеку свойственен такой высший уровень психического отражения действительности, как сознание. Сознание является не просто функцией человеческого мозга, это, прежде всего, способность передавать другим членам общества некую информацию с помощью слов, мате-

матических символов и художественных образов, а также способность отделять себя от окружающего мира и признавать существование других индивидуумов.

Сознание не дано человеку от рождения, оно формируется в процессе индивидуального развития на основе биологических, социальных и идеальных потребностей. Однако далеко не все содержание психических явлений может быть передано другим членам общества, но тем не менее вызывает некие поведенческие реакции, относится к *неосознаваемым психическим процессам*. К ним относятся подсознание и сверхсознание. К *подсознанию* принадлежит все то, что ранее уже было осознано и вновь может стать осознаваемым в определенных условиях. Это различные автоматизированные навыки, глубоко усвоенные человеком нормы поведения, мотивационные конфликты, вытесненные из сферы сознания. Подсознание предохраняет человека от излишней информационной нагрузки и эмоционального стресса.

Сверхсознание, или интуиция, связано с процессами творчества, которые не контролируются сознанием. Сущность сверхсознания заключается в анализе имеющейся информации и синтезе новой, выдвижении гипотез, создании художественных образов и шедевров искусств.

Становление сознания неотделимо от речи, которая возникла в процессе трудовой деятельности человека как средство коммуникации между членами общества. Речь, с одной стороны, способствовала усовершенствованию такой сложной формы психики, как эмоции, а, с другой, обеспечила возникновение качественно новой фор-

мы выработки условных рефлексов — второй сигнальной системы.

В отличие от животных, у которых имеется только *первая сигнальная система*, оперирующая ощущениями и восприятием реально существующих предметов, и они способны вырабатывать рефлексы исключительно на эти сигналы, у человека сформировалась качественно отличная форма высшей нервной деятельности — *вторая сигнальная система* — система речевых сигналов (произносимых, видимых, слышимых).

Слово содержит не отражение конкретного предмета (сигнала первой сигнальной системы), а обобщенное, или абстрактное его представление, понятие. Процесс обобщения сигналов развивается в результате выработки условных рефлексов. Вторая сигнальная система породила абстрактное мышление, письмо, чтение, счет, и само сознание.

Понимание словесных раздражителей и осуществление словесных реакций связано с функцией доминирующего, речевого полушария.

Данные о лингвистических способностях правого полушария, а также сходство функций обоих полушарий на ранних этапах онтогенеза скорее свидетельствуют о том, что в процессе эволюции оба полушария, обладая первоначально сходными, симметричными функциями, постепенно специализировались, что и привело к появлению доминантного и подчиненного полушарий. *Функциональная асимметрия мозга* обнаружена не у всех людей. Примерно у одной трети она не выражена, т. е. полушария не имеют четкой функциональной специализации. Между специализированными полушариями существуют отношения взаимного

торможения. Это видно по усилению соответствующих функций у однополушарного человека по сравнению с нормальным.

Соотношение активности двух полушарий может быть очень различным. На этом основании И. П. Павловым были выделены специфически человеческие типы высшей нервной деятельности: художественный, мыслительный и средний.

Художественный тип характеризуется преобладанием первой сигнальной системы над второй. Люди художественного типа имеют преимущественно «правополушарное» образное мышление. Они охватывают действительность целиком, не разделяя ее на части.

Для *мыслительного типа* характерно преобладание второй сигнальной системы над первой, т. е. «левополушарного» абстрактного мышления.

Средний тип характеризуется уравновешенностью функционирования двух сигнальных систем. Большинство людей относится именно к этому типу.

Благодаря речи, памяти, мышлению и другим функциям психика человека отличается богатством и разнообразием.

Психика сложна и многообразна по своим проявлениям. К ней относят три крупные группы психических явлений: психические процессы, психические состояния и психические свойства личности.

Психический процесс — это динамическое изменения психического явления, имеющего начало и конец. Психические процессы связаны и составляют единый поток сознания, обеспечивающий адекватное отражение действительности

и осуществление различных видов деятельности. Эти процессы вызываются как внешними, так и внутренними раздражителями. Они обеспечивают формирование знаний и первичную регуляцию поведения и деятельности человека. Скорость и интенсивность протекания психических процессов зависят от особенностей внешних воздействий и состояний личности.

Все психические процессы подразделяются на *познавательные* (ощущения и восприятия, представления и память, мышление и воображение), *эмоциональные* (активные и пассивные переживания), *волевые* (решение, исполнение, волевое усилие).

Психическое состояние — это относительно устойчивый уровень психической деятельности, который проявляется в повышенной или пониженной активности личности. Психические состояния имеют рефлекторную природу: они возникают под влиянием обстановки, физиологических факторов, хода работы, времени и словесных воздействий.

К психическим состояниям относят общее психическое состояние, например внимание, эмоциональные состояния, или настроения, творческое состояние (вдохновение).

Однако высшими и устойчивыми регуляторами психической деятельности являются *психические свойства личности* — устойчивые образования, обеспечивающие определенный качественно-количественный уровень деятельности и поведения, типичный для данного человека.

Каждое психическое свойство формируется постепенно в процессе отражения и закрепляется в практике. Оно, следовательно, является резуль-

татом отражательной и практической деятельности.

Свойства личности многообразны, они классифицируются в соответствии с группировкой психических процессов, на основе которых они формируются: интеллектуальные свойства (наблюдательность, гибкость ума), волевые (решительность, настойчивость), эмоциональные (чуткость, нежность, страстность, аффективность и т. п.).

Психические свойства не существуют вместе, они синтезируются и образуют сложные структурные образования личности, к которым необходимо отнести: жизненную позицию личности (систему потребностей, интересов, убеждений, идеалов, определяющую избирательность и уровень активности человека), темперамент (систему природных свойств личности — подвижность, уравновешенность поведения и тонус активности, — характеризующую динамическую сторону поведения), способности (систему интеллектуально волевых и эмоциональных свойств, определяющую творческие возможности личности) и, наконец, *характер* как систему отношений и способов поведения.

ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ

1. Какие свойства присущи исключительно нервной ткани?
1) возбудимость и проводимость
2) возбудимость и сократимость
3) проводимость и автономность
4) дискретность и целостность

2. Какая ткань обеспечивает продвижение пищи по пищеварительному каналу и циркуляцию крови?
1) нервная
2) соединительная
3) мышечная
4) эпителиальная

3. Какой пищеварительный фермент требует наиболее низкого значения pH среды для осуществления своей функции?
1) амилаза
2) пепсин
3) липаза
4) трипсин

4. Поступление нервных импульсов в дыхательную систему необходимо для
1) повышения количества доступного кислорода в крови
2) координации работы дыхательных мышц
3) высвобождения ферментов, осуществляющих газообмен
4) обеспечения газообмена с кровью

5. Прекращение функционирования почек наиболее вероятно приведет к
1) увеличению объема желудка
2) усилению мочеобразования
3) снижению объема крови
4) возрастанию давления крови

6. Соединение между затылочной и теменной костями относится к
1) подвижным соединениям
2) полуподвижным соединениям
3) неподвижным соединениям
4) промежуточным соединениям

7. Наиболее интенсивный газообмен между кровью и тканями тела человека наблюдаются в
1) капиллярах
2) венах
3) артериях
4) нефронах почек

8. В состав промежуточного мозга входят. Выберите три верных ответа из шести. Оведите выбранные цифры
1) зрительные бугры
2) гипофиз
3) гипоталамус
4) мозолистое тело
5) червь
6) эпифиз

9. Функциями кожи являются. Выберите три верных ответа из шести. Оведите выбранные цифры
1) осуществление иммунных реакций
2) кроветворение
3) депонирование крови
4) восприятие внешних раздражителей
5) защита внутренних органов
6) секреция гормонов

ЭКСПРЕСС-ПОМОЩНИК

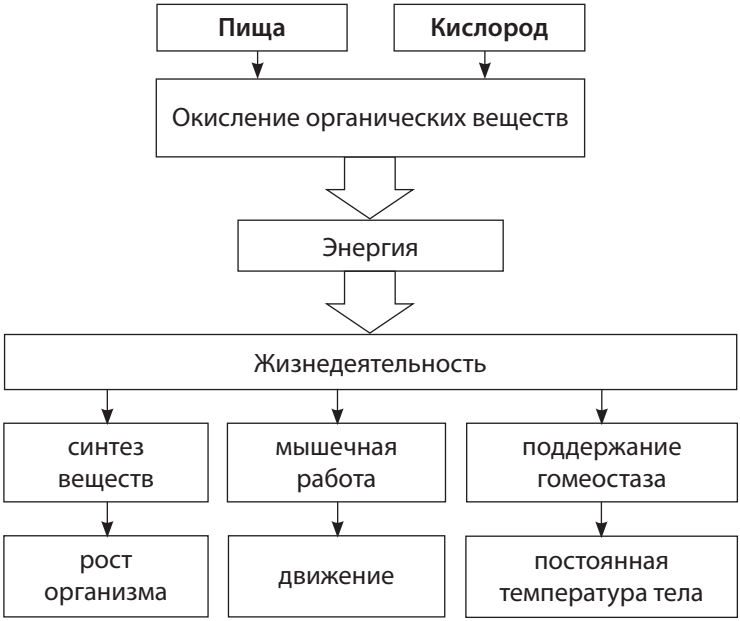
Ткани человека

Эпителиальная	
Расположение в организме	Покровы тела, слизистые оболочки внутренних органов, железы
Строение	Клетки плотно прилегают друг к другу, межклеточного вещества мало, клетки быстро размножаются
Функции	1. Защитная. 2. Дыхательная 3. Выделительная. 4. Секреторная
Соединительная	
Расположение в организме	Кровь, лимфа, хрящи, кость, жировая ткань, сухожилия, связки
Строение	Развито межклеточное вещество, которое может быть твердым (кость), волокнистым (хрящ), жидким (кровь, лимфа)
Функции	1. Питательная. 2. Опорная. 3. Транспортная 4. Защитная. 5. Пластическая. 6. Структурно-образовательная
Мышечная	
Расположение в организме	Стенки внутренних органов (гладкая мышечная ткань), скелетные мышцы (поперечнополосатая ткань), сердце
Строение	Мышечные волокна содержат актиновые и миозиновые нити, способные к сокращению. Виды: гладкая (медленные сокращения), поперечнополосатая скелетная и поперечнополосатая сердечная
Функции	1. Движение организма. 2. Сокращение стенок внутренних органов

Окончание таблицы

Нервная	
Расположение в организме	Головной и спинной мозг, нервы
Строение	Нейрон (нервная клетка) имеет тело с ядром, короткие отростки (принимающие сигналы) и длинный отросток (проводящий и передающий сигналы от тела клетки)
Функции	1. Интеграция всех частей организма. 2. Регуляция и координация деятельности. 3. Взаимодействие с окружающей средой. 4. Психическая (мышление, сознание, речь)

Значение питания и дыхания



Скелет человека

Отдел скелета	Часть скелета	Какие кости входят*	Функции и назначение	Сочленение
Скелет головы	Мозговая часть	Лобная (1), теменные (2), височная (2), затылочная (1), клиновидная (1), решетчатая (1)	Защитная	Неподвижное
	Лицевая часть	Носовая (2), скуловые (2), верхнечелюстная (1), нижнечелюстная (1)	Защитная; измельчение пищи; форма лица	Неподвижное (нижняя челюсть подвижная)
Скелет туловища	Позвоночник	Шейные (7), грудные (12), поясничные (5), крестцовые (5), копчиковые (4—5)	Несет на себе всю тяжесть туловища, верхних конечностей и головы	Полуподвижное
	Грудная клетка	12 пар ребер, полуподвижно прикрепленных к грудным позвонкам, грудина; верхние 10 пар ребер присоединены к грудине	Защитная	Полуподвижное

** В скобках указано количество костей*

Окончание таблицы

Отдел скелета	Часть скелета	Какие кости входят*	Функции и назначение	Сочленение
Скелет верхних конечностей	Плечевой пояс	Лопатки (2), ключицы (2)	Является опорой для собственно конечностей	Подвижное
	Конечности	Плечевая кость (2), локтевая кость (2), лучевая (2), кости запястья (16), кости пястья (10), фаланги пальцев	Движение, опора, труд	Подвижное
Скелет нижних конечностей	Тазовый пояс	Таз (3 пары сросшихся костей), крестец (1)	Защитная, опорная	Неподвижное
	Конечности	Бедренная (2), большеберцовая (2), малоберцовая (2), предплюсна (14), плюсна (10), фаланги пальцев	Опора и передвижение	Подвижное

** В скобках указано количество костей*

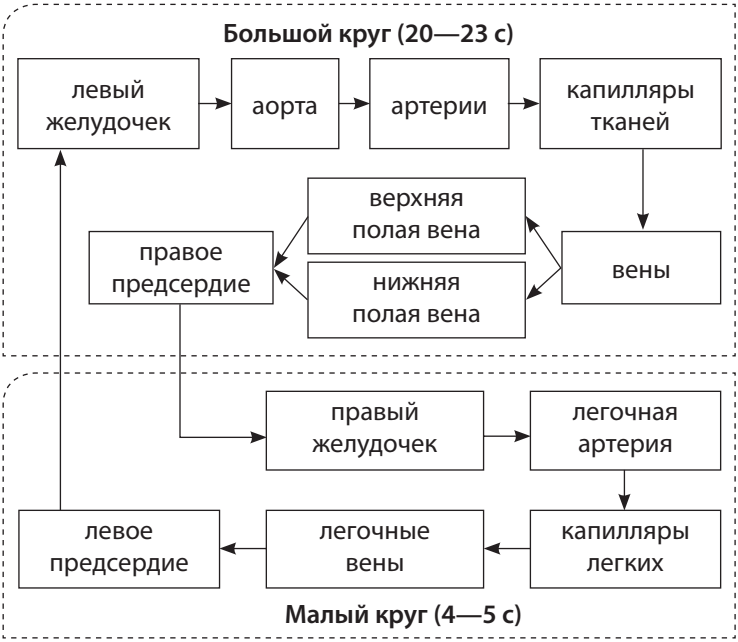
Сердечный цикл

Фаза	Время	Предсердия	Желудочки
1	0,1 с	Сокращаются	Расслабляются
2	0,3 с	Расслабляются	Сокращаются
3	0,4 с	Расслабляются	Расслабляются

Группы крови

Группа крови	Агглютиногены	Агглютинины
I (0)	—	α и β
II (A)	A	β
III (B)	B	α
IV (AB)	A и B	—

Движение крови по сосудам



Витамины

Витамин	Основные источники	Симптомы гиповитаминоза
А (ретинол)	Рыбий жир, яйца, сливочное масло, морковь, шпинат	Куриная слепота, сухость слизистых оболочек и роговицы, нарушения роста
В1 (тиамин)	Мука грубого помола (с отрубями), дрожжи, печень, почки, яйца	Бери-бери, нарушения функций сердечно-сосудистой и мышечной систем
В2 (рибофлавин)	Дрожжи, мука грубого помола, злаки, яйца, мясо, свежие овощи и фрукты	Поражение слизистых оболочек и глаз, воспаление слизистой языка, мышечная слабость и слабость сердечной мышцы, анемии
В3 (пантотеновая кислота)	Печень и растительные продукты (зернобобовые), дрожжи	Поражения кожи, нарушение работы пищеварительного тракта, снижение умственных способностей
В6 (пиридоксин)	Дрожжи, молоко, яйца, говядина	Нарушения обмена белков и липидов, заболевания кожи
В12 (цианокобаламин)	Печень, почки	Малокровие (нарушение кроветворения), анемия
С (аскорбиновая кислота)	Плоды черной смородины, шиповника, цитрусовые, картофель, капуста, шпинат и др. зеленые растения	Цинга
D (кальциферол)	Рыбий жир, печень, масло, яйца	Рахит
Е (токоферол)	Растительное масло	Мышечная дистрофия, нарушения роста и развития

ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

История эволюционных идей

Вопрос происхождения и развития органического мира волновал человечество с глубокой древности. Все теории происхождения и развития органического мира могут быть сведены к трем основным направлениям: креационизму, трансформизму и эволюционизму. *Креационизм* — это концепция постоянства видов, рассматривающая многообразие органического мира как результат его творения богом (К. Линней, Ж. Кювье).

Трансформизм — система представлений, признающая реальное существование видов и их историческое развитие, но не объясняющая закономерности последнего (Ж. Бюффон, И. В. Гете, Э. Дарвин, Э. Жоффруа Сент-Илер).

Эволюционизм (теория эволюции, эволюционное учение) — это система взглядов, объясняющая развитие природы по определенным законам (Ж.-Б. Ламарк, Ч. Дарвин, А. Н. Северцев, И. И. Шмальгаузен и др.).

Первая эволюционная теория — *ламаркизм* — была создана Ж.-Б. Ламарком. Движущей силой эволюции он считал внутреннее стремление организмов к совершенству (*закон градации*), однако приспособление к условиям внешней среды вынуждает их отклоняться от этой магистральной линии (*приспособление*). При этом органы, которые интенсивно используются животным в процес-

се жизнедеятельности, развиваются, а ненужные ему, наоборот, ослабляются и даже могут исчезать (*закон упражнения и неупражнения органов*). Приобретенные в процессе жизни признаки закрепляются и передаются потомкам *(закон наследственности*). Так, длинная шея жирафов, по Ламарку, является следствием того, что их предки старались доставать листья с верхушек деревьев. Недостатками ламаркизма были допущение вмешательства Творца в эволюцию, отрицание реального существования видов в природе, признание любого изменения под действием факторов среды приспособлением и констатация его наследуемости.

Доказательства эволюции живой природы

В разных областях биологии еще до Ч. Дарвина и после публикации его теории эволюции был получен целый ряд свидетельств, подкрепляющих ее. Эти свидетельства называют доказательствами эволюции. Наиболее часто приводят палеонтологические, биогеографические, сравнительно-эмбриологические, сравнительно-анатомические и сравнительно-биохимические доказательства эволюции, хотя нельзя сбрасывать со счетов и данные систематики, а также селекции растений и животных.

Палеонтологические доказательства основываются на изучении ископаемых остатков организмов. Наиболее значимыми среди них считаются *переходные формы* — организмы, у которых имеются признаки как эволюционно более древних,

так и более молодых групп организмов, например, кистеперые рыбы и археоптерикс. На основе изучения рядов ископаемых форм, последовательно связанных между собой в процессе эволюции не только общими, но и частными чертами строения, строят *филогенетические ряды*.

Биогеографические доказательства основываются на закономерностях распространения и распределения по поверхности нашей планеты видов и более крупных групп организмов, а также их сообществ в результате миграций и под действием условий окружающей среды. Виды растений и животных, обитающие на ограниченных участках территории или акватории, в целом называют *эндемичными*, или *эндемиками* (в Австралии таковых 100 %), тогда как отдельные виды или группы организмов, сохранившиеся от широко распространенных ранее флор и фаун — *реликтами* (гинкго, секвойя, тюльпанное дерево и кистеперая рыба латимерия).

Сравнительно-анатомические доказательства основаны на единстве происхождения разных групп живых организмов. К ним относят сходство клеток всех живых организмов, единый план строения позвоночных, гомологичные и аналогичные органы, рудименты, атавизмы.

Гомологичными органами, или *гомологами*, называют органы, имеющие сходное строение, занимающие одинаковое положение в организме и развивающиеся из одних и тех же зачатков у родственных организмов, но выполняющие разные функции (ласты тюленей и крылья птиц, усики гороха и колючки кактуса).

Аналогичные органы, или *аналоги*, — сходные у организмов различных групп структуры, выполняющие одинаковые функции (крылья насекомых и птиц, усики гороха и винограда). Они подтверждают тот факт, что окружающая среда накладывает значительный отпечаток на организм.

Не функционирующие длительное время органы, вероятнее всего, в процессе эволюции превращаются в *рудиментарные*, или *рудименты*, — недоразвитые по сравнению с предковыми формами структуры, которые потеряли основное значение (глаза у кротов, копчик и аппендикс у человека).

У отдельных особей, тем не менее, могут проявляться признаки, отсутствующие у данного вида, но имевшиеся у отдаленных предков — *атавизмы* (дополнительные пары молочных желез, хвост и волосяной покров на всем теле человека).

На основе *сравнительно-эмбриологических доказательств* были сформулированы закон зародышевого сходства (К. Бэр) и биогенетический закон (Э. Геккель): онтогенез является кратким повторением филогенеза, т. е. стадии, которые организм проходит в процессе своего индивидуального развития, повторяют историческое развитие той группы, к которой он принадлежит. А. Н. Северцов существенно ограничил область применения биогенетического закона повторением в онтогенезе исключительно особенностей зародышевых стадий развития предковых форм.

Сравнительно-биохимические доказательства основываются на биохимической гомологии первичной структуры белков и нуклеиновых кислот, особенно рРНК.

Эволюционная теория Ч. Дарвина

Предпосылками для создания эволюционной теории Ч. Дарвина стали труды английского экономиста Т. Мальтуса, работы геолога Ч. Лайеля, клеточная теория, успехи селекции в Англии, а также собственные наблюдения Ч. Дарвина.

Основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина:

1. В популяциях появляется гораздо больше потомков, нежели это необходимо для поддержания численности популяции.
2. Ограниченность жизненных ресурсы для любого вида живых организмов обусловливает *борьбу за существование*.
3. Следствием борьбы за существование является *естественный отбор*, который во многом аналогичен искусственному.
4. Материалом для эволюции служат различия организмов, которые возникают вследствие их изменчивости (неопределенной, или групповой, и определенной, или индивидуальной).
5. Естественный отбор приводит к расхождению признаков отдельных изолированных разновидностей — *дивергенции*, и, в конце концов, — к *образованию новых видов*.

Теория эволюции Ч. Дарвина вскрыла сам механизм эволюции, который зиждется на принципе естественного отбора, а также отрицала запрограммированность эволюции и постулировала ее непрерывность.

Синтетическая теория эволюции

Успехи генетики в первой половине XX века привели к формулировке в 20—50-е годы XX века новой системы эволюционных воззрений — *синтетической теории эволюции*. Значительный вклад в ее создание внесли русские ученые С. С. Четвериков, И. И. Шмальгаузен и А. Н. Северцов.

Основные положения синтетической теории эволюции:

1. Элементарным материалом эволюции является наследственная изменчивость (мутационная и комбинативная) у особей популяции.
2. Элементарной единицей эволюции является популяция, в которой происходят все эволюционные изменения.
3. Элементарное эволюционное явление — изменение генетической структуры популяции.
4. Элементарные факторы эволюции — дрейф генов, популяционные волны жизни, поток генов — имеют ненаправленный, случайный характер.
5. Единственным направленным фактором эволюции является естественный отбор, который носит творческий характер.
6. Эволюция имеет дивергентный характер, то есть один таксон может дать начало нескольким новым таксонам, тогда как каждый вид имеет только одного предка (вид, популяцию).
7. Эволюция имеет постепенный и продолжительный характер.

8. Различают два вида эволюционного процесса: микроэволюция и макроэволюция.
9. Любая систематическая группа может или процветать (биологический прогресс), или вымирать (биологический регресс).
10. Основными закономерностями эволюции являются ее необратимый характер, прогрессивное усложнение форм жизни и развитие приспособленности видов к среде обитания. Вместе с тем эволюция не имеет конечной цели, т. е. это процесс ненаправленный.

Факторы эволюции

События и процессы, которые приводят к изменению генофондов популяций, называются *элементарными факторами эволюции*. К ним относятся мутационный процесс, популяционные волны, дрейф генов и естественный отбор.

Мутационный процесс поддерживает генетическую неоднородность популяции за счет возникновения новых вариантов генов, изменения структуры хромосом и их числа.

К противоположному результату (обеднению генного состава) приводят зачастую колебания численности организмов в природных популяциях, которая у некоторых видов (насекомые, рыбы и др.) может изменяться в десятки и сотни раз — *популяционные волны*, или «*волны жизни*».

Поскольку восстановление численности популяции и освоение новой территории происходят за счет небольшого количества особей, которые име-

ют не весь набор аллелей, новая и исходная популяции будут иметь неодинаковую генетическую структуру. Изменение частоты генов в популяции под действием случайных факторов называется *дрейфом генов*, или *генетико-автоматическими процессами*.

До определенного момента между соседними популяциями происходит обмен аллелями в результате скрещивания между особями различных популяций — *поток генов*, который уменьшает расхождение между отдельными популяциями, однако с возникновением изоляции он прекращается.

Любые изменения генетической структуры популяции должны быть закреплены благодаря *изоляции*. Различают две формы изоляции: географическую и биологическую. *Географическая изоляция* возникает в результате разделения ареала физическими барьерами, а *биологическая изоляция* является следствием определенных расхождений организмов в пределах одного вида (экологических, сезонных, поведенческих, морфологических и генетических).

ЗАПОМНИ

Эволюционные изменения протекают не мгновенно, а требуют длительного времени.

Естественный отбор — это избирательное переживание и оставление потомства наиболее приспособленными особями и гибель наименее приспособленных. Естественный отбор в разных условиях среды будет носить неодинаковый характер. В настоящее время различают несколько форм естественного отбора: стабилизирующий, движущий и разрывающий.

Стабилизирующий отбор направлен на сохранение ранее сложившегося среднего признака или свойства и приводит к специализации вида (гинкго). *Движущий отбор* способствует сдвигу среднего значения признака или свойства и приводит к установлению новой средней нормы (распространение темноокрашенной формы бабочки березовой пяденицы вследствие промышленного загрязнения). *Дизруптивный*, или *разрывающий*, *отбор* сохраняет крайние варианты признака, отсекая средние (появление ранне- и позднецветущих форм погремка лугового).

Естественный отбор происходит на различных уровнях, в связи с чем различают также индивидуальный, групповой и половой отбор. *Индивидуальный отбор* устраняет менее приспособленные особи от участия в размножении, тогда как *групповой* направлен на сохранение признака, который полезен не отдельной особи, а группе в целом. В отличие от индивидуального, групповой отбор сокращает разнообразие форм в природе.

Половой отбор осуществляется внутри одного пола. Он способствует выработке признаков, которые обеспечивают успех в оставлении наибольшего потомства (половой диморфизм и др.).

Платой за отбор является возникновение *генетического груза*, то есть накопление в популяции мутаций, которые со временем могут стать преобладающими вследствие внезапной гибели большей части особей или миграции их небольшого количества.

Естественный отбор является результатом борьбы за существование на основе наследственной изменчивости. Под *борьбой за существование* по-

нимают всю совокупность взаимосвязей между особями своего и других видов, а также с абиотическими факторами окружающей среды. Различают три ее формы: *межвидовую* (конкуренция, хищничество, симбиоз), *внутривидовую* (конкуренция, каннибализм, взаимопомощь) и *борьбу с неблагоприятными условиями среды* (засухой, повышенной или пониженной температурой и т. д.). Наиболее острой из них является внутривидовая борьба.

Микроэволюция

Первично эволюционные преобразования происходят внутри вида на уровне популяций. В их основе лежат, прежде всего, мутационный процесс и естественный отбор, приводящие к изменению *генофонда* популяций и вида в целом, или даже к образованию новых видов. Совокупность этих элементарных эволюционных событий называется *микроэволюцией*. В результате микроэволюции формируется все многообразие видов живых организмов, когда-либо существовавших и ныне живущих на Земле.

ЗАПОМНИ

Генофонд — совокупность генов, которые имеются у особей данной популяции или вида, а также частоты определенных аллелей и генотипов.

Видообразование — это процесс формирования новых видов посредством разветвления «родословного древа» вида. Выделяют два основных способа видообразования: аллопатрическое и симпатрическое. *Аллопатрическое*, или *географическое*, *видообразование* является следствием простран-

ственного разделения популяций физическими преградами (горные хребты, моря и реки) вследствие их возникновения или расселения в новые места обитания. Например, Дарвиновы вьюрки на Галапагосских островах вблизи побережья Эквадора.

В основе *симпатрического*, или *биологического*, *видообразования* лежит какая-либо из форм репродуктивной изоляции, при этом новые виды возникают внутри ареала исходного вида. Новые виды возникают скачкообразно в результате геномных мутаций или отдаленной гибридизации. Это более быстрый процесс, чем аллопатрическое видообразование, а новые формы похожи на исходные предковые.

Вид, его критерии

Вид — это совокупность особей, сходных по строению и особенностям процессов жизнедеятельности, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой в природе и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый кариотип и занимают в природе определенную географическую область — *ареал*.

Признаки сходства особей одного вида называют *критериями вида*. Основными критериями вида являются *морфологический*, *физиологический*, *биохимический*, *экологический*, *географический*, *этологический* (поведенческий) и *генетический*. Так как ни один из критериев не является абсолютным, для правильного определения вида необходимо использовать совокупность критериев.

Макроэволюция

Совокупность эволюционных процессов, которые приводят к возникновению надвидовых таксонов (родов, семейств, отрядов, классов и т. п.), называется *макроэволюцией*. Макроэволюционные процессы как бы обобщают микроэволюционные изменения, происходящие в течение длительного времени, выявляя при этом основные тенденции, направления и закономерности эволюции органического мира, которые не поддаются наблюдению на более низком уровне. До сих пор никаких специфических механизмов макроэволюции не выявлено, поэтому считается, что она осуществляется только посредством микроэволюционных процессов.

К *свойствам макроэволюции* относят ее необратимость, чередование направлений, прогрессирующая специализация, неравномерность эволюции разных групп организмов и ускорение ее темпов.

Направления и пути эволюции

Основными направлениями эволюции являются биологический прогресс, биологический регресс и биологическая стабилизация.

Биологический прогресс связан с биологическим процветанием группы в целом и характеризует ее эволюционный успех. Его критериями являются увеличение численности особей данной группы, расширение ее ареала, а также появление и развитие в ее составе групп низшего ранга. Биоло-

гический прогресс может достигаться вследствие определенных морфофизиологических преобразований организмов: ароморфозов, идиоадаптаций и общей дегенерации.

Ароморфозом называют эволюционное преобразование строения и функций организма, которое повышает его уровень организации и открывает новые возможности для приспособления к разнообразным условиям существования, например, возникновение эукариотической клетки и многоклеточности, появление сердца у рыб и разделение его полной перегородкой у птиц и млекопитающих, формирование цветка у покрытосеменных.

Идиоадаптация — это мелкое морфофизиологическое приспособление к специальным условиям среды, полезное в борьбе за существование, но не изменяющее уровня организации. Эти изменения иллюстрируют покровительственная окраска у животных, разнообразие ротовых аппаратов у насекомых, колючки растений и др.

Упрощение организмов в процессе эволюции, которое сопровождается потерей определенных функций или органов называется *общей дегенерацией*, например, ленточные черви и паразитическое растение повилика.

Фаза биологического прогресса обыкновенно сменяется фазой *биологической стабилизации*, сущность которой заключается в сохранении признаков данного вида как наиболее благоприятных в данном микроокружении. В фазе биологической стабилизации находятся «живые ископаемые» латимерия, гингко и др.

Антиподом биологического прогресса является *биологический регресс* — эволюционный упадок

данной группы вследствие невозможности приспособиться к изменениям окружающей среды. Он проявляется в снижении численности популяций, сужении ареалов, уменьшении количества групп низшего ранга в составе высшего таксона. Группе организмов, которая пребывает в состоянии биологического регресса, угрожает вымирание.

Формы эволюционного процесса

Основными формами эволюционного процесса являются дивергенция, конвергенция и параллелизм. *Дивергенция* — расхождение признаков организмов в ходе эволюции различных групп организмов, возникших от общего предка. Такие группы характеризуются наличием *гомологичных органов*.

Конвергенция — независимое развитие сходных признаков у разных групп организмов, существующих в одинаковых условиях. Это сходство ограничивается органами, связанными с одними и теми же факторами среды — *аналогичными органами*.

Параллелизм — независимое развитие сходных признаков в эволюции близкородственных групп организмов, например, ласт у китообразных и ластоногих.

Результаты эволюции

К результатам эволюции относятся многообразие видов и приспособленность к среде обитания. Выделяют следующие *формы приспособленности*: покро-

вительственная окраска, маскировка, мимикрия, предупреждающая окраска, забота о потомстве, приспособление к экстремальным условиям среды.

Гипотезы возникновения жизни на Земле

Существуют две противоположные точки зрения на возникновение жизни на Земле: теории абиогенеза и биогенеза. *Теории абиогенеза* утверждают возможность происхождения живого из неживого. К ним относят *креационизм* (см. выше), *гипотезу самозарождения* Аристотеля (опровергнута опытами Ф. Реди, Л. Спалланцани и Л. Пастера) и *теорию биохимической эволюции* А. И. Опарина и Дж. Холдейна.

Согласно *теории биохимической эволюции* под действием электрических разрядов высокой мощности и при высокой температуре в первичной атмосфере Земли, состоявшей из аммиака, метана, углекислого газа и водяных паров, синтезировались простейшие органические соединения. Ее экспериментальное подтверждение было осуществлено С. Миллером и Г. Юри в 1953 году.

Затем органические молекулы объединялись в более крупные молекулы на мелководьях морей и океанов, и постепенно образовывали в воде устойчивые комплексы — *коацерваты*, или *коацеватные капли*, напоминающие капли жира в бульоне. Коацерваты с удачным сочетанием веществ, в особенности белков и нуклеиновых кислот, со временем приобрели способность воспроизводить себе подобных и осуществлять реакции обмена веществ.

Потребность в энергии первоначально удовлетворялась ими за счет бескислородного расщепления органических веществ из окружающей среды, т. е. гетеротрофного питания. Результатом химической эволюции явилось появление *протобионтов* — первичных живых организмов, от которых в результате биологической эволюции произошли все существующие в настоящее время виды.

Некоторые из поглощаемых органических веществ оказались способными аккумулировать энергию солнечного света, как, например, хлорофилл, что дало возможность ряду организмов перейти к автотрофному питанию. Выделение кислорода в атмосферу в процессе фотосинтеза привело к появлению более эффективного кислородного дыхания, возникновению озонового слоя и, в конечном итоге, выходу организмов на сушу.

Теории биогенеза отрицают самопроизвольное зарождение жизни. Основными из них являются гипотеза стационарного состояния, утверждающая, что жизнь существует вечно, и гипотеза панспермии, основывающаяся на заносе живых организмов из космоса.

Развитие жизни на Земле

Историю Земли принято делить на промежутки времени, границами которых являются крупные геологические события. Хронология развития жизни на Земле приведена в таблице (см. «Экспресс-помощник» с. 471—472).

Происхождение человека

Несмотря на множество сравнительно-анатомических, сравнительно-эмбриологических, биохимических, генетических, поведенческих, палеонтологических и таксономических доказательств животного происхождения человека, даже от наиболее высокоорганизованных обезьян человека отличают резкое увеличение объема головного мозга, прямохождение, широкий таз, выступающий подбородок, членораздельная речь и наличие в кариотипе 46 хромосом. Использование верхних конечностей для трудовой деятельности, изготовление орудий труда, абстрактное мышление, коллективная деятельность и развитие на основе больше социальных, чем биологических законов, являются видовыми признаками Человека разумного.

Становление человека как вида в процессе эволюции называется *антропогенезом*.

Различают две группы *факторов эволюции человека — биологические* (ныне ослабленные) и *социальные*. К социальным факторам эволюции следует отнести трудовую деятельность человека, абстрактное мышление и членораздельную речь.

Вероятнее всего, общим предком человека и человекообразных обезьян был *дриопитек* (ок. 24 млн лет назад), уже способный передвигаться и на двух ногах, а в руках переносить пищу.

От него, по-видимому, произошел род *ардипитек* (свыше 4 млн лет назад), передвигавшийся уже исключительно на двух ногах в саваннах Африки. Ардипитеки, по-видимому, дали начало роду австралопитеков.

Австралопитеки («южная обезьяна») появились около 4 млн лет назад. Они жили стадами, периодически использовали орудия труда, но не изготавливали их, поэтому были еще обезьянами. Прямохождение, увеличение объема головного мозга до 500 см^3 позволяет считать их звеном в эволюции человека. Одна из их ветвей дала начало *людям*.

Первые представители рода Человек (2,4—1,5 млн лет назад) принадлежали к виду *Человек умелый* и были невысокими существами (около 1,5 м) с объемом мозга приблизительно 670 см^3, которые использовали грубые галечные орудия. По-видимому, у них была хорошо развита мимика и имелась зачаточная речь.

Произошедший от него вид *Человек выпрямленный* (1,6—0,1 млн лет назад) сформировался в Африке и быстро расселился на огромных территориях в Азии и Европе. Представитель этого вида с острова Ява был в свое время описан как *питекантроп* («обезьяночеловек»), обнаруженный в Китае получил название *синантропа*, тогда как их европейским «коллегой» является *гейдельбергский человек*. Все эти формы также называют *архантропами* (древнейшими людьми). Человек выпрямленный отличался низким лбом, большими надбровными дугами и скошенным назад подбородком, объем его мозга составлял 900—1200 см^3. Туловище и конечности человека выпрямленного напоминали таковые у современного человека. Представители этого рода пользовались огнем и изготавливали обоюдоострые рубила.

Около 200 тыс. лет назад от гейдельбергского человека произошел *неандертальский человек*,

которого относят к *палеоантропам* (древним людям), жившим в Европе и Западной Азии в пределах 200—28 тыс. лет назад, в том числе в эпохи оледенений. Это были крепкие, физически достаточно сильные и выносливые люди с большим объемом мозга. Они имели членораздельную речь, изготовляли сложные орудия и одежду, хоронили своих умерших, и, возможно, имели даже некоторые зачатки искусства. Неандертальцы не были предками человека разумного.

Самая древняя находка представителя *Человека разумного* имеет возраст 195 тысяч лет и происходит из Африки. Скорее всего, предками современного человека являются не неандертальцы, а какая-то форма архантропов, например гейдельбергский человек. От других видов Человек разумный отличается более стройным телосложением, более высокой скоростью размножения, агрессивностью и, конечно, самым сложным и самым гибким поведением. Людей современного типа, которые населяли Европу 40 тыс. лет назад, называют *кроманьонцами* и относят к *неоантропам* (современным людям). Они биологически не отличались от современных людей: рост 170—180 см, объем мозга около 1600 см^3. У кроманьонцев появились искусство и религия, они одомашнили многие виды диких животных и окультурили многие виды растений. От кроманьонцев произошли современные люди.

Все современное человечество принадлежит к одному виду, внутри которого выделяют *три большие расы*: австрало-негроидную, или экваториальную, европеоидную, или евразийскую, и монголоидную, или азиатско-американскую. Каждая из

них делится на малые расы. Различия между расами сводятся к особенностям цвета кожи, волос, формы носа, губ и т. д. Эти различия возникли в процессе приспособления человеческих популяций к местным природным условиям.

Более конкретными, чем расы, группами людей являются *народности* — исторически сформированные языковые, территориальные, экономические и культурные общности людей. Население определенной страны образует ее *народ*. При взаимодействии многих народностей в составе какого-либо народа может возникнуть *нация*. Сейчас на Земле не существует «чистых» рас.

ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ

1. Примером идиоадаптации является
1) возникновение осевого скелета у хордовых
2) появление сердца у рыб
3) утрата пищеварительной системы ленточными червями
4) плоская форма тела камбалы

2. Аллопатрическое видообразование **не характеризуется**
1) появлением новых видов внутри старого
2) популяциями, размножающимися бесполым способом
3) географической связью
4) большими размерами популяций

3. Изменения строения организма, которые не влияют на общий уровень организации и являются приспособлением к конкретным условиям, — это
1) ароморфоз
2) идиоадаптация
3) дегенерация
4) мутация

4. К микроэволюционному процессу можно отнести
1) образование нового вида ос
2) формирование нового класса членистоногих
3) описание нового вида жуков-листоедов
4) вылет роя пчел

5. Каков будет диплоидный набор хромосом у нового вида растений, если он образовался в результате скрещивания двух видов с 14 и 28 хромосомами в диплоидном наборе соответственно?
1) 42 2) 28 3) 21 4) 14

6. Результатом эволюции является
1) необратимость и прогрессивное усложнение форм жизни
2) мутационная и комбинативная изменчивость
3) видовое разнообразие и приспособленность к среде обитания
4) дифференциальное переживание и размножение наиболее приспособленных

7. Что характерно для внутривидовой борьбы за существование? Выберите три верных ответа из шести. Оведите выбранные цифры
1) конкуренция за места гнездования
2) отношения (хищник — жертва)
3) ослабление паразитом
4) устойчивость к заболеваниям
5) каннибализм
6) замерзание в холодную зиму

8. Какие особенности строения скелета человека связаны с прямохождением? Выберите три верных ответа из шести. Оведите выбранные цифры
1) наличие грудной клетки
2) утолщение позвоночного столба книзу
3) появление изгибов позвоночника
4) наличие в плечевом поясе лопатки и ключицы
5) наличие свода стопы
6) наличие видоизменений эпителия на конечностях — ногтей

ЭКСПРЕСС-ПОМОЩНИК

Геохронологическая история Земли

Эра	Период	Начало, млн лет назад	Продолжительность, млн лет	Развитие жизни
Кайнозой	Четвертичный	2	2	Доминирование млекопитающих, расселение человека
	Третичный	65	63	Доминирование цветковых растений, появление копытных и приматов
Мезозой	Мел	135	70	Появление цветковых растений, млекопитающие и птицы становятся многочисленными
	Юра	195	60	Эпоха рептилий. Появление примитивных птиц. Широкое распространение голосеменных
	Триас	225	30	Обширные пустыни. Первые млекопитающие. Рептилии многочисленны. Распространение споровых
Палеозой	Пермь	280	55	Появление современных насекомых. Развитие рептилий. Вымирание ряда групп беспозвоночных. Распространение хвойных

Окончание таблицы

Эра	Период	Начало, млн лет назад	Продолжительность, млн лет	Развитие жизни
Палеозой	Карбон	345	65	Первые рептилии. Появление крылатых насекомых. Преобладают папоротники и хвощи
	Девон	395	50	Многочисленны рыбы. Первые амфибии. Возникновение споровых, голосеменных и грибов
	Силур	430	35	Обильны водоросли. Первые наземные растения. Челюстноротые рыбы и ракоскорпионы
	Ордовик	500	70	Обильны кораллы и трилобиты. Расцвет водорослей
	Кембрий	570	70	Многочисленные окаменелости рыб. Обычны морские ежи и трилобиты. Появление многоклеточных водорослей
Протерозой		2600	2000	Возникновение всех типов беспозвоночных и, возможно, первых хордовых. Распространены в основном одноклеточные зеленые водоросли
Архей		3500	1500	Первые следы жизни на Земле — бактерий и зеленых водорослей

Развитие представлений о виде

Ученый	Выводы
Карл Линней	Виды реально существуют. Виды не изменяются
Ж.-Б. Ламарк	В природе реально существуют лишь группы особей. Вид — категория не существующая, а введенная человеком. Любое изменение условий приводит к изменению особей
Ч. Дарвин	Виды реально существуют как совокупности особей. Виды изменяются вследствие эволюции

Борьба за существование

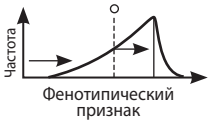
Формы борьбы	Определение	Причины	Значение
Внутривидовая	Состязание между особями одного вида	Избыточная численность.	Служит сохранению популяции и вида
Межвидовая	Между особями разных видов	Ограниченность природных ресурсов	Способствует использованию одного вида другим
Борьба с неблагоприятными условиями среды	Между организмами и средой	Неблагоприятные условия	Обостряет внутривидовую борьбу

Типы видообразования

Аллопатрическое (географическое)	Симпатрическое (биологическое)
Расширение ареала вида в результате расселения популяций особей в новые условия существования	Приспособление к разным экологическим условиям в пределах одного ареала
↓	↓
Расселение на новых территориях	Освоение новых эколо-гических ниш в пределах старого ареала
↓	↓
Географическая изоляция между популяциями	
↓	↓
Отбор в новых условиях среды	Отбор в новых условиях среды
↓	↓
Биологическая изоляция	Биологическая изоляция
↓	↓
Возникновение подвидов	Возникновение подвидов
↓	↓
Возникновение новых видов	Возникновение новых видов

Формы естественного отбора

Формы

Движущий	Стабилизирующий	Дизруптивный
при изменении условий среды	в постоянных условиях среды	в изменяющихся условиях среды
в пользу особей, имеющих отклонения от средней нормы	против особей с отклонениями от средней нормы признака	в пользу особей с крайними отклонениями от средней нормы признака
		

Основоположники синтетической теории эволюции

С. С. Четвериков (1880—1959)	— учение о популяции; — термин «волны жизни»
Д. Холдейн (1892—1964)	— генетико-математические методы; — оценки состояния популяции
С. Райт (1889—1982)	— дрейф генов — фактор эволюции
Ф. Г. Добржанский (1900—1981)	— изучение мутаций, мутагенеза; — термин «микроэволюция»
И. И. Шмальгаузен (1884—1963)	— формы отбора (движущий, стабилизирующий); — автор учения о движущих силах эволюции
А. М. Северцов (1866—1936)	— биологический прогресс, регресс; — пути эволюции (ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация); — современная сравнительная анатомия
Д. Симпсон (1902—1984)	— темп эволюции зависит от скорости смены условий среды
Е. Майр (1904)	— биологическая концепция вида

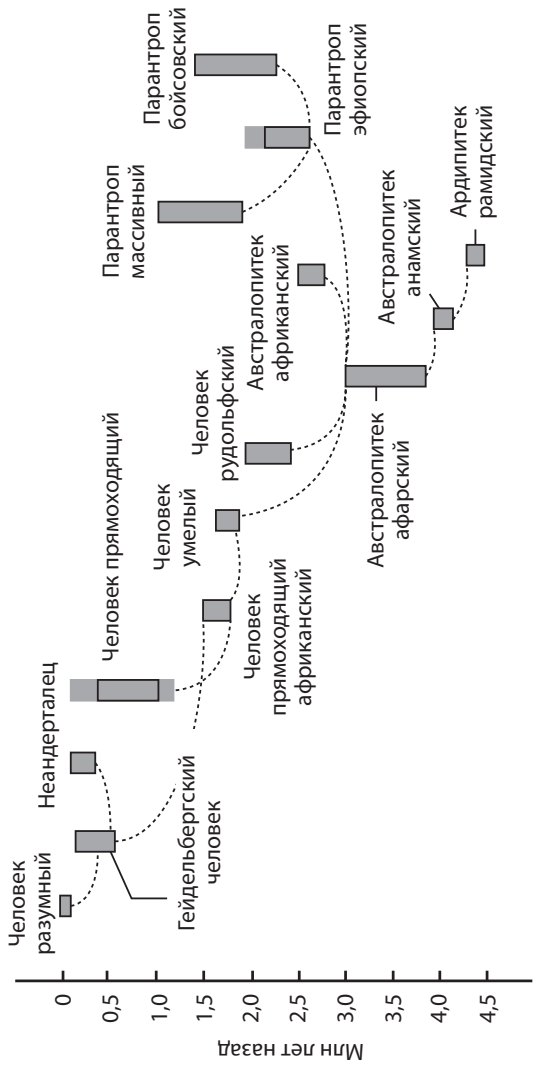
Основные ароморфозы в эволюции растений и животных

Ароморфозы у растений	Ароморфозы у животных
— появление автотрофного питания; — способность к фотосинтезу; — наличие специальных фотосинтетических пигментов; — появление органоидов — хроматофоров; — половое размножение; — появление клеточной стенки из 2-х слоев: целлюлозного и пектинового; — чередование полового и бесполого поколений; — появление тканей; — разделение тела на стебель и листообразные пластинки; — появление половых органов — мужских (антеридии), женских (архегонии); — появление корня; — возникновение оплодотворения, не связанного с водой; — возникновение семени; — появление шишки — видоизмененного побега;	— многоклеточность; — лучевая симметрия; — возникновение 2-х зародышевых листков (эктодермы, энтодермы); — нервная система — диффузного типа; — двусторонняя симметрия; — появление 3-го зародышевого листка — мезодермы; — появление первичной полости тела; — появление вторичной полости тела (целом); — дыхательная система — жабры; — возникновение нервной системы — окологлоточное нервное кольцо и нервные стволы; — расчленение тела на голову, грудь, брюшко; — возникновение наружного хитинового скелета; — членистые конечности у насекомых; — развитие с личиночной стадией (полное, неполное);

Окончание таблицы

Ароморфозы у растений	Ароморфозы у животных
— возникновение семенных зачатков; — возникновение хвои; — возникновение семенных зачатков, из которых после оплодотворения развиваются семена; — возникновение двойного оплодотворения цветковых растений; — появление цветка; — способность к опылению насекомыми	— возникновение хорды; — дыхательная система — легкие развиваются как парные выпячивания задней части глотки; — дифференциация мускулатуры; — парные конечности с шарнирными суставами; — передний мозг четко разделен на 2 полушария; — крупные, богатые белком и желтком яйца; — внутреннее оплодотворение; — постоянная температура тела птиц, млекопитающих; — появление перьев у птиц; — кровеносная система — полное разделение кругов кровообращения; — тело покрыто волосяным покровом; — появление желез в коже; — появление наружного уха; — появление коры головного мозга; — появление четырехкамерного сердца

Схема основных этапов эволюции человека



ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИСУЩИЕ ИМ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Организм не может быть полностью изолирован от окружающей среды, поскольку он связан с ней многочисленными прямыми и косвенными взаимодействиями, которые складываются исторически. В результате образуются надорганизменные системы, организацию и функционирование которых изучает наука *экология*.

Экологические факторы

Тела и явления природы, которые способны взаимодействовать с организмом, называются *экологическими факторами*. Их делят на три группы: абиотические, биотические и антропогенный.

К *абиотическим* факторам относят все физико-химические влияния, способные вызвать ответную реакцию организма: *климатические* (свет, температура, влажность), *химические* (химический состав среды обитания), *эдафические* (типы почв) и др.

Влияние *света*, являющегося основным источником энергии на Земле, можно рассматривать с точки зрения его интенсивности, длины волны и фотопериода. По отношению к интенсивности света растения делятся на светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые, а животные — на дневных и ночных. Длина волны света важна для протекания фотосинтеза, видения большинства животных, образования витамина D в коже у человека и т. д.

Фотопериодом называют продолжительность светового дня и ночи, имеющую суточную и сезонную ритмичность и определяющую сроки цветения многих растений и поведение животных вследствие заблаговременного ощущения ими грядущих перемен. Реакция организмов на суточный ритм освещения (соотношение продолжительности дня и ночи), которая выражается в изменении интенсивности процессов роста и развития, называется *фотопериодизмом*. Его примерами являются зацветание растений в определенные сроки и миграции птиц.

Приспособление к улавливанию света у растений выражается в наличии листовой мозаики, выносе листьев к солнцу и др.

Температура влияет на скорость протекания биохимических реакций, однако значительная часть организмов может существовать только в узком диапазоне температур, хотя споры бактерий могут выдерживать охлаждение до –200°С и нагревание до 100°С. Температуры, при которых происходят активные физиологические процессы, называются *эффективными*, их значения не выходят за пределы летальных температур. Суммы эффективных температур, или суммы тепла, являются величиной постоянной для каждого вида и определяют границы его распространения. По отношению к температуре все организмы делят на *теплолюбивые* и *холодолюбивые*.

У животных реакции на температуру окружающей среды направлены на регулирование теплоотдачи. Тех из них, которые не способны поддерживать постоянную температуру тела, относят к *пойкилотермным* (беспозвоночные, рыбы, зем-

новодные и пресмыкающиеся), а тех, у которых она постоянна, — к *гомойотермным* (птицы и млекопитающие).

Приспособлениями к действию температурного фактора являются, например, мех, перьевой покров, подкожная жировая клетчатка и т. д.

Вода является необходимым компонентом клетки, однако ее количество и доступность в определенных местах обитания может ограничивать распространение организмов. По степени потребности в воде растения делят на три основные экологические группы: *ксерофиты* (засушливые места обитания), *мезофиты* (умеренное увлажнение) и *гигрофиты* (влажные места обитания).

Приспособлениями к недостатку влаги у растений являются удлинение корней, утолщение кутикулы, опушение листьев, уменьшение размеров листьев, а иногда и их сбрасывание. Животные получают воду из пищи, запасают ее или впадают в спячку.

Химический состав среды играет в жизни организмов не меньшую роль, чем другие факторы. Так, по потребности в кислороде все организмы делятся на *аэробов* и *анаэробов*. Недостаток или избыток минеральных солей в почве провоцирует изменение их концентраций в организме, вследствие чего нарушаются процессы жизнедеятельности и, в конечном итоге, отклонение от нормы темпов роста и развития. Например, в условиях засоления почвы могут обитать только солерос, тамарикс, кораллы, ряд бактерий.

Биотическими факторами среды называют совокупность живых организмов, оказывающих влияние на другие живые существа своей жизне-

деятельностью. По направлению действия на организм все взаимоотношения между организмами в сообществах могут подразделяться на симбиоз, антибиоз и нейтрализм.

Под *симбиозом* понимают любой вид взаимоотношений, при котором оба партнера или хотя бы один из них извлекает пользу из них. Формами симбиоза являются мутуализм, комменсализм и даже паразитизм.

Мутуализм — это взаимовыгодное сожительство, при котором присутствие партнера является обязательным условием существования каждого из организмов, например, сожительство корней растений с клубеньковыми бактериями и грибами.

Комменсализм — это форма взаимоотношений, при которой один из партнеров извлекает из них пользу, а другому это безразлично (эпифитные и древесные растения).

Паразитизм — использование одним организмом другого в качестве места обитания и постоянного источника питания, причем организму-хозяину наносится очевидный ущерб (острица детская и человек).

К *антибиозу* относят любой вид взаимоотношений, при котором обе взаимодействующие популяции или хотя бы одна из них испытывает отрицательное влияние. Формами антибиоза являются хищничество, растительноядность, конкуренция, а также паразитизм.

Взаимоотношения между особями одного или разных видов, соревнующихся за одни и те же ресурсы, имеющиеся в ограниченном количестве, называют *конкуренцией*. Например, грибы могут ограничивать рост бактерий путем выделения ан-

тибиотиков, а животные — даже нападать друг на друга.

Нейтрализмом называется любой вид взаимоотношений, при котором совместно обитающие на одной территории организмы не оказывают друг на друга прямого влияния, как, например, дуб и лось в дубраве.

Антропогенным фактором называют совокупность последствий хозяйственной деятельности человека для окружающей среды. Она заключается в эксплуатации природных ресурсов, загрязнении воздуха, воды и почвы, истреблении значительного количества видов животных и растений, что ведет к необратимому нарушению экологического равновесия. В большинстве случаев антропогенный фактор не носит систематического характера, поэтому приспособление организмов к его действию существенно затруднено.

Экологические факторы действуют на организмы не по отдельности, а в тесном взаимодействии друг с другом. Избыточные значения одних из них могут снижать неблагоприятные последствия недостатка других, как, например, в случае неблагоприятного фотопериода он может быть заменен повышенными температурами. Это явление называется *компенсацией*. Отклонение интенсивности одного какого-либо фактора от оптимальной величины может также сузить пределы выносливости к другому фактору. Например, при уменьшении содержания азота в почве снижается засухоустойчивость злаков.

Существование ритмических колебаний ряда факторов окружающей среды вынуждает живые организмы согласовывать свою жизнедеятельность

с периодами действия наиболее благоприятных значений этих факторов. Такие периодически повторяющееся изменения интенсивности и направления биологических процессов называется *биологическими ритмами*.

Наиболее широко распространенными биологическими ритмами являются *суточные* (циркадные), *околосуточные* (циркадианные), *сезонные* и *годичные* (цирканнуальные).

Среды обитания организмов

Совокупность всех тел и явлений живой и неживой природы, окружающих организм, составляет его *среду обитания*. В настоящее время выделяют четыре основные среды обитания: водную, наземно-воздушную, почвенную и внутреннюю среду организма.

Основу *водной среды* составляет вода, ее обитателей называют гидробионтами. Их делят на четыре основные экологические группы: нейстон, нектон, планктон и бентос.

К *нейстону* относят организмы, обитающие в поверхностной пленке воды и использующие силу поверхностного натяжения (клопы-водомерки, личинки некоторых моллюсков, ряд простейших и водорослей).

Активно плавающие в толще воды животные, способные противостоять течениям и преодолевать большие расстояния, называют *нектоном*. Обычно они имеют обтекаемую форму тела и хорошо развитые органы движения (киты, ластоногие, рыбы, головоногие и др.).

Планктон — это совокупность организмов, населяющих толщу воды в различных водоемах и увлекаемых течениями (раковинные амебы, фораминиферы, солнечники, лучевики, мелкие ракообразные, кишечнополостные и водоросли).

Бентосные организмы приспособились к обитанию на дне водоемов и ведут прикрепленный образ жизни (крупные водоросли, кораллы, губки, крупные водоросли и др.), либо перемещаются по дну (моллюски, черви).

Наземно-воздушная среда отличается наибольшим разнообразием условий. Организмы, которые освоили эту среду обитания, называются *аэробионтами*.

Почвенная среда представляет собой поверхностный слой литосферы, преобразованный в результате взаимодействия многих факторов. Ее обитателей относят к *эдафобионтам*.

Внутренняя среда организмов характеризуется относительным постоянством условий. Освоившие ее организмы могут быть мутуалистами, комменсалами или паразитами.

Экологические законы

Закон оптимума: любой экологический фактор имеет определенные пределы положительного влияния на организмы.

Закон минимума (Ю. Либих, 1840): наибольшее влияние на рост и развитие организма оказывает тот фактор, которого в данный момент недостает в наибольшей степени.

Закон ограничивающего фактора: наиболее значим тот фактор, который больше всего отклоняется от оптимальных для организма значений; именно он определяет в данный момент выживание особей.

Экосистема (биогеоценоз)

Совокупность живых организмов, тесно взаимодействующих между собой и со средой их обитания, образует *экосистему*. Элементарной экосистемой является биогеоценоз, а глобальной — биосфера.

Биогеоценозом называют устойчивый, достаточно однородный комплекс взаимосвязанных видов живых организмов и компонентов окружающей среды, например, лиственный лес, заливной луг, озеро. Он характеризуется видовой и пространственной структурой, обеспечивающей не только его целостность, но и уникальность. Согласно учению о биогеоценозах, разработанному академиком В. Н. Сукачевым (1940), свойствами биогеоценоза являются целостность, открытость, саморегуляция и самовоспроизведение.

В биогеоценозе выделяют биотический и абиотический компоненты (биоценоз и биотоп соответственно). *Биоценозом*, или *сообществом*, называют совокупность популяций живых организмов, населяющих участок суши или водоема. Сам участок водоема или суши с одинаковыми условиями рельефа, климата и прочими абиотическими факторами, занятый определенным биоценозом — это *биотоп*.

Основные компоненты биогеоценоза

В составе биогеоценозов выделяют три основные группы организмов: продуценты, консументы и редуценты. *Продуценты* — это автотрофные организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических. Основными продуцентами большинства экосистем являются зеленые растения.

Консументы, являющиеся гетеротрофами, потребляют органические вещества, синтезированные автотрофами в процессе жизнедеятельности. К ним относят растительноядных и плотоядных животных, а также грибы. Консументы могут быть представлены целым рядом видов, каждый из которых является пищей для последующего. Так, растительноядные животные являются консументами 1-го порядка, насекомоядные птицы — консументами 2-го порядка и т. д.

Редуценты также гетеротрофы, но они разлагают органические вещества до неорганических. Редуцентами являются бактерии, грибы и некоторые животные, например дождевой червь.

Благодаря существованию этих трех групп организмов в биогеоценозах осуществляется круговорот веществ, однако большая часть улавливаемой продуцентами энергии рассеивается.

Цепи и сети питания

Каждый организм в биогеоценозе связан с остальными положительными либо отрицательными взаимодействиями. Ряд взаимосвязанных видов, каждый предыдущий из которых служит пищей

последующему, носит название *цепи питания*, или *пищевой* (*трофической*) цепи. Пищевая цепь обеспечивает перенос энергии, заключенной в органических веществах, от продуцентов через ряд организмов путем поедания одних видов другими.

При переносе энергии значительная ее часть (80—90 %) рассеивается в виде тепла, поэтому большинство пищевых цепей на суше содержат 3—5 звеньев, в водных экосистемах они обычно длиннее.

В экосистемах различают два типа цепей питания: цепи выедания и цепи разложения. Пищевые цепи, которые начинаются с продуцентов (растений) и идут к консументам различных порядков (растительноядным животным, а затем — к хищникам) называются *цепями выедания*, или *пастбищными цепями*. Например:

злаки → кузнечики → насекомоядные птицы →
→ змеи → ежи.

В отличие от них, в *цепях разложения*, или *детритных цепях* источником органического вещества являются растительные и животные остатки, экскременты животных, которыми питаются мелкие животные (ракообразные, моллюски), а также микроорганизмы. Например:

листовой опад → дождевой червь →
→ черный дрозд → ястреб-перепелятник.

На суше и на континентальном шельфе большая часть растительной биомассы попадает в цепи разложения, тогда как в открытом море преобладают цепи выедания.

Пищевые цепи биогеоценоза сложно переплетаются вследствие того, что одни и те же организмы могут питаться несколькими видами других, служить пищей нескольким видам, а также входить

одновременно в цепи выедания и цепи разложения. Поэтому в реальных биогеоценозах комплексы взаимосвязанных трофических цепей образуют *пищевые сети*.

Экологические пирамиды

Группы организмов, объединенных общим типом питания, относят к одному *трофическому уровню*. Соотношение между трофическими уровнями в экосистеме изображают графически — в виде *экологической пирамиды*.

Существует три вида экологических пирамид: пирамида чисел, пирамида биомассы и пирамида энергии. *Пирамида чисел* отражает численность особей на каждом трофическом уровне, в основу *пирамиды биомассы* положено количество сухого органического вещества, а *пирамида энергии* базируется на количестве энергии, заключенной в особях на каждом трофическом уровне. Пирамиды чисел и биомассы могут быть перевернутыми, тогда как пирамида энергии всегда суживается кверху.

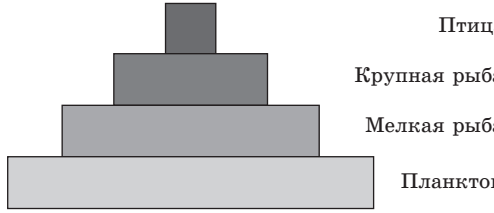


Рис. 176. Пирамида биомассы

Экологические пирамиды предоставляют наглядную основу для сопоставления разных экоси-

стем, сезонных состояний одной и той же экосистемы, а также разных фаз изменения экосистемы.

Основой для составления пирамиды энергии является *продуктивность экосистемы* — количество энергии, производимое ею за определенный период времени. При этом используют *правило экологической пирамиды*, или *правило* 10 %, согласно которому биомасса, энергия и численность особей прогрессивно убывает в каждом последующем звене пищевой цепи (средний коэффициент перехода — 10 %).

Разнообразие экосистем (биогеоценозов)

Кажущееся бесконечным многообразие биогеоценозов нашей планеты, опираясь на немногие экологические критерии, можно свести к нескольким основным типам, приуроченным к определенным ландшафтно-климатическим зонам. Эти определенные совокупности различных групп организмов и среды их обитания называются *биомами*. Особенности среды обитания позволяют отнести биомы к *наземным* (*сухопутным*) или *водным*.

Основными наземными экосистемами являются пустынные (тропические, умеренных широт и холодные), травянистые (саванны, прерии, степи и тундры) и лесные биогеоценозы (влажные тропические леса, листопадные леса умеренных широт и тайгу). Наиболее продуктивными из них являются тропические влажные леса, а наименее — пустыни.

К водным экосистемам относят океаны, моря, реки, ручьи, озера и болота. Самую высокую про-

дуктивность из них имеют болота, а самую низкую — открытый океан.

Саморазвитие и смена экосистем

Изменения биогеоценозов могут быть направлены как на восстановление, так и на смену самих экосистем. Смена во времени одних биогеоценозов другими на определенном участке земной поверхности называется *сукцессией*, а последовательность сменяющих друг друга на одной территории экосистем — *сукцессионным рядом*, или *серией биогеоценозов*: первичное сообщество называется *пионерным* (начальным), промежуточные сообщества — *временными*, а конечное зрелое — *климаксным*.

В зависимости от условий протекания различают первичную и вторичную сукцессии. *Первичная сукцессия* — это процесс смены сообществ на прежде не обжитых территориях, например, на потоках лавы. Чаще всего сначала на таких участках поселяются фотосинтезирующие бактерии и лишайники, затем мхи, которые сменяют однолетние и многолетние травы, кустарники, быстрорастущие и медленнорастущие деревья соответственно.

Вторичная сукцессия происходит на тех местах, где предыдущее сообщество было уничтожено какими-либо сильнодействующими факторами, но почва и органическое вещество сохранились. Например, на месте лесного пожарища сначала поселяются однолетние растения, затем многолетние и т. д. Вторичные сукцессии чаще всего направлены на восстановление климаксного сообщества.

Сукцессия вызывается природными (стихийными) или антропогенными факторами.

Основой устойчивости экосистем являются биологическое разнообразие, саморегуляция и круговорот веществ.

Агроэкосистемы

В отличие от естественных экосистем созданные для получения сельскохозяйственной продукции и искусственно поддерживаемые человеком экосистемы называются *агробиогеоценозами,* или *агроэкосистемами*. К ним относят поля, огороды, сады, пастбища, пруды и т. д. Агроэкосистемами занято около 10 % поверхности суши.

Как и естественные экосистемы, агробиогеоценозы характеризуются видовым разнообразием и имеют выраженную трофическую структуру. Их отличиями являются меньшее видовое разнообразие, короткость пищевых цепей, использование привнесенной человеком энергии, изъятие части органического вещества, преобладание процессов аккумуляции над минерализацией и их регуляция человеком.

В целом, агроэкосистемы неустойчивы и не могут существовать без вмешательства человека.

Биосфера

Биосферой называется область существования и жизнедеятельности ныне живущих организмов, которая пронизывает нижние слои атмосферы, всю

гидросферу и верхнюю часть литосферы, а также вся совокупность населяющих ее и обеспечивающих ее функционирование живых организмов. Биосферу можно рассматривать и как многоуровневую систему элементарных экосистем — биогеоценозов.

Высший этап развития земной природы, результат совместной эволюции природы и общества, направляемой человеком; будущее биосферы, когда она, благодаря разумной деятельности и могуществу человека, приобретет новую функцию — функцию гармоничной стабилизации условий жизни на планете, был назван В. И. Вернадским *ноосферой*.

Согласно *учению В. И. Вернадского о биосфере*, она состоит из четырех компонентов: живого, биогенного, биокосного и косного веществ.

Живое вещество является совокупностью ныне живущих организмов. Его сухая масса оценивается приблизительно в $1{,}8 — 2{,}5 \cdot 10^{12}$ т. Подавляющая часть жизни сосредоточена на суше, причем более 99 % биомассы организмов суши составляют продуценты (в основном растения). *Биогенное вещество* представляет собой разнообразные органические остатки, в том числе и не полностью разложившиеся (детрит, торф, уголь, нефть и газ биогенного происхождения). *Биокосное вещество* — это уже разнообразные смеси биогенных веществ с минеральными породами абиогенного происхождения (почва, илы, природные воды, газо- и нефтеносные сланцы, битуминозные пески, часть осадочных карбонатов), тогда как к *косному веществу* относят различные абиотические компоненты, не затронутые прямым биогеохимическим

воздействием организмов (горные породы, минералы, осадки и др.).

Функциями живого вещества в биосфере являются энергетическая, газовая, окислительно-восстановительная, концентрационная, деструктивная, средообразующая и др.

Энергетическая функция живого вещества связана с обеспечением поглощения солнечной энергии, ее аккумуляции в химических связях органических соединений и передаче по цепям питания и разложения, что, в конечном итоге, позволяет живому веществу выступать движущей силой геологических процессов.

Газовая функция заключается в изменении газового состава атмосферы в процессе фотосинтеза и дыхания. Ее осуществляют растения и некоторые бактерии, которые в процессе фотосинтеза выделяют в атмосферу кислород и поглощают углекислый газ, тогда как все без исключения организмы поглощают кислород и выделяют углекислый газ в процессе дыхания. Часть бактерий способна также в процессе жизнедеятельности выделять азот, его оксиды, сероводород и др. Благодаря деятельности живых организмов не только сформировался, но и поддерживается постоянный состав атмосферы.

Окислительно-восстановительная функция обусловлена окислением и восстановлением различных элементов в почве и гидросфере живыми организмами, что сопровождается образованием солей, оксидов и свободных соединений, а, в конечном итоге, известняков, бокситов, различных руд.

Концентрационная функция связана с избирательным извлечением и накоплением в живом

веществе химических элементов (углерода, водорода, азота и др.). Некоторые из них являются специфическими концентраторами определенных элементов: многие морские водоросли — йода, лютики — лития, ряска — радия, диатомовые водоросли и злаки — кремния, которые затем переходят в залежи полезных ископаемых.

Деструктивная функция живого вещества проявляется в завершении биологического круговорота веществ, поскольку в процессе жизнедеятельности организмов-редуцентов происходит разрушение (деструкция) отмерших остатков и продуктов жизнедеятельности до неорганических веществ, которые могут быть вновь вовлечены в биогенную миграцию атомов.

Средообразующая функция обусловлена преобразованием состава окружающей среды в процессе жизнедеятельности биомассы, например, формированием состава атмосферы, накоплением солей в гидросфере, почвообразованием и регуляцией климатических изменений.

Биологический круговорот и превращение энергии в биосфере

Энергия и вещества, поступающие извне в экосистемы в процессе их существования, подвергаются многочисленным изменениям и переходят из одной формы в другую. Поток энергии через экосистему не может быть замкнутым, поскольку солнечная энергия, хотя и переходит в энергию химических связей благодаря деятельности продуцентов, однако большая ее часть рассеивается

в процессе жизнедеятельности отдельных компонентов биогеоценозов, и лишь незначительная доля депонируется в виде залежей полезных ископаемых (нефть, газ, торф). Энергия (солнечная и высвобождаемая в геологических процессах) является движущей силой круговорота веществ в отдельных биогеоценозах и биосфере в целом.

В течение коротких промежутков времени — от одного до нескольких лет — можно наблюдать почти циклические процессы превращений веществ и отдельных химических элементов при получении ресурсов и переработке отходов в экосистемах, тогда как в более длительной перспективе обнаруживается, что эти процессы замкнуты не полностью, поскольку они и депонируются в геосферах Земли, и выносятся в другие биогеоценозы ветрами, ливнями и т. д. Однако эти малые круговороты веществ (на уровне биогеоценоза) являются составляющими больших круговоротов веществ в экосистемах более высокого уровня, или биогеохимических циклов.

В круговороте веществ и энергии в биогеоценозах ведущую роль играют живые организмы, поскольку одни из них (продуценты) улавливают энергию Солнца и фиксируют углерод, а также азот, серу и фосфор в виде органических соединений, а другие, наоборот, используют их (консументы) и постепенно минерализуют (редуценты).

В экосистемах постоянно осуществляются круговороты углерода, азота, водорода, кислорода, серы, фосфора и других химических элементов, а также круговороты веществ, например, воды.

Круговорот углерода. Углерод является одним из важнейших биогенных элементов, который фик-

сируется растениями в процессе фотосинтеза в виде органических соединений, используемых консументами. В процессе дыхания большая часть органических соединений расщепляется с образованием углекислого газа, а органические остатки разлагаются и минерализуются организмами-редуцентами. В результате обоих этих процессов большая часть углекислого газа возвращается обратно в атмосферу.

Часть углерода в настоящее время депонируется в виде неразложившихся органических остатков, формирующих плодородный слой почвы, а запасенный растениями, жившими миллионы лет назад, образовал залежи таких полезных ископаемых, как каменный и бурый уголь, нефть, природный газ, торф и др.

В водных экосистемах углекислый газ связывается в виде карбонат- и гидрокарбонат-анионов, и может образовывать нерастворимый карбонат кальция, который входит в состав скелетов многих простейших животных и кишечнополостных. Скелеты отмерших животных образуют осадочные породы (мел, известняки) и надолго исключаются из круговорота, однако в процессе горообразования они выносятся на поверхность, и, разрушаясь под действием биотических факторов и в результате деятельности живых организмов, вновь вовлекаются в него.

Хозяйственная деятельность человека в значительной степени влияет на круговорот углерода в биогеоценозах, в основном вследствие использования невозобновляемых энергетических ресурсов — нефти и газа.

Круговорот азота. Как и углерод, азот является биогенным элементом, который входит

в состав белков, нуклеиновых кислот, АТФ, хитина, ряда витаминов и др. В атмосфере азот находится в молекулярной форме (79 % атмосферы), однако он химически инертен и не может быть усвоен непосредственно растениями. Большая часть азота фиксируется свободноживущими и симбиотическими азотфиксирующими бактериями (в том числе цианобактериями), преобразующими его в нитраты. Некоторая часть азота поступает из атмосферы в виде оксида азота (IV), образующегося во время грозы.

Нитраты поглощаются растениями и включаются ими в состав органических соединений. Белки растений служат основой азотного питания животных, однако азотистые соединения постоянно выделяется последними в процессе жизнедеятельности, а также в процессе разложения растительных и животных остатков бактериями и грибами. Образующийся аммиак частично используется редуцентами на построение собственного тела, другая же его часть преобразуется нитрифицирующими бактериями в нитраты, вновь используемые растениями или денитрифицирующими бактериями, возвращающими его в атмосферу. Часть азота, как и углерода, на длительное время исключается из оборота, оседая в глубоководных отложениях.

Круговорот азота претерпел значительные изменения в связи с использованием человеком азотных удобрений, а также других азотистых соединений в различных отраслях промышленности, вследствие чего значительные количества азота попадают не только на поля, но и в воздух, в водные экосистемы.

Круговорот серы. Сера как биогенный элемент входит в состав некоторых аминокислот и целого ряда других важнейших органических соединений. Большая часть серы депонирована в почве и морских осадочных породах в виде сульфидов и сульфатов. Микроорганизмы переводят сульфиды в доступную для растений форму — сульфаты. Остатки растений и животных перерабатываются редуцентами и обеспечивают возврат серы в круговорот.

На современном этапе выброс соединений серы существенно возрос в результате хозяйственной деятельности человека (сжигание каменного угля и газа на тепловых электростанциях, выхлопные газы автомобилей), что приводит к образованию серной кислоты и кислотным дождям, вызывающим гибель растительности.

Круговорот фосфора. Фосфор сосредоточен в отложениях, образовавшихся в прошлые геологические эпохи, поскольку многие фосфаты нерастворимы. Постепенно фосфор все же вымывается из них и попадает в экосистемы. Растения используют только часть этого фосфора, тогда как большая его часть уносится в водоемы и вновь откладывается в виде осадочных пород.

Деятельность человека внесла существенные коррективы в круговорот этого химического элемента в связи с добычей морепродуктов и использованием огромного количества фосфорных удобрений, значительная часть которых ежегодно смывается с полей.

Нерациональная эксплуатация природных запасов фосфора ведет, например, и к географическим изменениям. Так, маленькое островное

государство Науру в юго-западной части Тихого океана, существующее в основном за счет добычи фосфоритов, вскоре исчезнет с лица Земли, поскольку запасы этих полезных ископаемых, накапливавшихся в течение сотен тысяч лет благодаря экскрементам перелетных птиц, почти истощены.

Круговорот воды (гидрологический цикл). Совокупные запасы воды на планете составляют около 1,5 млрд м^3, причем большая их часть находится в водоемах (особенно соленых), тогда как атмосфера достаточно бедна ею. Вода испаряется и воздушными течениями переносится на значительные расстояния. На поверхность суши вода выпадает в виде осадков, при этом она используется не только живыми существами, но и способствует разрушению горных пород, делает их пригодными для жизни растений и микроорганизмов, размывает верхний почвенный слой и возвращается вместе с растворенными в ней химическими соединениями и взвешенными органическими частицами в водоемы. Гидрологический цикл занимает около 1 года. Круговорот воды между океаном и сушей является важнейшим звеном в поддержании жизни на Земле, поскольку не только обеспечивает потребность организмов в воде, но и привносит в водные экосистемы минеральные и органические вещества, захватываемые на суше в процессе разрушения литосферы.

ЗАПОМНИ

Биогеохимическим циклом называют большой круговорот веществ на уровне биосферы, который является совокупностью малых круговоротов, и представляет собой совокупность путей перемещения веществ через живые организмы и среду их обитания.

В настоящее время человек выступает мощным геологическим фактором, использующим в своей деятельности почти все элементы, даже те, которые необходимы лишь для техногенной деятельности (уран, плутоний и др.). Это способствует тому, что природные круговороты веществ трансформируются в природно-антропогенные, так как человек не только изымает из оборота определенные элементы, но и ускоряет использование некоторых из них.

Основные экологические проблемы современности и пути их решения

Негативные последствия хозяйственной деятельности человека длительное время нивелировались благодаря буферным свойствам биосферы, однако все возрастающая антропогенная нагрузка привела к возникновению следующих *экологических проблем*: изменение состава атмосферы и климата (парниковый эффект, глобальное потепление, нарушение озонового экрана, смог и др.) интенсивный рост народонаселения, загрязнение природных вод, сведение лесов, истощение, эрозия и загрязнение почв, истощение энергетических ресурсов, сокращение биологического разнообразия и др.

Для решения этих проблем был создан ряд *международных организаций* по защите окружающей природной среды: Международный союз по охране природы и природной среды (МСОП), Всемирный фонд охраны дикой природы (WWF), Римский клуб, Международный экологический суд (МЭС), ГРИНПИС. Самыми значимыми экологическими

конференциями стали: Конференция ООН по окружающей среде (Стокгольм, 1972), на которой была принята Программы ООН по окружающей среде и развитию (ЮНЕП), и Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992), принявшая Декларация РИО по окружающей среде и развитию, Рамочную конвенцию «Об изменении климата», Конвенцию «О биологическом разнообразии» и Программу действий ООН «Повестка дня на XXI век». Не менее важными были Монреальская встреча (Монреаль, 1987; подписан Монреальский протокол об ограничении выбросов фреона в атмосферу), Общеевропейская конференция министров окружающей среды (София, 1995), Конференция Сторон Рамочной Конвенции ООН по изменению климата (Киото, 1997; подписан Киотский протокол об ограничении тепловых выбросов в атмосферу) и Международный конгресс по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 2002).

В Российской Федерации для решения глобальных экологических проблем были приняты Концепция перехода РФ к устойчивому развитию, Государственная стратегия устойчивого развития РФ, Экологическая доктрина РФ, Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и др. законодательные акты.

Основными путями решения экологических проблем являются регулирование рождаемости, использование экологически чистых веществ и безотходных технологий, совершенствование очистных сооружений, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур, рационализация потребления, сохранение природных сообществ и восстановление до уровня естественной продуктивности

ряда деградировавших экосистем, создание биосферных заповедников.

В связи с тем, что вымирание одного вида растений влечет за собой гибель 10—12 видов животных, а это уже представляет угрозу как для существования отдельных биогеоценозов, так и для глобальной экосистемы в целом, МСОП основал «Красную книгу фактов». *Красная книга* — это официальный документ, содержащий регулярно обновляемые данные о состоянии и распространении редких и находящихся под угрозой исчезновения видов редких растений, животных и грибов. В РФ существуют как федеральная Красная книга, так и региональные.

Наиболее эффективной мерой охраны редких видов является сохранение их местообитаний, которое достигается организацией сети особо охраняемых заповедных территорий, к которым относятся государственные природные заповедники, национальные парки, природные парки, государственные природные заказники, памятники природы, дендрологические парки, ботанические сады и др.

Правила поведения в природной среде

Учитывая реалии сегодняшнего дня, при нахождении на природе следует стараться не наносить еще большего вреда экосистемам. Для этого во время движения не стоит съезжать и сходить с уже проложенных маршрутов, чтобы не утрамбовывать почву. Нельзя ломать и срывать бесцельно растения, собирать их семена и плоды, так как это

может нарушить процесс воспроизводства растительных сообществ. Разведение костров на природе также возможно только на специально оборудованных площадках во избежание пожаров, которые могут возникнуть даже от брошенной спички или окурка. Ловля и умерщвление насекомых и других животных по причине их красоты или из спортивного интереса являются недопустимыми, ибо также могут не только влиять на численность популяций, но и оказывать влияние на целостность цепей питания и трофических сетей биогеоценозов. Следует помнить и о том, что даже при гербаризации растений и сборе животных для коллекций учитывается степень редкости этих организмов. В природной среде нельзя также оставлять мусор, мыть машины и сливать машинное масло и горючее, так как это также наносит пусть не мгновенный, но вред экосистемам.

Только рациональное природопользование может обеспечить сохранность природной среды еще на долгие годы.

ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ

1. Отношения кишечных симбионтов и жвачных животных являются примером
1) кооперации
2) паразитизма
3) комменсализма
4) мутуализма

2. Какой фактор определяет время отлета и прилета птиц?
1) уменьшение количества пищи
2) изменение продолжительности светового дня
3) истребление части стаи хищниками
4) снижение среднесуточной температуры воздуха

3. Вторыми по значению продуцентами после фотоавтотрофов на планете являются
1) зеленые растения
2) синезеленые водоросли
3) сапротрофы
4) хемосинтезирующие бактерии

4. В экосистемах отсутствует
1) поток энергии через экосистему
2) биогенная миграция углерода
3) поглощение минеральных солей автотрофами
4) использование энергии гетеротрофами для синтеза органических веществ

5. Какой животный организм относится к редуцентам?
1) дождевой червь
2) кузнечик
3) большой прудовик
4) ланцетник

6. Какой трофический уровень занимают в биогеоценозе самцы малярийного комара?
1) продуценты
2) консументы 1-го порядка
3) консументы 2-го порядка
4) редуценты

7. К какому компоненту биосферы относится чернозем?
1) живому веществу
2) биогенному веществу
3) биокосному веществу
4) косному веществу

8. Укажите особенности среды обитания аэробионтов? Выберите три верных ответа из шести. Оведите выбранные цифры
1) доступность пищи
2) низкая плотность
3) отсутствие температурных перепадов
4) значительное разнообразие условий
5) высокая интенсивность освещения
6) низкое содержание кислорода

9. Какие признаки отличают агроэкосистему от естественного биогеоценоза? Выберите три верных ответа из шести. Оведите выбранные цифры
1) малое видовое разнообразие
2) незавершенность круговорота веществ
3) резкое преобладание отдельных видов
4) слабая способность к саморегуляции
5) перевернутость пирамид энергии
6) отсутствие биотических связей между организмами различных видов

ЭКСПРЕСС-ПОМОЩНИК

Экологические факторы

Группа факторов	Определение	Примеры
Абиотические	Факторы неживой природы	Свет, влажность, температура. Состав водной, воздушной и почвенной среды
Биотические	Факторы живой природы	Взаимоотношения между особями в популяции, между популяциями
Антропогенные	Вся разнообразная деятельность человека, которая приводит к изменению природы	Вырубка лесов, осушение болот

Схема цепей питания в водоеме

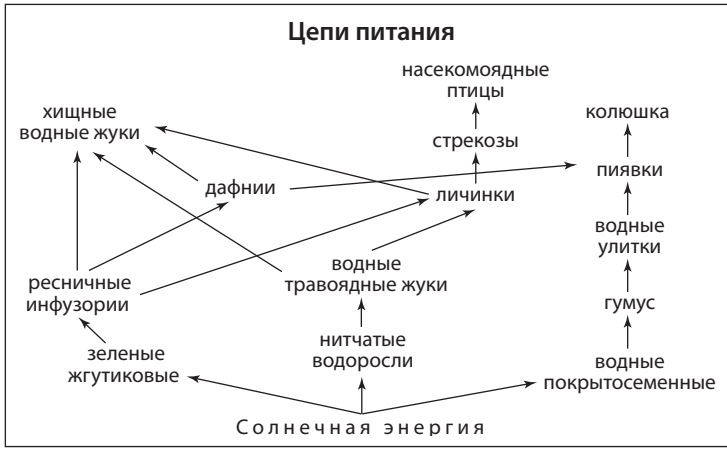
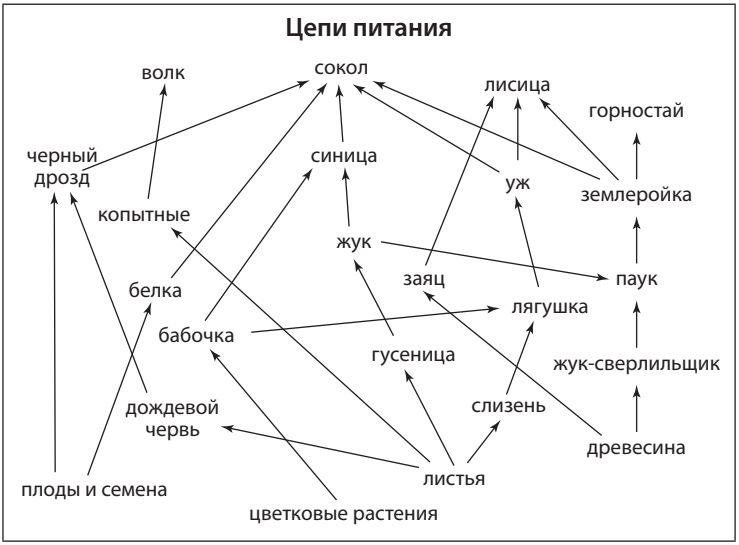
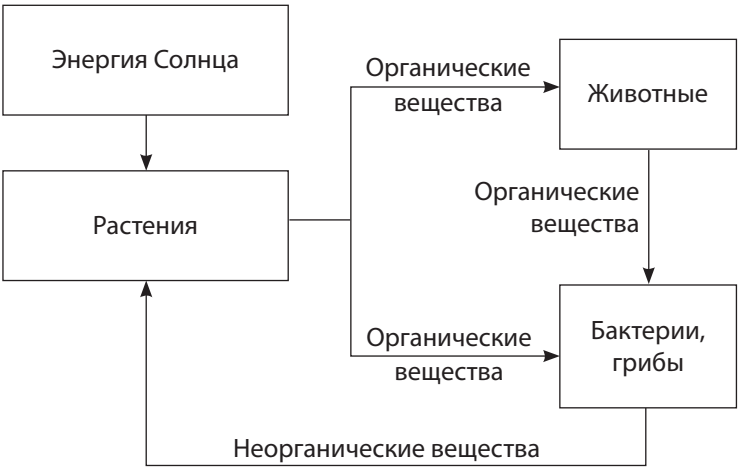


Схема цепей питания в дубраве



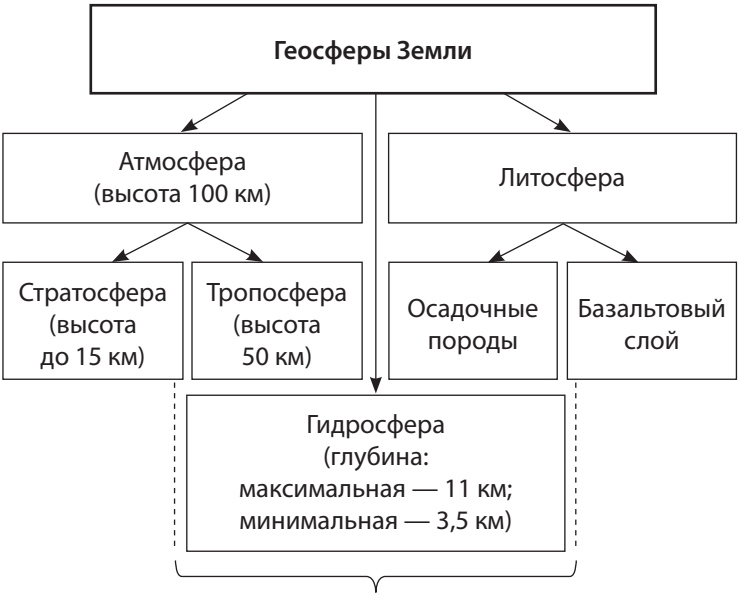
Круговорот веществ и энергии в биосфере



Сравнительная характеристика биогеоценоза и агроценоза

Биогеоценоз	Агроценоз
Устойчивая природная экосистема, состоящая из своего комплекса видов	Искусственно созданный человеком биогеоценоз
1. Поглощают солнечную энергию (открытые системы). 2. Состоят из продуцентов, консументов и редуцентов, внутри них существуют цепи питания и действует правило экологической пирамиды. 3. Внутри них действуют все факторы эволюции (наследственная изменчивость, борьба за существование, естественный отбор)	
Сложившийся естественным образом видовой состав организмов; численность различных видов сбалансирована	Искусственно подобранный набор сельскохозяйственных культур; преобладает численность одного-двух видов
Разнообразный видовой состав, пищевые цепи длинные	Видовой состав скудный, пищевые цепи короткие
Устойчивая система	Система неустойчива, без помощи человека не существует
Органические вещества остаются внутри системы	Органические вещества удаляются из системы человеком
Активно действуют факторы эволюции	Действие факторов эволюции ослаблено человеком

Географические оболочки Земли



Биосфера — оболочка Земли, населенная живыми организмами

ОТВЕТЫ

Биология как наука. Методы научного познания. Клетка как биологическая система

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	4	1	2	4	4	1	3	3	4	3

Размножение и развитие организма. Генетика

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	3	3	2	1	1	1	2	3	4

Система и многообразие органического мира

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	3	1	4	1	3	4	4	124	34152	4

Организм человека и его здоровье

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	1	3	2	2	4	3	1	136	345

Эволюция живой природы

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	4	3	2	1	1	3	145	235

Экосистемы и присущие им закономерности

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	4	2	4	4	1	2	3	245	246

БИОЛОГИЯ

ВАШ НАДЕЖНЫЙ ПОМОЩНИК

- при подготовке к ЕГЭ;
- в процессе обучения;
- при повторении изученного материала.

СПРАВОЧНИК ПОДГОТОВЛЕН В ПОЛНОМ СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ШКОЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО БИОЛОГИИ И СОДЕРЖИТ:

- ✔ подробный теоретический материал (правила, определения, формулы);
- ✔ экспресс-контроль (задания в форме ЕГЭ);
- ✔ экспресс-помощник (справочная информация в виде схем и таблиц).

В СЕРИИ ВЫХОДЯТ СПРАВОЧНИКИ ПО:

- русскому языку
- физике
- математике
- истории
- английскому языку
- химии

ISBN 978-5-699-59512-9

9 785699 595129 >

ЭКСМО