ЭФФЕКТИВНАЯ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

ЕГЭ

БИОЛОГИЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК

- Подробный теоретический материал
- Тренировочные варианты
- Ответы ко всем заданиям

ПОЛУЧИ ВЫСШИЙ БАЛЛ НА ЕГЭ!
ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА
ПОЛУЧИ ВЫСШИЙ БАЛЛ НА ЕГЭ!

ЭФФЕКТИВНАЯ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

Ю. А. САДОВНИЧЕНКО

БИОЛОГИЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК

Москва
2019

УДК 373:57
ББК 28я721
С14

Садовниченко, Юрий Александрович.

С14 ЕГЭ. Биология : универсальный справочник / Ю. А. Садовниченко. — Москва : Эксмо, 2019. — 432 с. — (ЕГЭ. Универсальный справочник).

ISBN 978-5-04-103930-1

Справочник предназначен для подготовки учащихся к ЕГЭ по биологии.

Пособие содержит подробный теоретический материал по всем темам, проверяемым экзаменом. После каждого раздела даются примеры заданий ЕГЭ и тренировочный тест. Для итогового контроля знаний в конце справочника приводятся тренировочные варианты, соответствующие ЕГЭ по биологии. Ко всем заданиям приводятся ответы.

Издание будет полезно учителям биологии, так как даёт возможность эффективно организовать учебный процесс и подготовку к экзамену.

УДК 373:57
ББК 28я721

ISBN 978-5-04-103930-1

© Садовниченко Ю.А., 2019
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1
БИОЛОГИЯ КАК НАУКА.
МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

1.1. Биология как наука, ее достижения, методы познания живой природы. Роль биологии в формировании современной естественнонаучной картины мира 8

1.2. Уровневая организация и эволюция. Основные уровни организации живой природы: клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный. Биологические системы. Общие признаки биологических систем: клеточное строение, особенности химического состава, обмен веществ и превращения энергии, гомеостаз, раздражимость, движение, рост и развитие, воспроизведение, эволюция 14

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 1 18

Раздел 2
КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

2.1. Современная клеточная теория, ее основные положения, роль в формировании современной естественнонаучной картины мира. Развитие знаний о клетке. Клеточное строение организмов — основа единства органического мира, доказательство родства живой природы 22

2.2. Многообразие клеток. Прокариотические и эукариотические клетки. Сравнительная характеристика клеток растений, животных, бактерий, грибов 35

2.3. Химический состав клетки. Макро- и микроэлементы. Взаимосвязь строения и функций неорганических и органических веществ (белков, нуклеиновых кислот, углеводов, липидов, АТФ), входящих в состав клетки. Роль химических веществ в клетке и организме человека . . .31

2.4. Строение клетки. Взаимосвязь строения и функций частей и органоидов клетки — основа ее целостности . . .39

2.5. Обмен веществ и превращения энергии — свойства живых организмов. Энергетический и пластический обмен, их взаимосвязь. Стадии энергетического обмена. Брожение и дыхание. Фотосинтез, его значение, космическая роль. Фазы фотосинтеза. Световые и темновые реакции фотосинтеза, их взаимосвязь. Хемосинтез. Роль хемосинтезирующих бактерий на Земле. .49

2.6. Генетическая информация в клетке. Гены, генетический код и его свойства. Матричный характер реакций биосинтеза. Биосинтез белка и нуклеиновых кислот. 55

2.7. Клетка — генетическая единица живого. Хромосомы, их строение (форма и размеры) и функции. Число хромосом и их видовое постоянство. Соматические и половые клетки. Жизненный цикл клетки: интерфаза и митоз. Митоз — деление соматических клеток. Мейоз. Фазы митоза и мейоза. Развитие половых клеток у растений и животных. Деление клетки — основа роста, развития и размножения организмов. Роль мейоза и митоза 59

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 2 68

Раздел 3
ОРГАНИЗМ КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

3.1. Разнообразие организмов: одноклеточные и многоклеточные; автотрофы, гетеротрофы 76

3.2. Воспроизведение организмов, его значение. Способы размножения, сходство и отличие полового и бесполого размножения. Оплодотворение у цветковых растений

и позвоночных животных. Внешнее и внутреннее оплодотворение 78

3.3. Онтогенез и присущие ему закономерности. Эмбриональное и постэмбриональное развитие организмов. Причины нарушения развития организмов . . . 83

3.4. Генетика, ее задачи. Наследственность и изменчивость — свойства организмов. Методы генетики. Основные генетические понятия и символика. Хромосомная теория наследственности. Современные представления о гене и геноме 87

3.5. Закономерности наследственности, их цитологические основы. Закономерности наследования, установленные Г. Менделем, их цитологические основы (моно- и дигибридное скрещивание). Законы Т. Моргана: сцепленное наследование признаков, нарушение сцепления генов. Генетика пола. Наследование признаков, сцепленных с полом. Взаимодействие генов. Генотип как целостная система. Генетика человека. Методы изучения генетики человека. Решение генетических задач. Составление схем скрещивания 92

3.6. Закономерности изменчивости. Ненаследственная (модификационная) изменчивость. Норма реакции. Наследственная изменчивость: мутационная, комбинативная. Виды мутаций и их причины. Значение изменчивости в жизни организмов и в эволюции 106

3.7. Значение генетики для медицины. Наследственные болезни человека, их причины, профилактика. Вредное влияние мутагенов, алкоголя, наркотиков, никотина на генетический аппарат клетки. Защита среды от загрязнения мутагенами. Выявление источников мутагенов в окружающей среде (косвенно) и оценка возможных последствий их влияния на собственный организм 111

3.8. Селекция, ее задачи и практическое значение. Вклад Н. И. Вавилова в развитие селекции: учение о центрах многообразия и происхождения культурных растений; закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Методы селекции и их генетические основы. Методы выведения новых сортов растений, пород животных, штаммов микроорганизмов. Значение генетики для селекции. Биологические основы выращивания культурных растений и домашних животных 114

3.9. Биотехнология, ее направления. Клеточная и генная инженерия, клонирование. Роль клеточной теории в становлении и развитии биотехнологии. Значение биотехнологии для развития селекции, сельского хозяйства, микробиологической промышленности, сохранения генофонда планеты. Этические аспекты развития некоторых исследований в биотехнологии (клонирование человека, направленные изменения генома). 120

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 3 124

Раздел 4
СИСТЕМА И МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

4.1. Многообразие организмов. Значение работ К. Линнея и Ж. Б. Ламарка. Основные систематические (таксономические) категории: вид, род, семейство, отряд (порядок), класс, тип (отдел), царство; их соподчиненность. Вирусы — неклеточные формы жизни. Меры профилактики вирусных заболеваний. . . .133

4.2. Царство бактерий, строение, жизнедеятельность, размножение, роль в природе. Бактерии — возбудители заболеваний растений, животных, человека. Профилактика заболеваний, вызываемых бактериями 139

4.3. Царство грибов, строение, жизнедеятельность, размножение. Использование грибов для получения продуктов питания и лекарств. Распознавание съедобных и ядовитых грибов. Лишайники, их разнообразие, особенности строения и жизнедеятельности. Роль в природе грибов и лишайников 144

4.4. Царство растений. Строение (ткани, клетки, органы), жизнедеятельность и размножение растительного организма (на примере покрытосеменных растений). Распознавание (на рисунках) органов растений 151

4.5. Многообразие растений. Основные отделы растений. Классы покрытосеменных, роль растений в природе и жизни человека 178

4.6. Царство животных. Одноклеточные и многоклеточные животные. Характеристика основных типов беспозвоночных, классов членистоногих. Особенности строения, жизнедеятельности, размножения, роль в природе и жизни человека 197

4.7. Хордовые животные. Характеристика основных классов. Роль в природе и жизни человека. Распознавание (на рисунках) органов и систем органов у животных. . . .222

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 4 243

Раздел 5
ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ЗДОРОВЬЕ

5.1. Ткани. Строение и жизнедеятельность органов и систем органов: пищеварения, дыхания, выделения. Распознавание (на рисунках) тканей, органов, систем органов 250

5.2. Строение и жизнедеятельность органов и систем органов: опорно-двигательной, покровной, кровообращения, лимфообращения. Размножение и развитие человека. Распознавание (на рисунках) органов и систем органов 260

5.3. Внутренняя среда организма человека. Группы крови. Переливание крови. Иммунитет. Обмен веществ и превращение энергии в организме человека. Витамины 271

5.4. Нервная и эндокринная системы. Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности организма как основа его целостности, связи со средой 278

5.5. Анализаторы. Органы чувств, их роль в организме. Строение и функции. Высшая нервная деятельность. Сон, его значение. Сознание, память, эмоции, речь, мышление. Особенности психики человека 283

5.6. Личная и общественная гигиена, здоровый образ жизни. Профилактика инфекционных заболеваний (вирусных, бактериальных, грибковых, вызываемых животными). Предупреждение травматизма, приемы оказания первой помощи. Психическое и физическое здоровье человека. Факторы здоровья (аутотренинг, закаливание, двигательная активность). Факторы риска (стрессы, гиподинамия, переутомление, переохлаждение). Вредные и полезные привычки. Зависимость здоровья человека от состояния окружающей среды. Соблюдение санитарно-гигиенических норм и правил здорового образа жизни. Репродуктивное здоровье человека. Последствия влияния алкоголя, никотина, наркотических веществ на развитие зародыша человека. 294

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 5 303

Раздел 6
ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

6.1. Вид, его критерии. Популяция — структурная единица вида и элементарная единица эволюции. Микроэволюция. Образование новых видов. Способы видообразования. Сохранение многообразия видов как основа устойчивости биосферы. 311

6.2. Развитие эволюционных идей. Значение эволюционной теории Ч. Дарвина. Взаимосвязь движущих сил эволюции. Формы естественного отбора, виды борьбы за существование. Синтетическая теория эволюции. Элементарные факторы эволюции. Исследования С. С. Четверикова. Роль эволюционной теории в формировании современной естественнонаучной картины мира 318

6.3. Доказательства эволюции живой природы. Результаты эволюции: приспособленность организмов к среде обитания, многообразие видов. 328

6.4. Макроэволюция. Направления и пути эволюции (А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен). Биологический прогресс и регресс, ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация. Причины биологического прогресса и регресса. Гипотезы возникновения жизни на Земле. Основные ароморфозы в эволюции растений и животных. Усложнение живых организмов в процессе эволюции 335

6.5. Происхождение человека. Человек как вид, его место в системе органического мира. Гипотезы происхождения человека. Движущие силы и этапы эволюции человека. Человеческие расы, их генетическое родство. Биосоциальная природа человека. Социальная и природная среда, адаптации к ней человека 346

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 6 353

Раздел 7
ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИСУЩИЕ ИМ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

7.1. Среды обитания организмов. Экологические факторы: абиотические, биотические, их значение. Антропогенный фактор 361

7.2. Экосистема (биогеоценоз), ее компоненты: продуценты, консументы, редуценты, их роль. Видовая и пространственная структура экосистемы. Трофические уровни. Цепи и сети питания, их звенья. Правила

экологической пирамиды. Составление схем передачи веществ и энергии (цепей и сетей питания) 369

7.3. Разнообразие экосистем (биогеоценозов). Саморазвитие и смена экосистем. Устойчивость и динамика экосистем. Биологическое разнообразие, саморегуляция и круговорот веществ — основа устойчивого развития экосистем. Причины устойчивости и смены экосистем. Изменения в экосистемах под влиянием деятельности человека. Агроэкосистемы, основные отличия от природных экосистем. 376

7.4. Биосфера — глобальная экосистема. Учение В. И. Вернадского о биосфере. Живое вещество, его функции. Особенности распределения биомассы на Земле. Биологический круговорот и превращение энергии в биосфере, роль в нем организмов разных царств. Эволюция биосферы 384

7.5. Глобальные изменения в биосфере, вызванные деятельностью человека (нарушение озонового экрана, кислотные дожди, парниковый эффект и др.). Проблемы устойчивого развития биосферы. Правила поведения в природной среде 390

Примеры заданий ЕГЭ к разделу 7 394

Ответы к примерам заданий ЕГЭ 403

Тренировочное тестовое задание. 406

Ответы к тренировочному тесту. 416

БИОЛОГИЯ

Теоретический курс с примерами заданий ЕГЭ

Биология как наука
Методы научного познания

Клетка как биологическая система

Организм как биологическая система

Система и многообразие органического мира

Организм человека и его здоровье

Эволюция живой природы

Экосистемы и присущие им закономерности

ЕГЭ

Раздел 1

Биология как наука. Методы научного познания

1.1. Биология как наука, ее достижения, методы познания живой природы. Роль биологии в формировании современной естественнонаучной картины мира

Биология как наука

Биология (от греч. *биос* — жизнь, *логос* — слово, наука) — это комплекс наук о живой природе.

Предметом биологии являются все проявления жизни: строение и функции живых существ, их разнообразие, происхождение и развитие, а также взаимодействие с окружающей средой. Основная задача биологии как науки состоит в истолковании всех явлений живой природы на научной основе, учитывая при этом, что целостному организму присущи свойства, в корне отличающиеся от его составляющих.

Термин «биология» встречается в трудах немецких анатомов Т. Роозе (1779) и К. Ф. Бурдаха (1800), однако только в 1802 году он был впервые употреблен независимо друг от друга Ж. Б. Ламарком и Г. Р. Тревиранусом для обозначения науки, изучающей живые организмы.

Биологические науки

В настоящее время в состав биологии включают целый ряд наук, которые можно систематизировать по таким критериям: по предмету и преобладающим методам исследования и по изучаемому уровню организации живой природы. По предмету исследования биологические науки делят на бактериологию, ботанику, вирусологию, зоологию, микологию.

Ботаника — это биологическая наука, комплексно изучающая растения и растительный покров Земли. *Зоология* — раздел биологии, наука о многообразии, строении, жизнедеятельности, распространении и взаимосвязи животных со средой обитания, их происхождении и развитии. *Бактериология* — биологическая наука, изучающая строение и жизнедеятельность бактерий, а также их роль в природе. *Вирусология* — биологическая наука, изучающая вирусы. Основным объектом *микологии* являются грибы, их строение и особенности жизнедеятельности. *Лихенология* — биологическая наука, изучающая лишайники. Бактериология, вирусология и некоторые аспекты микологии часто рассматриваются в составе *микробиологии* — раздела биологии, науке

о микроорганизмах (бактериях, вирусах и микроскопических грибах). *Систематика*, или *таксономия*, — биологическая наука, которая описывает и классифицирует по группам все живые и вымершие существа.

В свою очередь, каждая из перечисленных биологических наук подразделяется на биохимию, морфологию, анатомию, физиологию, эмбриологию, генетику и систематику (растений, животных или микроорганизмов). *Биохимия* — это наука о химическом составе живой материи, химических процессах, происходящих в живых организмах и лежащих в основе их жизнедеятельности. *Морфология* — биологическая наука, изучающая форму и строение организмов, а также закономерности их развития. В широком смысле она включает в себя цитологию, анатомию, гистологию и эмбриологию. Различают морфологию животных и растений. *Анатомия* — это раздел биологии (точнее — морфологии), наука, изучающая внутреннее строение и форму отдельных органов, систем и организма в целом. Анатомия растений рассматривается в составе ботаники, анатомия животных — в составе зоологии, а анатомия человека является отдельной наукой. *Физиология* — биологическая наука, изучающая процессы жизнедеятельности растительных и животных организмов, их отдельных систем, органов, тканей и клеток. Существуют физиология растений, животных и человека. *Эмбриология* (*биология развития*) — раздел биологии, наука об индивидуальном развитии организма, в том числе развитии зародыша.

Объектом *генетики* являются закономерности наследственности и изменчивости. В настоящее время это одна из наиболее динамично развивающихся биологических наук.

По изучаемому уровню организации живой природы выделяют молекулярную биологию, цитологию, гистологию, органологию, биологию организмов и надорганизменных систем. *Молекулярная биология* является одним из наиболее молодых разделов биологии, наука, изучающая, в частности, организацию наследственной информации и биосинтез белка. *Цитология*, или *клеточная биология*, — биологическая наука, объектом изучения которой являются клетки как одноклеточных, так и многоклеточных организмов. *Гистология* — биологическая наука, раздел морфологии, объектом которой является строение тканей растений и животных. К сфере *органологии* относят морфологию, анатомию и физиологию различных органов и их систем.

Биология организмов включает все науки, предметом которых являются живые организмы, например *этологию* — науку о поведении организмов.

Биология надорганизменных систем подразделяется на биогеографию и экологию. Распространение живых организмов изучает *биогеография*, тогда как *экология* — организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, биоценозов (сообществ), биогеоценозов (экосистем) и биосферы.

По преобладающим методам исследования можно выделить описательную (например, морфологию), экспериментальную (например, физиологию) и теоретическую биологию.

Выявление и объяснение закономерностей строения, функционирования и развития живой природы на различных уровнях ее организации является задачей *общей биологии*. К ней относят биохимию, молекулярную биологию, цитологию, эмбриологию, генетику, экологию, эволюционное учение и антропологию. *Эволюционное учение* изучает причины, движущие силы, механизмы и общие закономерности эволюции живых организмов. Одним из его разделов является *палеонтология* — наука, предметом которой являются ископаемые останки живых организмов. *Антропология* — раздел общей биологии, наука о происхождении и развитии человека как биологического вида, а также разнообразии популяций современного человека и закономерностях их взаимодействия.

Прикладные аспекты биологии отнесены к сфере биотехнологии, селекции и других быстроразвивающихся наук. *Биотехнологией* называют биологическую науку, изучающую использование живых организмов и биологических процессов в производстве. Она широко применяется в пищевой (хлебопечение, сыроделие, пивоварение и др.) и фармацевтической промышленностях (получение антибиотиков, витаминов), для очистки вод и т. п. *Селекция* — наука о методах создания пород домашних животных, сортов культурных растений и штаммов микроорганизмов с нужными человеку свойствами. Под селекцией понимают и сам процесс изменения живых организмов, осуществляемый человеком для своих потребностей.

Прогресс биологии тесно связан с успехами других естественных и точных наук, таких как физика, химия, математика, информатика и др. Например, микроскопирование, ультразвуковые исследования (УЗИ), томография и другие методы биологии основываются на физических закономерностях, а изучение структуры биологических молекул и процессов, происходящих в живых системах, было бы невозможным без применения химических и физических методов. Применение математических методов позволяет, с одной стороны, выявить наличие закономерной связи между объектами или явлениями, подтвердить достоверность полученных результатов, а с другой — смоделировать явление или процесс. В последнее время все большее значение в биологии приобретают компьютерные методы, например моделирование. На стыке биологии и других наук возник целый ряд новых наук, таких как биофизика, биохимия, бионика и др.

Достижения биологии

Наиболее важными событиями в области биологии, повлиявшими на весь ход ее дальнейшего развития, являются: установление молекулярной структуры ДНК и ее роли в передаче информации в живой материи (Ф. Крик, Дж. Уотсон, М. Уилкинс); расшифровка генетического кода (Р. Холли, Х. Г. Корана, М. Ниренберг); открытие структуры гена и генетической регуляции синтеза белков (А. М. Львов, Ф. Жакоб, Ж. Л. Моно и др.); формулировка клеточной теории (М. Шлейден, Т. Шванн, Р. Вирхов, К. Бэр); исследование закономерностей наследственности и изменчивости (Г. Мендель, Х. де Фриз, Т. Морган и др.); формулировка принципов современной систематики (К. Линней), эволюционной теории (Ч. Дарвин) и учения о биосфере (В. И. Вернадский).

Значимость открытий последних десятилетий еще предстоит оценить, однако наиболее крупными достижениями биологии были признаны: расшифровка генома человека и других организмов, определение механизмов контроля потока генетической информации в клетке и формирующемся организме, механизмов регуляции деления и гибели клеток, клонирование млекопитающих, а также открытие возбудителей «коровьего бешенства» (прионов).

Работы по программе «Геном человека», которые проводились одновременно в нескольких странах и были завершены в начале нынешнего века, привели нас к пониманию того, что у человека имеется около 25–30 тыс. генов, но информация с большей части нашей ДНК не считывается никогда, так как в ней содержится огромное количество участков и генов, кодирующих признаки, утратившие значение для человека (хвост, оволосение тела и др.). Кроме того, был расшифрован ряд генов, отвечающих за развитие наследственных заболеваний, а также генов-мишеней лекарственных препаратов. Однако практическое применение результатов, полученных в ходе реализации данной программы, откладывается до тех пор, пока не будут расшифрованы геномы значительного количества людей, и тогда станет понятно, в чем же все-таки их различие. Эти цели поставлены перед целым рядом ведущих лабораторий всего мира, работающих над реализацией программы «ENCODE».

Биологические исследования являются фундаментом медицины, фармации, широко используются в сельском и лесном хозяйстве, пищевой промышленности и других отраслях человеческой деятельности.

Хорошо известно, что только «зеленая революция» 1950-х годов позволила хотя бы частично решить проблему обеспечения быстро растущего населения Земли продуктами питания, а животноводство — кормами за счет внедрения новых сортов растений и прогрессивных технологий их выращивания. В связи с тем, что генетически запрограммированные свойства сельскохозяйственных культур уже почти исчерпаны, дальнейшее решение продовольственной проблемы связывают с широким введением в производство генетически модифицированных организмов.

Производство многих продуктов питания, таких как сыры, йогурты, колбасы, хлебобулочные изделия и др., также невозможно без использования бактерий и грибов, что является предметом биотехнологии.

Познание природы возбудителей, процессов течения многих заболеваний, механизмов иммунитета, закономерностей наследственности и изменчивости позволили существенно снизить смертность и даже полностью искоренить ряд болезней, таких, например, как черная оспа. С помощью новейших достижений биологической науки решается и проблема репродукции человека. Значительная часть современных лекарственных препаратов производится на основе природного сырья, а также благодаря успехам генной инженерии, как, например, инсулин, столь необходимый больным сахарным диабетом, в основном синтезируется бактериями, которым перенесен соответствующий ген.

Не менее значимы биологические исследования для сохранения окружающей среды и разнообразия живых организмов, угроза исчезновения которых ставит под сомнение существование человечества.

Наибольшее значение среди достижений биологии имеет тот факт, что они лежат даже в основе построения нейронных сетей и генетического кода в компьютерных технологиях, а также широко используются в архитектуре и других отраслях. Вне всякого сомнения, наступивший XXI век является веком биологии.

Методы познания живой природы

Как и любая другая наука, биология имеет свой арсенал методов. Помимо научного метода познания, применяемого в других отраслях, в биологии широко используются такие методы, как исторический, сравнительно-описательный и др.

Научный метод познания включает в себя наблюдение, формулировку гипотез, эксперимент, моделирование, анализ результатов и выведение общих закономерностей (рис. 1.1).

Наблюдение — это целенаправленное восприятие объектов и явлений с помощью органов чувств или приборов, обусловленное задачей деятельности. Основным условием научного наблюдения является его объективность, т. е. возможность проверки полученных данных путем повторного наблюдения или применения иных методов исследования, например эксперимента. Полученные в результате наблюдения факты называются *данными*. Они могут быть как *качественными* (описывающими запах, вкус, цвет, форму и т. д.), так и *количественными*, причем количественные данные являются более точными, чем качественные.

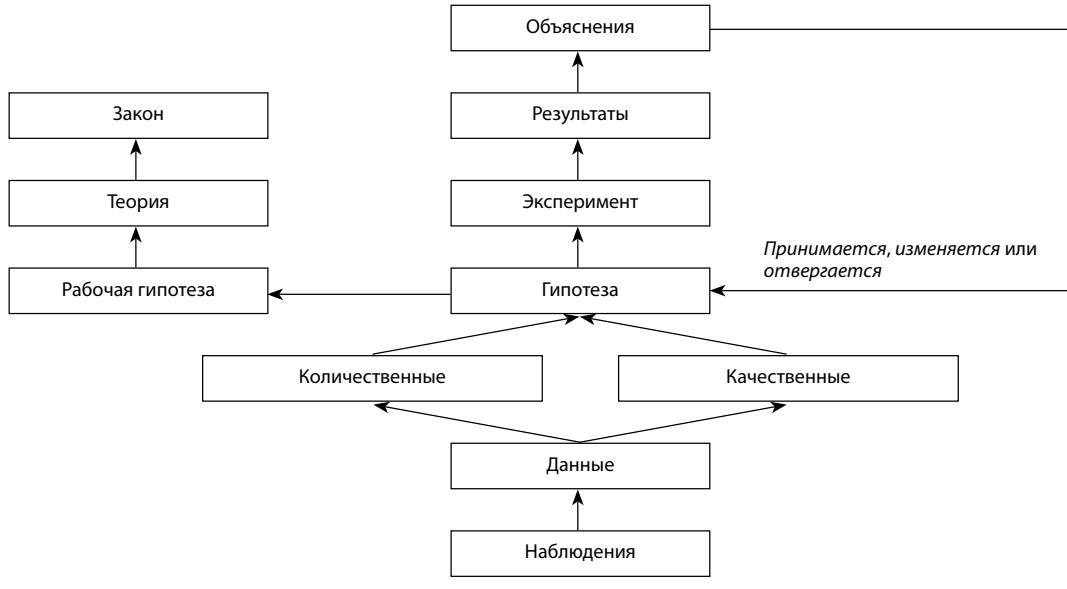


Рис. 1.1. Схематическое изображение научного метода исследования

На основе данных наблюдений формулируется *гипотеза* — предположительное суждение о закономерной связи явлений. Гипотеза подвергается проверке в серии экспериментов. *Экспериментом* называется научно поставленный опыт, наблюдение исследуемого явления в контролируемых условиях, позволяющих выявить характеристики данного объекта или явления. Высшей формой эксперимента является *моделирование* — исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения и изучения их моделей. По существу это одна из основных категорий теории познания: на идее моделирования базируется любой метод научного исследования — как теоретический, так и экспериментальный.

Результаты эксперимента и моделирования подвергаются тщательному анализу. *Анализом* называют метод научного исследования путем разложения предмета на составные части или мысленного расчленения объекта путем логической абстракции. Анализ неразрывно связан с синтезом. *Синтез* — это метод изучения предмета в его целостности, в единстве и взаимной связи его частей. В результате анализа и синтеза наиболее удачная гипотеза исследования становится *рабочей гипотезой*, и если она способна устоять при попытках ее опровержения и по-прежнему удачно предсказывает ранее необъясненные факты и взаимосвязи, то она может стать теорией.

Под *теорией* понимают такую форму научного знания, которая дает целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности. Общее направление научного исследования состоит в достижении более высоких уровней предсказуемости. Если теорию не способны изменить никакие факты, а встречающиеся отклонения от нее регулярны и предсказуемы, то ее можно возвести в ранг *закона* — необходимого, существенного, устойчивого, повторяющегося отношения между явлениями в природе.

По мере увеличения совокупности знаний и совершенствования методов исследования гипотезы и прочно укоренившиеся теории могут оспариваться, видоизменяться и даже отвергаться, поскольку сами научные знания по своей природе динамичны и постоянно подвергаются критическому переосмыслению.

Исторический метод выявляет закономерности появления и развития организмов, становления их структуры и функции. В ряде случаев с помощью этого метода новую жизнь обретают гипотезы и теории, ранее считавшиеся ложными. Так, например, произошло с предположениями Ч. Дарвина о природе передачи сигналов по растению в ответ на воздействия окружающей среды.

Сравнительно-описательный метод предусматривает проведение анатомо-морфологического анализа объектов исследования. Он лежит в основе классификации организмов, выявления закономерностей возникновения и развития различных форм жизни.

Мониторинг — это система мероприятий по наблюдению, оценке и прогнозу изменения состояния исследуемого объекта, в частности биосферы.

Проведение наблюдений и экспериментов требует зачастую применения специального оборудования, такого как микроскопы, центрифуги, спектрофотометры и др.

Микроскопия широко применяется в зоологии, ботанике, анатомии человека, гистологии, цитологии, генетике, эмбриологии, палеонтологии, экологии и других разделах биологии. Она позволяет изучить тонкое строение объектов с использованием световых, электронных, рентгеновских и других типов микроскопов.

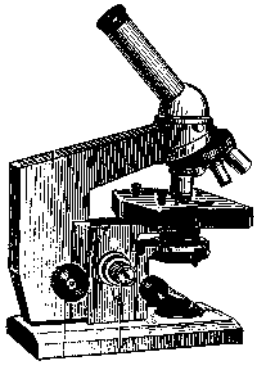


Рис. 1.2. Внешний вид светового микроскопа

Устройство светового микроскопа. Световой микроскоп состоит из оптических и механических частей. К первым относятся окуляр, объективы и зеркало, а ко вторым — тубус, штатив, основание, предметный столик и винт (рис. 1.2).

Общее увеличение микроскопа определяется по формуле:

увеличение объектива × увеличение окуляра = увеличение микроскопа.

Например, если объектив увеличивает объект в 8 раз, а окуляр — в 7, то общее увеличение микроскопа равно 56.

Дифференциальное центрифугирование, или *фракционирование*, позволяет разделить частицы по их размерам и плотности под дейст-

вием центробежной силы, что активно используется при изучении строения биологических молекул и клеток.

Арсенал методов биологии постоянно обновляется, и в настоящее время охватить его полностью практически невозможно. Поэтому некоторые методы, используемые в отдельных биологических науках, будут рассмотрены далее.

Роль биологии в формировании современной естественнонаучной картины мира

На этапе становления биология еще не существовала отдельно от других естественных наук и ограничивалась лишь наблюдением, изучением, описанием и классификацией представителей животного и растительного мира, т. е. была описательной наукой. Однако это не помешало античным естествоиспытателям Гиппократу (ок. 460–377 гг. до н. э.), Аристотелю (384–322 гг. до н. э.) и Теофрасту (настоящее имя Тиртам, 372–287 гг. до н. э.) внести значительный вклад в развитие представлений о строении тела человека и животных, а также о биологическом разнообразии животных и растений, заложив тем самым основы анатомии и физиологии человека, зоологии и ботаники.

Углубление познаний о живой природе и систематизация ранее накопленных фактов, происходившие в XVI–XVIII веках, увенчались введением бинарной номенклатуры и созданием стройной систематики растений (К. Линней) и животных (Ж. Б. Ламарк).

Описание значительного числа видов со сходными морфологическими признаками, а также палеонтологические находки стали предпосылками к развитию представлений о происхождении видов и путях исторического развития органического мира. Так, опыты Ф. Реди, Л. Спалланцани и Л. Пастера в XVII–XIX веках опровергли гипотезу спонтанного самозарождения, выдвинутую еще Аристотелем и бытовавшую в Средние века, а теория биохимической эволюции А. И. Опарина и Дж. Холдейна, блестяще подтвержденная С. Миллером и Г. Юри, позволила дать ответ на вопрос о происхождении всего живого.

Если процесс возникновения живого из неживых компонентов и его эволюция сами по себе уже не вызывают сомнений, то механизмы, пути и направления исторического развития органического мира все еще до конца не выяснены, поскольку ни одна из двух основных соперничающих между собой теорий эволюции (синтетическая теория эволюции, созданная на основе теории Ч. Дарвина, и теория Ж. Б. Ламарка) все еще не могут предъявить исчерпывающих доказательств.

Применение микроскопии и других методов смежных наук, обусловленное прогрессом в области других естественных наук, а также внедрение практики эксперимента позволило немецким ученым Т. Шванну и М. Шлейдену еще в XIX веке сформулировать клеточную теорию, позднее дополненную Р. Вирховым и К. Бэром. Она стала важнейшим обобщением в биологии, которое краеугольным камнем легло в основу современных представлений о единстве органического мира.

Открытие закономерностей передачи наследственной информации чешским монахом Г. Менделем послужило толчком к дальнейшему бурному развитию биологии в XX–XXI веках и привело не только к открытию универсального носителя наследственности — ДНК, но и генетического кода, а также фундаментальных механизмов контроля, считывания и изменчивости наследственной информации.

Развитие представлений об окружающей среде привело к возникновению такой науки, как *экология*, и формулировке *учения о биосфере* как о сложной многокомпонентной планетарной системе связанных между собой огромных биологических комплексов, а также химических и геологических процессов, происходящих на Земле (В. И. Вернадский), что в конечном итоге позволяет хотя бы в небольшой степени уменьшить негативные последствия хозяйственной деятельности человека.

Таким образом, биология сыграла немаловажную роль в становлении современной естественнонаучной картины мира.

1.2. Уровневая организация и эволюция. Основные уровни организации живой природы: клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный. Биологические системы. Общие признаки биологических систем: клеточное строение, особенности химического состава, обмен веществ и превращения энергии, гомеостаз, раздражимость, движение, рост и развитие, воспроизведение, эволюция

Уровневая организация и эволюция

Живая природа — не однородное образование, подобное кристаллу, она представлена бесконечным разнообразием составляющих ее объектов (одних только видов организмов в настоящее время описано около 2 млн). Вместе с тем это разнообразие не является и свидетельством хаоса, царящего в ней, поскольку организмы имеют клеточное строение, организмы одного вида образуют популяции, все популяции, обитающие на одном участке суши или воды, образуют сообщества, а во взаимодействии с телами неживой природы формируют биогеоценозы, в свою очередь составляющие биосферу.

Таким образом, 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. На каждом из уровней организации определяют элементарную единицу и элементарное явление. В качестве *элементарной единицы* рассматривают структуру или объект, изменения которых составляют специфический для соответствующего уровня вклад в процесс сохранения и развития жизни, тогда как само это изменение является *элементарным явлением*.

Формирование такой многоуровневой структуры не могло произойти мгновенно — это результат миллиардов лет исторического развития, в процессе которого происходило прогрессивное усложнение форм жизни: от комплексов органических молекул к клеткам, от клеток — к организмам и т. д. Однажды возникнув, эта структура поддерживает свое существование за счет сложной системы регуляции и продолжает развиваться, причем на каждом из уровней организации живой материи происходят соответствующие эволюционные преобразования.

Основные уровни организации живой природы: клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный

В настоящее время выделяют несколько основных уровней организации живой материи: клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный.

Клеточный уровень

Хотя проявления некоторых свойств живого обусловлены уже взаимодействием биологических макромолекул (белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов и др.), все же единицей строения, функций и развития живого является клетка, способная осуществлять и сопрягать процессы реализации и передачи наследственной информации с обменом веществ и превращения энергии, обеспечивая тем самым функционирование более высоких уровней организации. Элементарной единицей клеточного уровня организации является клетка, а элементарным явлением — реакции клеточного метаболизма.

Организменный уровень

Организм — это целостная система, способная к самостоятельному существованию.

По количеству клеток, входящих в состав организмов, их делят на одноклеточные и многоклеточные. Клеточный уровень организации у одноклеточных организмов (амебы обыкновенной,

эвглены зеленой и др.) совпадает с организменным. В истории Земли был период, когда все организмы были представлены только одноклеточными формами, но они обеспечивали функционирование как биогеоценозов, так и биосферы в целом. Большинство многоклеточных организмов представлено совокупностью тканей и органов, в свою очередь также имеющих клеточное строение. Органы и ткани приспособлены для выполнения определенных функций. Элементарной единицей данного уровня является особь в ее индивидуальном развитии, или онтогенезе, поэтому организменный уровень также называют *онтогенетическим*. Элементарным явлением данного уровня являются изменения организма в его индивидуальном развитии.

Популяционно-видовой уровень

Популяция — это совокупность особей одного вида, свободно скрещивающихся между собой и проживающих обособленно от других таких же групп особей.

В популяциях происходит свободный обмен наследственной информацией и ее передача потомкам. Популяция является элементарной единицей популяционно-видового уровня, а элементарным явлением в данном случае являются эволюционные преобразования, например мутации и естественный отбор.

Биогеоценотический уровень

Биогеоценоз представляет собой исторически сложившееся сообщество популяций разных видов, взаимосвязанных между собой и окружающей средой обменом веществ и энергии.

Биогеоценозы являются элементарными системами, в которых осуществляется вещественно-энергетический круговорот, обусловленный жизнедеятельностью организмов. Сами биогеоценозы — это элементарные единицы данного уровня, тогда как элементарные явления — это потоки энергии и круговороты веществ в них. Биогеоценозы составляют биосферу и обусловливают все процессы, протекающие в ней.

Биосферный уровень

Биосфера — оболочка Земли, населенная живыми организмами и преобразуемая ими.

Биосфера является самым высоким уровнем организации жизни на планете. Эта оболочка охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхний слой литосферы. Биосфера, как и все другие биологические системы, динамична и активно преобразуется живыми существами. Она сама является элементарной единицей биосферного уровня, а в качестве элементарного явления рассматривают процессы круговорота веществ и энергии, происходящие при участии живых организмов.

Как уже было сказано выше, каждый из уровней организации живой материи вносит свою лепту в единый эволюционный процесс: в клетке не только воспроизводится заложенная наследственная информация, но и происходит ее изменение, что приводит к возникновению новых сочетаний признаков и свойств организма, в свою очередь подвергающихся действию естественного отбора на популяционно-видовом уровне и т. д.

Биологические системы

Биологические объекты различной степени сложности (клетки, организмы, популяции и виды, биогеоценозы и саму биосферу) рассматривают в настоящее время в качестве *биологических систем*.

Система — это единство структурных компонентов, взаимодействие которых порождает новые свойства по сравнению с их механической совокупностью. Так, организмы состоят из органов, органы образованы тканями, а ткани формируют клетки.

Характерными чертами биологических систем являются их целостность, уровневый принцип организации, о чем говорилось выше, и открытость. Целостность биологических систем в значительной степени достигается за счет саморегуляции, функционирующей по принципу обратной связи.

К *открытым системам* относят системы, между которыми и окружающей средой происходит обмен веществ, энергии и информации, например, растения в процессе фотосинтеза улавливают солнечный свет и поглощают воду и углекислый газ, выделяя кислород.

Общие признаки биологических систем: клеточное строение, особенности химического состава, обмен веществ и превращения энергии, гомеостаз, раздражимость, движение, рост и развитие, воспроизведение, эволюция

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 и эволюция.

Элементарной структурно-функциональной единицей живого является клетка. Даже вирусы, относящиеся к неклеточным формам жизни, неспособны к самовоспроизведению вне клеток.

Различают два типа строения клеток: *прокариотические* и *эукариотические*. Прокариотические клетки не имеют сформированного ядра, их генетическая информация сосредоточена в цитоплазме. К прокариотам относят прежде всего бактерии. Генетическая информация в эукариотических клетках хранится в особой структуре — ядре. Эукариотами являются растения, животные и грибы. Если в одноклеточных организмах клетке присущи все проявления живого, то у многоклеточных происходит специализация клеток.

В живых организмах не встречается ни одного химического элемента, которого бы не было в неживой природе, однако их концентрации существенно различаются в первом и во втором случаях. Преобладают в живой природе такие элементы, как углерод, водород и кислород, которые входят в состав органических соединений, тогда как для неживой природы в основном характерны неорганические вещества. Важнейшими органическими соединениями являются нуклеиновые кислоты и белки, которые обеспечивают функции самовоспроизведения и самоподдержания, но ни одно из этих веществ не является носителем жизни, поскольку ни по отдельности, ни в группе они не способны к самовоспроизведению — для этого необходим целостный комплекс молекул и структур, которым и является клетка.

Все живые системы, в том числе клетки и организмы, являются открытыми системами. Однако, в отличие от неживой природы, где в основном происходит перенос веществ с одного места в другое или изменение их агрегатного состояния, живые существа способны к химическому превращению потребляемых веществ и использованию энергии. Обмен веществ и превращения энергии связаны с такими процессами, как питание, дыхание и выделение.

Под **питанием** обычно понимают поступление в организм, переваривание и усвоение им веществ, необходимых для пополнения энергетических запасов и построения тела организма. По способу питания все организмы делят на *автотрофов* и *гетеротрофов*.

Автотрофы — это организмы, которые способны сами синтезировать органические вещества из неорганических.

Гетеротрофы — это организмы, которые потребляют в пищу готовые органические вещества.

Автотрофы делятся на фотоавтотрофов и хемоавтотрофов. *Фотоавтотрофы* используют для синтеза органических веществ энергию солнечного света. Процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических соединений называется *фотосинтезом*. К фотоавтотрофам относится подавляющее большинство растений и некоторые бактерии (например, цианобактерии). В целом фотосинтез не слишком продуктивный процесс, вследствие чего большинство растений вынуждено вести прикрепленный образ жизни. *Хемоавтотрофы* извлекают энергию для синтеза органических соединений из неорганических соединений. Этот процесс называется *хемосинтезом*. Типичными хемоавтотрофами являются некоторые бактерии, в том числе серобактерии и железобактерии.

Остальные организмы — животные, грибы и подавляющее большинство бактерий — относятся к гетеротрофам.

Дыханием называют процесс расщепления органических веществ до более простых, при котором выделяется энергия, необходимая для поддержания жизнедеятельности организмов.

Различают *аэробное дыхание*, требующее кислорода, и *анаэробное*, протекающее без участия кислорода. Большинство организмов является аэробами, хотя среди бактерий, грибов и животных

встречаются и анаэробы. При кислородном дыхании сложные органические вещества могут расщепляться до воды и углекислого газа.

Под **выделением** обычно понимают выведение из организма конечных продуктов метаболизма и избытка различных веществ (воды, солей и др.), поступивших с пищей или образовавшихся в нем. Особенно интенсивно процессы выделения протекают у животных, тогда как растения чрезвычайно экономны.

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

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. Приспособление же к изменяющимся условиям среды называется **адаптацией**.

Раздражимость — это универсальное свойство живого реагировать на внешние и внутренние воздействия, которое лежит в основе приспособления организма к условиям окружающей среды и их выживания. Реакция растений на изменения внешних условий заключается, например, в повороте листовых пластинок к свету, а у большинства животных она имеет более сложные формы, имеющие рефлекторный характер.

Движение — неотъемлемое свойство биологических систем. Оно проявляется не только в виде перемещения тел и их частей в пространстве, например, в ответ на раздражение, но и в процессе роста и развития.

Новые организмы, появляющиеся в результате репродукции, получают от родителей не готовые признаки, а определенные генетические программы, возможность развития тех или иных признаков. Эта наследственная информация реализуется во время индивидуального развития. Индивидуальное развитие выражается, как правило, в количественных и качественных изменениях организма. Количественные изменения организма называются **ростом**. Они проявляются, например, в виде увеличения массы и линейных размеров организма, что основано на воспроизведении молекул, клеток и других биологических структур.

Развитие организма — это появление качественных различий в структуре, усложнение функций и т. д., что базируется на дифференцировании клеток.

Рост организмов может продолжаться всю жизнь или заканчиваться на каком-то определенном ее этапе. В первом случае говорят о *неограниченном*, или *открытом*, *росте*. Он характерен для растений и грибов. Во втором случае мы имеем дело с *ограниченным*, или *закрытым*, *ростом*, присущим животным и бактериям.

Продолжительность существования отдельной клетки, организма, вида и других биологических систем ограничена во времени в основном из-за воздействия факторов окружающей среды, поэтому требуется постоянное воспроизведение этих систем. В основе воспроизведения клеток и организмов лежит процесс самоудвоения молекул ДНК. Размножение организмов обеспечивает существование вида, а размножение всех видов, населяющих Землю, обеспечивает существование биосферы.

Наследственностью называют передачу признаков родительских форм в ряду поколений.

Однако, если бы при воспроизведении признаки сохранялись, приспособление к меняющимся условиям окружающей среды было бы невозможным. В связи с этим появилось противоположное наследственности свойство — *изменчивость*.

Изменчивость — это возможность приобретения в течение жизни новых признаков и свойств, которое обеспечивает эволюцию и выживание наиболее приспособленных видов.

Эволюция — это необратимый процесс исторического развития живого.

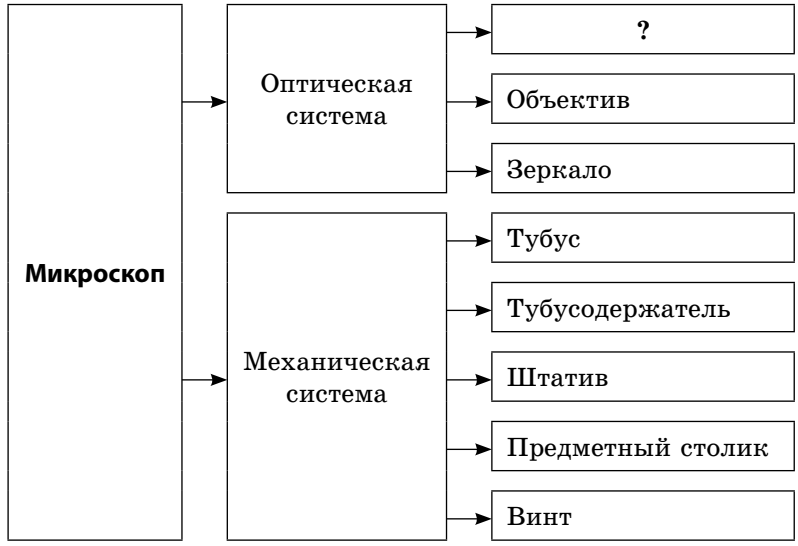
Она базируется на *прогрессивном размножении*, *наследственной изменчивости*, *борьбе за существование* и *естественном отборе*. Действие этих факторов привело к огромному разнообразию форм жизни, приспособленных к различным условиям среды обитания. Прогрессивная эволюция прошла ряд ступеней: доклеточных форм, одноклеточных организмов, все усложняющихся многоклеточных вплоть до человека.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 1 «БИОЛОГИЯ КАК НАУКА. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–10 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему строения микроскопа. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме вопросительным знаком.



Ответ: _____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Карлу Линнею современная ботаника обязана

1) формулировкой первой теории эволюции растительного и животного мира
2) созданием единой системы классификации растительного и животного мира
3) описанием более шестисот новых видов растений
4) открытием клетки
5) введением бинарной номенклатуры

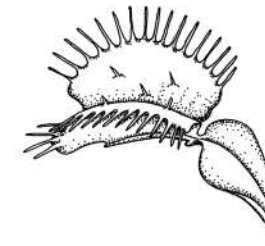
Ответ: ☐☐

3 Все приведенные ниже открытия в области биологии, кроме двух, были сделаны в XIX веке. Определите два открытия, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) формулировка клеточной теории
2) введение бинарной номенклатуры
3) расшифровка генетического кода
4) исследование закономерностей независимого наследования
5) создание эволюционной теории

Ответ: ☐☐

4 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



Если у биологической системы имеется структура, изображенная на рисунке, то она может быть объектом изучения

1) цитологии
2) зоологии
3) антропологии
4) морфологии
5) биохимии
6) микробиологии

Ответ: | | | |

5 Известно, что клетка — **элементарная открытая живая система микроскопического размера**. Выберите из приведенного текста три утверждения, относящиеся к описанию перечисленных выше признаков клетки. Запишите в таблицу **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

(1) Клетка была открыта в 1667 году Р. Гуком. (2) Она является единицей строения, функций и развития организма. (3) Несмотря на то что клетке присущи все свойства живого, она осуществляет обмен с окружающей средой веществом и энергией. (4) По особенностям строения клетки делят на эукариотические и прокариотические. (5) Размеры эукариотической клетки варьируют от 5 до 100 мкм, а прокариотической — от 0,5 до 5 мкм. (6) К эукариотическим организмам относятся растения, животные и грибы, а к прокариотическим — бактерии.

Ответ: | | | |

6 Исследователь использовал микроскоп с увеличением окуляра 7× и объектива 40×. Каково общее увеличение микроскопа? В ответе запишите только соответствующее **число**.

Ответ:_____

7 Установите соответствие между примерами исследований и группами методов биологии: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ	ГРУППА МЕТОДОВ
А) микроскопирование кишечной палочки	1) теоретические
Б) маршрутный учет животных по следам	2) эмпирические
В) описание нового вида электрического ската	
Г) моделирование экосистем озера Байкал	
Д) выработка условного рефлекса на звонок у собаки	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

8 Установите последовательность пунктов инструкции по работе со световым микроскопом. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) при помощи зеркала настройте освещение
2) положите микропрепарат на предметный столик
3) приподнимите тубусодержатель с объективами с помощью микровинта
4) установите объектив
5) глядя в окуляр, медленно вращайте винт до тех пор, пока в поле зрения не появится изображение объекта
6) глядя сбоку, опустите объектив на расстояние 1 см от препарата

Ответ: | | | | | | |

9 Проанализируйте таблицу «Уровни организации живой природы». Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин, из предложенного списка.

Уровень организации	**Элементарное явление**	**Наука, изучающая уровень**
_____ (А)	Реакция метаболизма	Цитология
Организменный	_____ (Б)	Морфология, систематика
Популяционно-видовой	Изменение генофонда	_____ (В)

Список терминов:

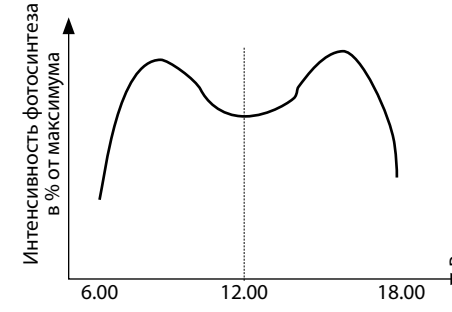
1) клеточный
2) биогеоценотический
3) биосферный
4) процессы филогенеза
5) процессы онтогенеза
6) палеонтология
7) экология
8) биохимия

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

10 Проанализируйте график интенсивности фотосинтеза у растений саванны.



Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.
Интенсивность фотосинтеза

1) возрастает в течение дня
2) зависит от факторов окружающей среды
3) определяется генетической программой организма
4) снижается в наиболее жаркое время дня
5) достигает максимума на рассвете и на закате

Запишите в ответе **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

Ответ:_____

Часть 2

Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

11 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Биологические системы и тела неживой природы различаются по химическому составу. (2) Первые содержат ряд химических элементов, которые не встречаются в неживой природе. (3) Концентрации одинаковых для живого и неживого химических элементов существенно различаются. (4) Организмы способны синтезировать сложные органические вещества. (5) Биологические системы являются открытыми системами, так как не осуществляют обмена веществом и энергией с окружающей средой. (6) Как и все открытые системы, биологические объекты способны к саморегуляции. (7) Саморегуляция лежит в основе гемостаза — способности биологических систем поддерживать относительное постоянство химического состава, строения и свойств, а также обеспечивать постоянство функционирования в изменяющихся условиях окружающей среды.

Ответ:

12 В 1725 г. английский ученый Стефан Хейлз провел эксперимент, в котором использовал побеги растения винограда и похожий на гребень с пятью зубьями прибор. Весной он нанес с помощью своего прибора красной краской в верхней части побега 10 точек. Осенью он обнаружил, что вблизи верхушки побега расстояние между точками увеличилось, тогда как ниже оно почти не изменилось.

Какой метод исследований применил С. Хейлз? Сформулируйте закономерность роста растений, установленную им.

Ответ:

Раздел 2

Клетка как биологическая система

2.1. Современная клеточная теория, ее основные положения, роль в формировании современной естественнонаучной картины мира. Развитие знаний о клетке. Клеточное строение организмов — основа единства органического мира, доказательство родства живой природы

Современная клеточная теория, ее основные положения, роль в формировании современной естественнонаучной картины мира

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*, в настоящее время чаще именуемая *клеточной биологией*. 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.

Благодаря созданию клеточной теории стало понятно, что клетка является мельчайшей единицей жизни, элементарной живой системой, которой присущи все признаки и свойства живого. Формулировка клеточной теории стала важнейшей предпосылкой развития воззрений на наслед-

ственность и изменчивость, так как выявление их природы и присущих им закономерностей неизбежно наводило на мысль об универсальности строения живых организмов. Выявление единства химического состава и плана строения клеток послужило толчком и для развития представлений о происхождении живых организмов и их эволюции. Кроме того, происхождение многоклеточных организмов из единственной клетки в процессе эмбрионального развития стало догмой современной эмбриологии.

Развитие знаний о клетке

До XVII века человек вообще ничего не знал о микроструктуре окружающих его предметов и воспринимал мир невооруженным глазом. Прибор для изучения микромира — микроскоп — был изобретен приблизительно в 1590 году голландскими механиками Г. и З. Янсенами, однако его несовершенство не давало возможности рассмотреть достаточно мелкие объекты. Лишь создание на его основе так называемого сложного микроскопа К. Дреббелем (1572–1634) способствовало прогрессу в данной области.

В 1665 году английский ученый-физик Р. Гук (1635–1703) усовершенствовал конструкцию микроскопа и технологию шлифовки линз и, желая убедиться в улучшении качества изображения, рассматривал под ним срезы пробки, древесного угля и живых растений. На срезах он обнаружил мельчайшие поры, напоминающие пчелиные соты, и назвал их клетками (от лат. *целлюла* — ячейка, клетка). Интересно отметить, что Р. Гук считал главным компонентом клетки клеточную оболочку.

Во второй половине XVII века появились работы виднейших микроскопистов М. Мальпиги (1628–1694) и Н. Грю (1641–1712), также обнаруживших ячеистое строение многих растений.

Чтобы удостовериться, что увиденное Р. Гуком и другими учеными является правдой, не имевший специального образования голландский торговец А. ван Левенгук самостоятельно разработал конструкцию микроскопа, принципиально отличавшуюся от уже существующей, и усовершенствовал технологию изготовления линз. Это позволило ему достичь увеличения в 275–300 раз и рассмотреть такие детали строения, которые были технически недоступны остальным ученым. А. ван Левенгук был непревзойденным наблюдателем: он тщательно зарисовывал и описывал увиденное под микроскопом, но не стремился объяснить этого. Он открыл одноклеточные организмы, в том числе и бактерии, в клетках растений обнаружил ядра, хлоропласты, утолщения клеточных стенок, но оценить его открытия смогли намного позже.

Открытия компонентов внутреннего строения организмов в первой половине XIX века следовали одно за другим. Г. Моль различил в клетках растений живое вещество и водянистую жидкость — клеточный сок, обнаружил поры. Английский ботаник Р. Броун (1773–1858) в 1831 году открыл ядро в клетках орхидей, затем оно было обнаружено во всех растительных клетках. Чешский ученый Я. Пуркинье (1787–1869) для обозначения полужидкого студенистого содержимого клетки без ядра ввел термин «протоплазма» (1840). Дальше всех современников продвинулся бельгийский ботаник М. Шлейден (1804–1881), который, изучая развитие и дифференциацию разнообразных клеточных структур высших растений, доказал, что все растительные организмы ведут свое происхождение от одной клетки. Он же рассмотрел в ядрах клеток чешуи лука округлые тельца-ядрышки (1842).

В 1827 году русский ученый-эмбриолог К. Бэр обнаружил яйцеклетки человека и других млекопитающих, опровергнув тем самым представления о развитии организма исключительно из мужских гамет. Кроме того, он доказал формирование многоклеточного животного организма из единственной клетки — оплодотворенной яйцеклетки, а также сходство стадий зародышевого развития многоклеточных животных, которое наводило на мысль о единстве их происхождения.

Сведения, накопленные к середине XIX века, требовали обобщения, которым и стала клеточная теория. Ее формулировке биология обязана немецкому зоологу Т. Шванну (1810–1882), который на основе собственных данных и выводов М. Шлейдена о развитии растений выдвинул предположение о том, что если в каком-либо видимом под микроскопом образовании присутствует

ядро, то это образование является клеткой. Основываясь на данном критерии, Т. Шванн сформулировал основные положения клеточной теории.

Немецкий врач и патолог Р. Вирхов (1821–1902) внес в эту теорию еще одно важное положение: клетки возникают только путем деления исходной клетки, т. е. клетки образуются только из клеток («клетка от клетки»).

Со времени создания клеточной теории учение о клетке как о единице структуры, функции и развития организма непрерывно развивалось. К концу XIX века благодаря успехам микроскопической техники было уточнено строение клетки, описаны органоиды — части клетки, выполняющие различные функции, исследованы способы образования новых клеток (митоз, мейоз) и стало понятным первостепенное значение клеточных структур в передаче наследственных свойств. Применение новейших физико-химических методов исследования позволило углубиться в процессы хранения и передачи наследственной информации, а также исследовать тонкое строение каждой из структур клетки. Все это способствовало выделению науки о клетке в самостоятельную отрасль знания — *цитологию*.

Клеточное строение организмов, сходство строения клеток всех организмов — основа единства органического мира, доказательства родства живой природы

Все известные на сегодняшний день живые организмы (растения, животные, грибы и бактерии) имеют клеточное строение. Даже вирусы, которые не имеют клеточного строения, могут размножаться только в клетках. Клетка — элементарная структурно-функциональная единица живого, которой присущи все его проявления, в частности, обмен веществ и превращения энергии, гомеостаз, рост и развитие, воспроизведение и раздражимость. При этом именно в клетках хранится, перерабатывается и реализуется наследственная информация.

Несмотря на все разнообразие клеток, план строения для них един: все они содержат *наследственный аппарат*, погруженный в *цитоплазму*, и окружающую клетку *плазматическую мембрану*.

Клетка возникла в результате длительной эволюции органического мира. Объединение клеток в многоклеточный организм не является простым суммированием, так как каждая клетка, сохраняя все присущие живому организму признаки, в то же время приобретает новые свойства вследствие выполнения ею определенной функции. С одной стороны, многоклеточный организм можно разделить на составляющие его части — клетки, но с другой стороны, сложив их вновь воедино, невозможно восстановить функции целостного организма, так как лишь во взаимодействии частей системы появляются новые свойства. В этом проявляется одна из основных закономерностей, характеризующих живое, — единство дискретного и целостного. Небольшие размеры и значительное количество клеток создают у многоклеточных организмов большую поверхность, необходимую для обеспечения быстрого обмена веществ. Кроме того, в случае гибели одной части организма его целостность может быть восстановлена за счет воспроизведения клеток. Вне клетки невозможны хранение и передача наследственной информации, хранение и перенос энергии с последующим превращением ее в работу. Наконец, разделение функций между клетками в многоклеточном организме обеспечило широкие возможности приспособления организмов к среде обитания и явилось предпосылкой усложнения их организации.

Таким образом, установление единства плана строения клеток всех живых организмов послужило доказательством единства происхождения всего живого на Земле.

2.2. Многообразие клеток. Прокариотические и эукариотические клетки. Сравнительная характеристика клеток растений, животных, бактерий, грибов

Многообразие клеток

Согласно клеточной теории клетка является наименьшей структурно-функциональной единицей организмов, которой присущи все свойства живого. По количеству клеток организмы делят на одноклеточные и многоклеточные. Клетки одноклеточных организмов существуют как самостоятельные организмы и осуществляют все функции живого. Одноклеточными являются все прокариоты и целый ряд эукариот (многие виды водорослей, грибов и простейшие животные), которые поражают чрезвычайным разнообразием форм и размеров. Однако большинство организмов все же является многоклеточными. Их клетки специализируются на выполнении определенных функций и образуют ткани и органы, что не может не отражаться на морфологических особенностях. Например, организм человека образован примерно из 10^{14} клеток, представленных примерно 200 видами, имеющими самые разнообразные формы и размеры.

Форма клеток может быть округлой, цилиндрической, кубической, призматической, дисковидной, веретеновидной, звездчатой и др. (рис. 2.1). Так, яйцеклетки имеют округлую форму, клетки эпителия — цилиндрическую, кубическую и призматическую, форму двояковогнутого диска имеют эритроциты крови, веретеновидными являются клетки мышечной ткани, а звездчатую — клетки нервной ткани. Ряд клеток вообще не имеет постоянной формы. К ним относятся, прежде всего, лейкоциты крови.

Размеры клеток также существенно варьируют: большинство клеток многоклеточного организма имеют размеры от 10 до 100 мкм, а наименьшие — 2–4 мкм. Нижний предел обусловлен тем, что клетка должна иметь минимальный набор веществ и структур для обеспечения жизнедеятельности, а слишком большие размеры клетки будут препятствовать обмену веществ и энергии с окружающей средой, а также будут затруднять процессы поддержания гомеостаза. Тем не менее некоторые клетки можно рассмотреть невооруженным взглядом. Прежде всего к ним относятся клетки плодов арбуза и яблони, а также яйцеклетки рыб и птиц. Даже если один из линейных размеров клетки превышает средние показатели, все остальные соответствуют норме. Например, отросток нейрона может в длину превышать 1 м, но его диаметр все равно будет соответствовать среднему значению. Между размерами клеток и размерами тела не существует прямой зависимости. Так, клетки мышц слона и мыши имеют одинаковые размеры.

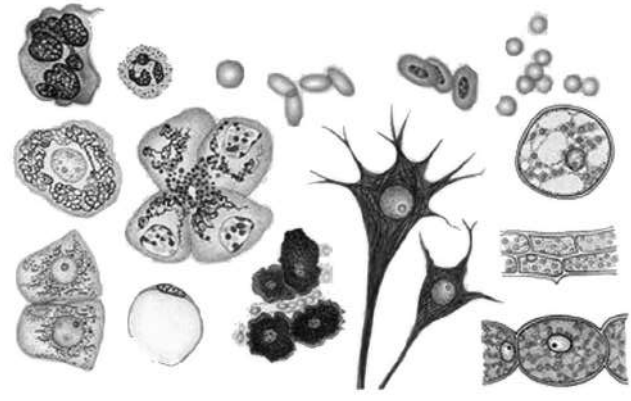


Рис. 2.1. Разнообразие клеток

Прокариотические и эукариотические клетки

Как уже упоминалось выше, клетки имеют много сходных функциональных свойств и морфологических особенностей. Каждая из них состоит из *цитоплазмы,* погруженного в нее *наследственного аппарата*, и отделена от внешней среды *плазматической мембраной, или плазмалеммой*, не препятствующей процессу обмена веществ и энергии. Снаружи от мембраны у клетки может быть еще клеточная стенка, состоящая из различных веществ, которая служит для защиты клетки и является своего рода ее внешним скелетом.

Цитоплазма представляет собой все содержимое клетки, заполняющее пространство между плазматической мембраной и структурой, содержащей генетическую информацию. Она состоит из основного вещества — *гиалоплазмы* — и погруженных в нее органоидов и включений. *Органоиды* — это постоянные компоненты клетки, выполняющие определенные функции, а *включения* — возникающие и исчезающие в процессе жизни клетки компоненты, выполняющие в основном запасающую или выделительную функции. Часто включения делят на твердые и жидкие. Твердые включения представлены в основном гранулами и могут иметь различную природу, тогда как в качестве жидких включений рассматривают вакуоли и капли жира (рис. 2.2).

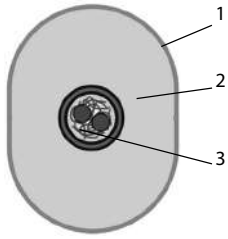


Рис. 2.2. Общий план строения клетки:
1 — плазматическая мембрана;
2 — цитоплазма;
3 — наследственная информация

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

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

Область цитоплазмы, в которой хранится генетическая информация в прокариотической клетке, называют *нуклеоидом*. В цитоплазме прокариотических клеток встречается, главным образом, один вид органоидов — рибосомы, а окруженные мембранами органоиды отсутствуют вовсе. Прокариотами являются бактерии.

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

Цитоплазма эукариотических клеток отличается значительным разнообразием мембранных и немембранных органоидов. 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.

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. Безусловно, это не означает, что другие организмы не способны к фотосинтезу, поскольку, например, у бактерий он протекает на впячиваниях плазмалеммы и отдельных мембранных пузырьках в цитоплазме.

Растительные клетки, как правило, содержат крупные вакуоли, заполненные 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 — гликоген или волютин.

Еще одним отличительным признаком этих групп организмов является организация поверхностного аппарата: у клеток животных организмов клеточная стенка отсутствует, их плазматиче-

ская 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 (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Сравнительная характеристика строения клеток растений, животных, грибов и бактерий

Признак	Бактерии	Животные	Грибы	Растения
Способ питания	Гетеротрофный или автотрофный	Гетеротрофный	Гетеротрофный	Автотрофный
Организация наследственной информации	Прокариоты	Эукариоты	Эукариоты	Эукариоты
Локализация ДНК	Нуклеоид, плазмиды	Ядро, митохондрии	Ядро, митохондрии	Ядро, митохондрии, пластиды
Плазматическая мембрана	Есть	Есть	Есть	Есть
Клеточная стенка	Муреиновая	—	Хитиновая	Целлюлозная
Цитоплазма	Есть	Есть	Есть	Есть
Органоиды	Рибосомы	Мембранные и немембранные, в том числе клеточный центр	Мембранные и немембранные	Мембранные и немембранные, в том числе пластиды
Органоиды движения	Жгутики и ворсинки	Жгутики и реснички	Жгутики и реснички	Жгутики и реснички
Вакуоли	Редко	Сократительные, пищеварительные	Иногда	Центральная вакуоль с клеточным соком
Включения	Гликоген, волютин	Гликоген	Гликоген	Крахмал

Отличия в строении клеток представителей разных царств живой природы приведены на рис. 2.3.

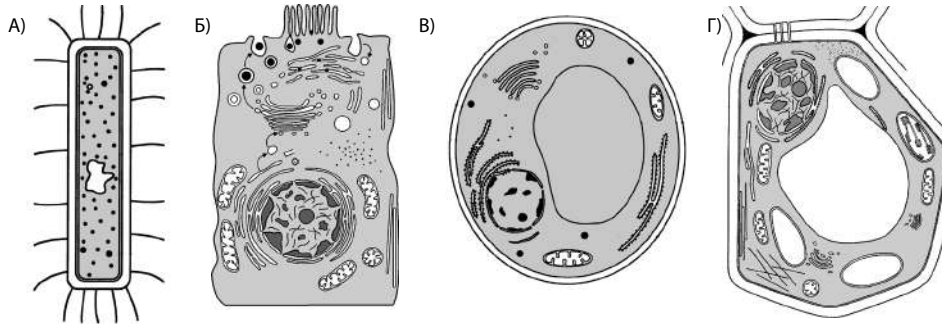


Рис. 2.3. Строение клеток бактерий (А), животных (Б), грибов (В) и растений (Г)

2.3. Химический состав клетки. Макро- и микроэлементы. Взаимосвязь строения и функций неорганических и органических веществ (белков, нуклеиновых кислот, углеводов, липидов, АТФ), входящих в состав клетки. Роль химических веществ в клетке и организме человека

Химический состав клетки

В составе живых организмов обнаружено большинство химических элементов Периодической системы элементов Д. И. Менделеева, открытых к настоящему времени. С одной стороны, в них не содержится ни одного элемента, которого не было бы в неживой природе, а с другой стороны, их концентрации в телах неживой природы и живых организмах существенно различаются (табл. 2.2).

Эти химические элементы образуют неорганические и органические вещества. Несмотря на то что в живых организмах преобладают неорганические вещества (рис. 2.4), 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.

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.

Таблица 2.2

Содержание некоторых химических элементов в неживой природе и живых организмах, %

Химический элемент	Земная кора	Морская вода	Живые организмы
O	49,2	85,8	65–75
C	0,4	0,0035	15–18
H	1,0	10,67	8–10
N	0,04	0,37	1,5–3,0
P	0,1	0,003	0,20–1,0
S	0,15	0,09	0,15–0,2
K	2,35	0,04	0,15–0,4
Ca	3,25	0,05	0,04–2,0
Cl	0,2	0,06	0,05–0,1
Mg	2,35	0,14	0,02–0,03
Na	2,4	1,14	0,02–0,03
Fe	4,2	0,00015	0,01–0,015
Zn	< 0,01	0,00015	0,0003
Cu	< 0,01	< 0,00001	0,0002
I	< 0,01	0,000015	0,0001
F	0,1	2,07	0,0001

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. Содержание химических элементов в организме существенно различается (см. табл. 2.2). 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. Калий также необходим для работы многих ферментов и удержания воды в клетке. Кальций входит в состав клеточных стенок растений, костей, зубов и раковин моллюсков и требуется для сокращения мышечных клеток, а также для внутриклеточного движения. Магний является компонентом хлорофилла — пигмента, обеспечивающего протекание фотосинтеза. Он также принимает участие в биосинтезе белка. Железо, помимо того, что оно входит в состав гемоглобина, переносящего кислород в крови, необходимо для протекания процессов дыхания и фотосинтеза, а также 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.

Содержание химических элементов в различных клетках и организмах неодинаково, в значительной степени оно обусловлено условиями окружающей среды. Так, клетки морских водорослей содержат относительно много йода, позвоночных животных — железа, а моллюсков и ракообразных — меди.

Как недостаток, так и избыток или нарушение обмена макро- и микроэлементов приводят к развитию различных заболеваний. В частности, недостаток кальция и фосфора вызывает рахит, нехватка азота — тяжелую белковую недостаточность, дефицит железа — анемию, а отсутствие йода — нарушение образования гормонов щитовидной железы и снижение интенсивности обмена веществ. Уменьшение поступления фтора с водой и пищей в значительной степени обусловливает нарушение обновления эмали зубов и, как следствие, предрасположенность к кариесу. Свинец токсичен почти для всех организмов. Его избыток вызывает необратимые повреждения головного мозга и центральной нервной системы, что проявляется потерей зрения и слуха, бессонницей, почечной недостаточностью, судорогами, а также может привести к параличу и такому заболеванию, как рак. Острое отравление свинцом сопровождается внезапными галлюцинациями и заканчивается комой и смертью.

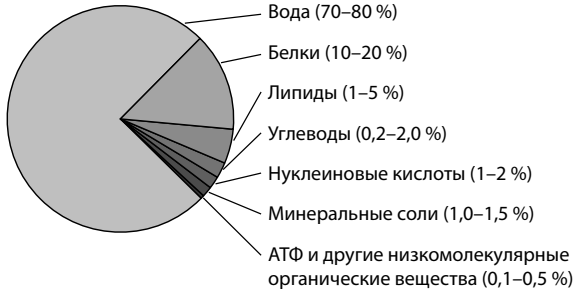


Рис. 2.4. Содержание химических веществ в клетке

Недостаток макро- и микроэлементов можно компенсировать путем увеличения их содержания в пище и питьевой воде, а также за счет приема лекарственных препаратов. Так, йод содержится в морепродуктах и йодированной соли, кальций — в яичной скорлупе и т. п.

Взаимосвязь строения и функций неорганических и органических веществ (белков, нуклеиновых кислот, углеводов, липидов, АТФ), входящих в состав клетки. Роль химических веществ в клетке и организме человека

Неорганические вещества

Химические элементы клетки образуют различные соединения — неорганические и органические. К неорганическим веществам клетки относятся вода, минеральные соли, кислоты и др., а к органическим — белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, липиды, АТФ, витамины и др. (рис. 2.4).

Вода (H_2O) — наиболее распространенное неорганическое вещество клетки, обладающее уникальными физико-химическими свойствами. У нее нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха. Плотность и вязкость всех веществ оценивается по воде. Как и многие другие вещества, вода может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом (лед), жидком и газообразном (пар). Температура плавления воды — 0 °С, температура кипения — 100 °С, однако растворение в воде других веществ может изменять эти характеристики. Теплоемкость воды также достаточно велика — 4200 кДж/моль·К, что дает ей возможность принимать участие в процессах терморегуляции. В молекуле воды атомы водорода расположены под углом 105°, при этом общие электронные пары оттягиваются более электроотрицательным атомом кислорода. Это обусловливает дипольные свойства молекул воды (один их конец заряжен положительно, а другой — отрицательно) и возможность образования между молекулами воды водородных связей (рис. 2.5). Сцепление молекул воды лежит в основе явления поверхностного натяжения, капиллярности и свойств воды как универсального растворителя. Вследствие этого все вещества делятся на растворимые в воде (гидрофильные) и нерастворимые в ней (гидрофобные). Благодаря этим уникальным свойствам предопределено то, что вода стала основой жизни на Земле.

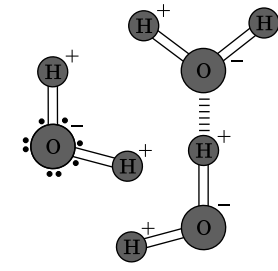


Рис. 2.5. Образование водородной связи

Среднее содержание воды в клетках организма неодинаково и может изменяться с возрастом. Так, у полуторамесячного эмбриона человека содержание воды в клетках достигает 97,5 %, у восьмимесячного — 83 %, у новорожденного снижается до 74 %, а у взрослого человека составляет в среднем 66 %. Однако клетки организма различаются содержанием воды. Так, в костях содержится около 20 % воды, в печени — 70 %, а в мозге — 86 %. В целом можно сказать, что *концентрация воды в клетках прямо пропорциональна интенсивности обмена веществ*.

Минеральные соли могут находиться в растворенном или нерастворенном состояниях. *Растворимые 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, который принимает 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 и 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. В последние годы исследуется также роль оксида азота (II) в передаче сигналов в клетках и организме.

Органические вещества

Общая характеристика органических веществ клетки

Органические вещества клетки 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 структурные единицы — *мономерами*. В зависимости от того, повторяются или нет звенья полимеров, их относят к *регулярным* или *нерегулярным* (рис. 2.6). Полимеры составляют до 90 % массы сухого вещества клетки. Они относятся к трем основным классам органических соединений — углеводам (полисахариды), белкам и нуклеиновым кислотам. Регулярными полимерами являются полисахариды, а белки и нуклеиновые кислоты — нерегулярными. В белках и нуклеиновых кислотах последовательность мономеров крайне важна, так как они выполняют информационную функцию.

Рис. 2.6. Схематическое изображение строения регулярных и нерегулярных полимеров

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 простые и сложные углеводы.

Простые углеводы (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* (C_5) и *гексозы* (C_6). К пентозам относятся рибоза и дезоксирибоза. *Рибоза* входит в состав РНК и АТФ. *Дезоксирибоза* является компонентом ДНК. Гексозы ($C_6H_{12}O_6$) — это глюкоза, фруктоза, галактоза и др. *Глюкоза* (виноградный сахар) (рис. 2.7) встречается во всех организмах, в том числе в крови человека, поскольку является энергетическим резервом. Она входит в состав многих сложных сахаров: 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.

Рис. 2.7. Строение молекулы глюкозы

Большинство моносахаридов способно давать реакцию серебряного зеркала и восстанавливать медь при добавлении фелинговой жидкости (смесь растворов сульфата меди (II) и калий-натрий виннокислого) и кипячении.

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. К дисахаридам относятся сахароза, лактоза, мальтоза и др. *Сахароза* (свекловичный или тростниковый сахар) состоит из остатков глюкозы и фруктозы (рис. 2.8), 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*, или *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.

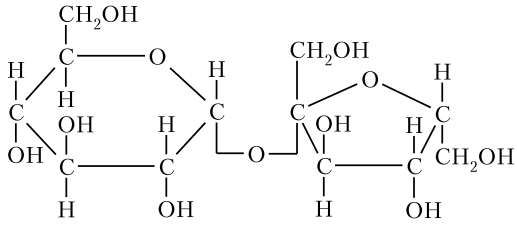


Рис. 2.8. Строение молекулы сахарозы

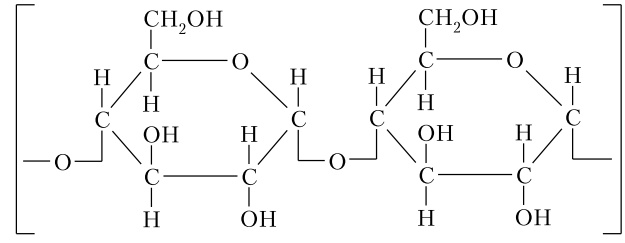


Рис. 2.9. Строение молекулы крахмала

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. В действительности крахмал состоит из двух полимеров — менее разветвленной амилозы и более разветвленного амилопектина (рис. 2.9). Мономером как амилозы, так и амилопектина является глюкоза. Крахмал — основное запасное вещество растений, которое в огромных количествах накапливается в семенах, плодах, клубнях, корневищах и других запасающих органах растений. Качественной реакцией на крахмал является реакция с йодом, при которой крахмал окрашивается в сине-фиолетовый цвет.

Гликоген (животный крахмал) — это запасной полисахарид животных и грибов, который у человека в наибольших количествах накапливается в мышцах и печени. Он также нерастворим в воде и несладок на вкус. Мономером гликогена является глюкоза. По сравнению с молекулами крахмала, молекулы гликогена еще более разветвлены.

Целлюлоза, или *клетчатка*, — основной опорный полисахарид растений. Мономером целлюлозы является глюкоза (рис. 2.10). Неразветвленные молекулы целлюлозы образуют пучки, которые входят в состав клеточных стенок растений. Целлюлоза является основой древесины, она используется в строительстве, при производстве тканей, бумаги, спирта и многих органических веществ. Целлюлоза химически инертна и не растворяется ни в кислотах, ни в щелочах. Она также не расщепляется ферментами пищеварительной системы человека, однако ее перевариванию способствуют бактерии толстого кишечника. Кроме того, клетчатка стимулирует сокращения стенок желудочно-кишечного тракта, способствуя улучшению его работы.

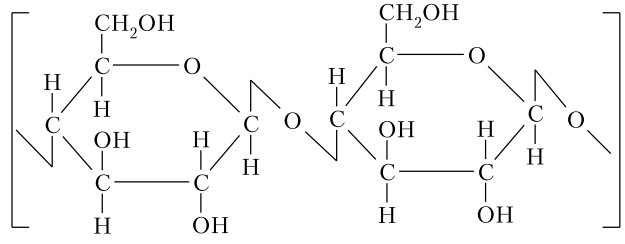


Рис. 2.10. Строение молекулы целлюлозы

Хитин — это полисахарид, мономером которого является азотсодержащий моносахарид. Он входит в состав клеточных стенок грибов и панцирей членистоногих. В пищеварительной системе человека также отсутствует фермент переваривания хитина, его имеют лишь некоторые бактерии.

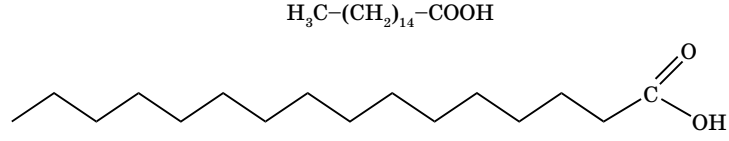
Функции углеводов. Углеводы выполняют в клетке пластическую (строительную), энергетическую, запасающую и опорную функции. Они образуют клеточные стенки растений и грибов. Энергетическая ценность расщепления 1 г углеводов составляет 17,2 кДж. Глюкоза, фруктоза, сахароза, крахмал и гликоген являются запасными веществами. Углеводы могут также входить в состав сложных липидов и белков, образуя гликолипиды и гликопротеины, в частности в клеточных мембранах. Не менее важной представляется роль углеводов в межклеточном узнавании и восприятии сигналов внешней среды, поскольку они в составе гликопротеинов выполняют функции рецепторов.

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. Вместе с белками и углеводами они являются одними из основных компонентов клеток. Содержание липидов в различных клетках неодинаково, особенно много их в семенах и плодах некоторых растений, в печени, сердце, крови.

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

Жиры являются сложными эфирами трехатомного спирта глицерина и высших жирных кислот (рис. 2.11). Большинство жирных кислот содержит 14–22 углеродных атома. Среди них есть как насыщенные, так и ненасыщенные, то есть содержащие двойные связи. 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 — гидрофобные «хвосты».



Строение жирной кислоты
(на примере пальмитиновой кислоты)

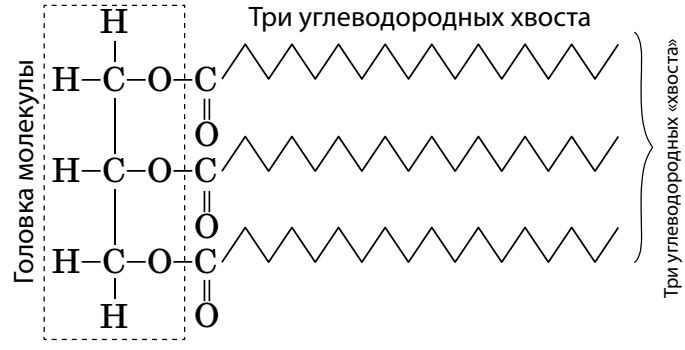


Рис. 2.11. Строение молекулы жира

Жиры выполняют в клетках в основном запасающую функцию и служат источником энергии. Ими богата подкожная жировая клетчатка, выполняющая амортизационную и термоизоляционную функции, а у водных животных — еще и повышающая плавучесть. 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 эфиры и смеси жирных кислот и жирных спиртов. У растений они образуют пленку на поверхности листа, которая защищает от испарения, проникновения патогенов и т. п. У ряда животных они покрывают тело или служат для построения сот.

К *стероидам* относятся такие липиды, как холестерол — обязательный компонент клеточных мембран, а также половые гормоны эстрадиол, тестостерон, витамин D 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, выделительную и регуляторную функции, кроме того, они являются витаминами. Это обязательный компонент клеточных мембран. При расщеплении 1 г липидов выделяется 38,9 кДж энергии. Они откладываются в запас в различных органах растений и животных. К тому же подкожная жировая клетчатка защищает внутренние органы от переохлаждения или перегревания, а также ударов. Регуляторная функция липидов связана с тем, что некоторые из них являются гормонами. Жировое тело насекомых служит для выделения.

Белки

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

Аминокислотой называют органическое соединение, имеющее аминогруппу, карбоксильную группу и радикал (рис. 2.12). Всего в природе встречается около 200 аминокислот, которые различаются радикалами и взаимным расположением функциональных групп, но только 20 из них могут входить в состав белков. Такие аминокислоты называют *протеиногенными*.

К сожалению, не все протеиногенные аминокислоты могут синтезироваться в организме человека, поэтому их делят на заменимые и незаменимые. *Заменимые аминокислоты* образуются в организме человека в необходимом количестве, а *незаменимые* — нет. Они должны поступать с пищей, но могут и частично синтезироваться микроорганизмами кишечника. Полностью незаменимых аминокислот насчитывается 8. К ним относятся валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин. Несмотря на то что в растениях синтезируются абсолютно все протеиногенные аминокислоты, растительные белки являются неполноценными, поскольку не содержат полного набора аминокислот, к тому же наличие белка в вегетативных частях растений редко превышает 1–2 % массы. Поэтому необходимо употреблять в пищу белки не только растительного, но и животного происхождения.

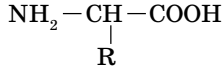


Рис. 2.12. Общая формула аминокислоты

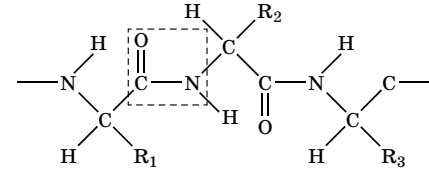


Рис. 2.13. Пептидная связь

Последовательность из двух аминокислот, связанных пептидными связями (рис. 2.13), 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.

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

Первичная структура белка — это *линейная последовательность аминокислот*, соединенных пептидной связью (рис. 2.14). Первичная структура в конечном итоге определяет специфичность белка и его уникальность, поскольку, если даже предположить, что в среднем белок содержит 500 аминокислотных остатков, то число их возможных комбинаций составляет 20 500. Поэтому изменение расположения хотя бы одной аминокислоты в первичной структуре влечет за собой изменение вторичной и более высоких структур, а также свойств белка в целом.

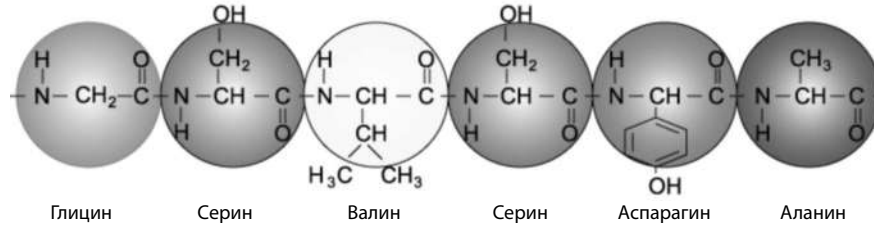


Рис. 2.14. Первичная структура белка

Особенности строения белка обусловливают его пространственную укладку — возникновение вторичной и третичной структур.

Вторичная структура представляет собой пространственную укладку белковой молекулы в виде *спирали* или *складок*, удерживаемой водородными связями между атомами кислорода и водорода пептидных группировок разных витков спирали или складок (рис. 2.15). Многие белки содержат более-менее длинные участки со вторичной структурой. Это, например, кератины волос и ногтей, фиброин шелка.

Третичная структура белка (*глобула*) также является формой пространственной укладки полипептидной цепи, удерживаемой гидрофобными, водородными, дисульфидными (S—S) и другими связями (рис. 2.16). Она характерна для большинства белков организма, например миоглобина мышц.

Четвертичная структура — наиболее сложная, образованная несколькими полипептидными цепями, соединенными в основном теми же связями, что и в третичной (гидрофобными, ионными и водородными), а также иными слабыми взаимодействиями (рис. 2.17). Четвертичная структура характерна для немногих белков, таких как гемоглобин, хлорофилл и др.

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.

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, мио-

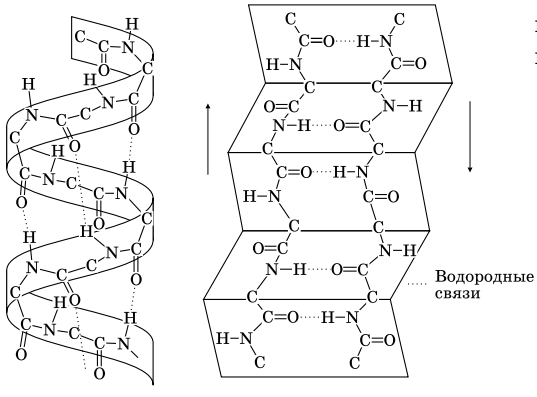


Рис. 2.15. Вторичная структура белка

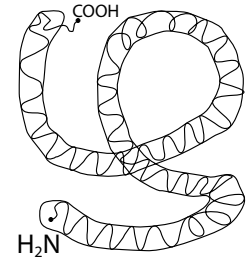


Рис. 2.16. Третичная структура белка

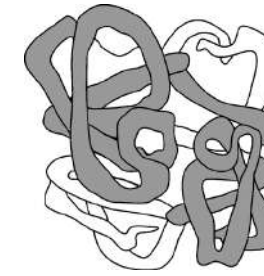


Рис. 2.17. Четвертичная структура белка

глобин, хлорофилл, цитохромы и др. Так, в составе гемоглобина каждая из четырех полипептидных цепей белка глобина связана с небелковой частью — гемом, в центре которого находится ион железа, придающий гемоглобину красную окраску. 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.

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 при сохранении первичной, называется *денатурацией* (рис. 2.18).

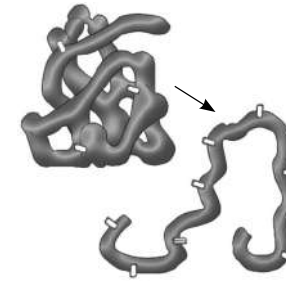


Рис. 2.18. Денатурация белка

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.

Строительная функция белков связана с их наличием в клеточных мембранах и структурных компонентах клетки. Энергетическая — обусловлена тем, что при расщеплении 1 г белка высвобождается 17,2 кДж энергии. Белки-рецепторы мембран принимают активное участие в восприятии сигналов окружающей среды и их передаче по клетке, а также в межклеточном узнавании. 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 у бобовых в семенах, 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. 2.19). 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), гуа-

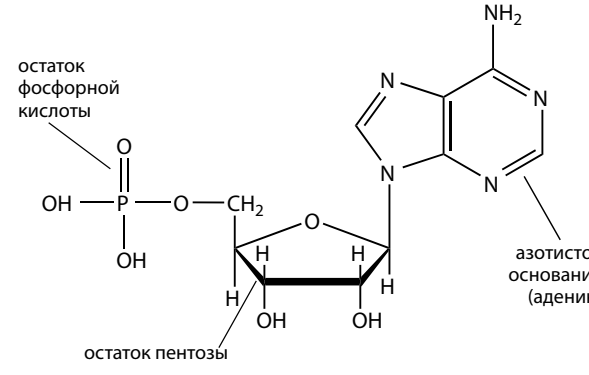


Рис. 2.19. Строение нуклеотида (на примере аденина)

нин (Г), тимин (Т), урацил (У) и цитозин (Ц). Пентозы нуклеотидов — рибоза и дезоксирибоза — определяют, какой нуклеотид будет образован — рибонуклеотид 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 НАДФ, НАД, ФАД 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) или 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. 2.20). Для нее были установлены **правила Чаргаффа:**

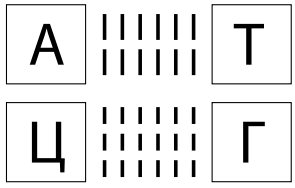


Рис. 2.20. Комплементарность нуклеотидов ДНК

1. Количество нуклеотидов ДНК, содержащих аденин, равно количеству нуклеотидов, содержащих тимин (А=Т).
2. Количество нуклеотидов ДНК, содержащих гуанин, равно количеству нуклеотидов, содержащих цитозин (Г≡Ц).
3. Сумма дезоксирибонуклеотидов, содержащих аденин и гуанин, равна сумме дезоксирибонуклеотидов, содержащих тимин и цитозин (А+Г = Т+Ц).
4. 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 (Нобелевская премия по физиологии и медицине, 1962 г.). Согласно их модели, молекула ДНК представляет собой правозакрученную двойную спираль (рис. 2.21). Расстояние между нуклеотидами в цепи ДНК равно 0,34 нм.

Важнейшим свойством ДНК является способность к репликации (самоудвоению). Основной функцией ДНК является хранение и передача наследственной информации, которая записана в виде последовательностей нуклеотидов. Стабильность молекулы ДНК поддерживается за счет мощных систем репарации (восстановления), но даже они не способны полностью устранить неблагоприятные влияния, что в конечном итоге приводит к возникновению мутаций. 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.

Рис. 2.21. Трехмерная модель строения молекулы ДНК

Рибонуклеиновая кислота (РНК) — биополимер, мономерами которого являются рибонуклеотиды. Они содержат также четыре азотистых основания — аденин (А), урацил (У), гуанин (Г) или 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 %), что компенсируется их разнообразием, так как в одной клет-

ке могут содержаться тысячи различных иРНК. Это одноцепочечные молекулы, являющиеся 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 %). Их молекулярная масса составляет в среднем 3000–5000; образуются в ядрышках и входят в состав клеточных органоидов — рибосом. рРНК, по-видимому, также играют определенную роль в процессе синтеза белка.

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). По форме молекулы тРНК напоминают 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. 2.22).

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.

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) — это нуклеотид, содержащий, помимо азотистого основания аденина и остатка рибозы, три остатка фосфорной кислоты (рис. 2.23). Связи между двумя последними фосфорными остатками — макроэргические (при расщеплении выделяется 42 кДж/моль энергии), тогда как стандартная химическая связь при расщеплении дает 12 кДж/моль. При необходимости в энергии макроэргическая связь АТФ расщепляется, образуются аденозиндифосфорная кислота (АДФ), фосфорный остаток и выделяется энергия:

$$АТФ + H_2O \rightarrow АДФ + H_3PO_4 + 42\ кДж.$$

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

$$АДФ + H_2O \rightarrow АМФ + H_3PO_4 + 42\ кДж.$$

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.

Изучение химического состава клеток всех живых организмов показало, что они содержат одни и те же химические элементы, химические вещества, выполняющие одинаковые функции. Более того, участок ДНК, перенесенный из одного организма в другой, будет в нем работать, а белок, синтезированный бактериями или грибами, будет выполнять функции гормона или фермента в организме человека. Это является одним из доказательств единства происхождения органического мира.

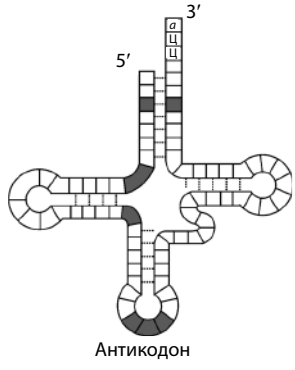


Рис. 2.22. Строение молекулы тРНК

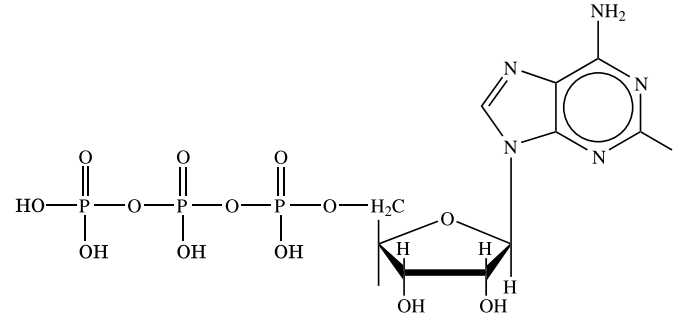


Рис. 2.23. Строение молекулы АТФ

2.4. Строение клетки. Взаимосвязь строения и функций частей и органоидов клетки — основа ее целостности

Строение клетки

Строение прокариотических и эукариотических клеток

Основными структурными компонентами клеток являются плазматическая мембрана, цитоплазма и наследственный аппарат. В зависимости от особенностей организации различают два основных типа клеток: прокариотические и эукариотические. Главным отличием прокариотических клеток от эукариотических является организация их наследственного аппарата: у прокариот он находится непосредственно в цитоплазме (эта область цитоплазмы называется *нуклеоидом*) и не отделен от нее мембранными структурами, тогда как у эукариот бóльшая часть ДНК сосредоточена в ядре, окруженном двойной мембраной. Кроме того, генетическая информация прокариотических клеток, находящаяся в нуклеоиде, записана в кольцевой молекуле ДНК, а у эукариот молекулы ДНК незамкнутые.

В отличие от эукариот, цитоплазма прокариотических клеток содержит также небольшое количество органоидов, тогда как для эукариотических характерно значительное разнообразие этих структур.

Строение и функции биологических мембран

Строение биомембраны. Мембраны, ограничивающие клетки и мембранные органоиды эукариотических клеток, имеют общий химический состав и строение. В их состав входят липиды, белки и углеводы. Липиды мембраны представлены в основном фосфолипидами и холестерином. 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, липиды образуют двойной слой, или *липидный бислой*, в котором гидрофильные «головки» молекул липидов обращены наружу, а гидрофобные «хвосты» спрятаны вовнутрь мембраны (рис. 2.24). 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*. Белки мембран выполняют структурную, транспортную, каталитическую, рецепторную и другие функции.

Мембраны не похожи на кристаллы, их компоненты постоянно находятся в движении, вследствие чего между молекулами липидов возникают разрывы — поры, через которые в клетку могут попадать или покидать ее различные вещества.

Биологические мембраны различаются по расположению в клетке, химическому составу и выполняемым функциям. Основные типы мембран — плазматическая и внутренние.

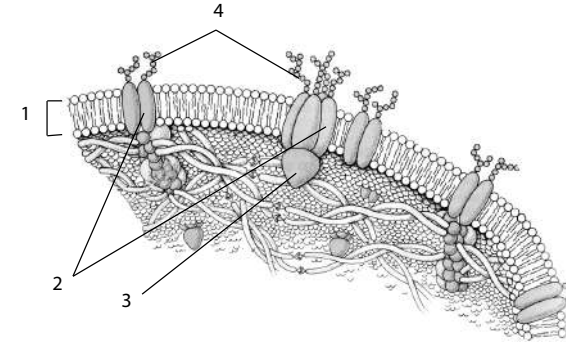


Рис. 2.24. Жидкостно-мозаичная модель строения мембраны (на примере плазматической мембраны эритроцита):
1 — липидный бислой; 3 — периферический белок;
2 — интегральные белки; 4 — остатки углеводов

Плазматическая мембрана (рис. 2.24) содержит около 45 % липидов (в т. ч. гликолипидов), 50 % белков и 5 % углеводов. Цепочки углеводов, входящих в состав сложных белков-гликопротеинов и сложных липидов-гликолипидов, выступают над поверхностью мембраны. Гликопротеины плазмалеммы чрезвычайно специфичны. Так, например, по ним происходит взаимное узнавание клеток, в том числе сперматозоида и яйцеклетки.

На поверхности животных клеток углеводные цепочки образуют тонкий поверхностный слой — *гликокаликс*. Он выявлен почти во всех животных клетках, но степень его выраженности неодинакова (10–50 мкм). Гликокаликс обеспечивает непосредственную связь клетки с внешней средой, в нем происходит внеклеточное пищеварение; в гликокаликсе размещены рецепторы. 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:

1. *Ограничивающая.* Заключается в том, что они отделяют внутреннее пространство клетки от внешней среды. Мембрана является полупроницаемой, то есть ее свободно преодолевают только те вещества, которые необходимы клетке, при этом существуют механизмы транспорта необходимых веществ.
2. *Рецепторная.* Связана в первую очередь с восприятием сигналов окружающей среды и передачей этой информации внутрь клетки. За эту функцию отвечают специальные белки-рецепторы. Мембранные белки отвечают еще и за клеточное узнавание по принципу «свой-чужой», а также за образование межклеточных соединений, наиболее изученными из которых являются синапсы нервных клеток.
3. *Каталитическая.* На мембранах расположены многочисленные ферментные комплексы, вследствие чего на них происходят интенсивные синтетические процессы.
4. *Энерготрансформирующая.* Связана с образованием энергии, ее запасанием в виде АТФ и расходованием.
5. *Компартментализация.* Мембраны разграничивают также пространство внутри клетки, разделяя тем самым исходные вещества реакции и ферменты, которые могут осуществлять соответствующие реакции.
6. *Образование межклеточных контактов.* Несмотря на то, что толщина мембраны настолько мала, что ее невозможно различить невооруженным глазом, она, с одной стороны, служит достаточно надежным барьером для ионов и молекул, в особенности водорастворимых, а с другой — обеспечивает их перенос в клетку и наружу.
7. *Транспортная.*

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. 2.25). В настоящее время транспорт веществ через мембрану клетки делят на активный, пассивный, эндо- и экзоцитоз.

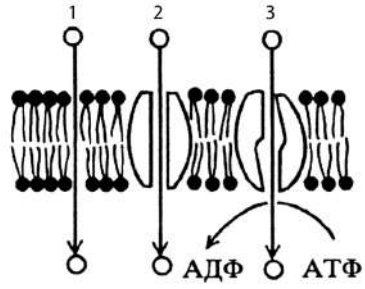


Рис. 2.25. Мембранный транспорт:
1 — простая диффузия;
2 — облегченная диффузия;
3 — активный транспорт

Пассивный транспорт — это вид транспорта, который происходит без затраты энергии от большей концентрации к меньшей. Растворимые в липидах небольшие неполярные 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

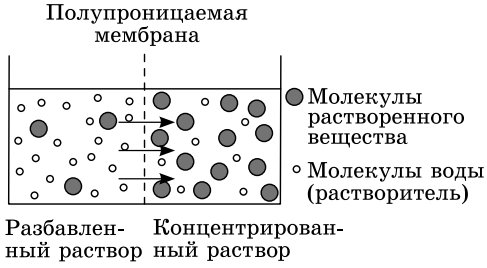


Рис. 2.26. Осмос

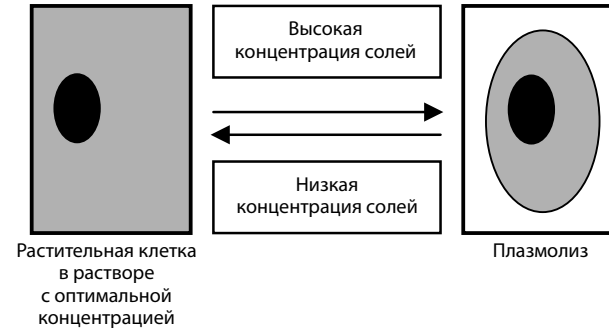


Рис. 2.27. Плазмолиз

через поры в липидной фазе, а также по специальным каналам, выстланным белками. Транспорт воды через мембрану называется *осмосом* (рис. 2.26).

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. 2.27). При помещении клетки в менее концентрированный, чем цитоплазма, раствор, транспорт воды происходит 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 клеточным содержимым всего внутреннего пространства клетки называется *деплазмолизом*. Внутриклеточную концентрацию солей следует учитывать при приготовлении лекарственных препаратов, особенно для внутривенного введения, так как это может приводить к повреждению клеток крови (для этого используют физиологический раствор с концентрацией 0,9 % хлорида натрия). Это не менее важно при культивировании клеток и тканей, а также органов животных и растений.

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

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 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 (рис. 2.28). Путем пиноци-

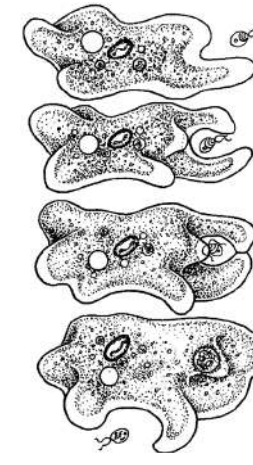


Рис. 2.28. Фагоцитоз у амебы

тоза 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.

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.

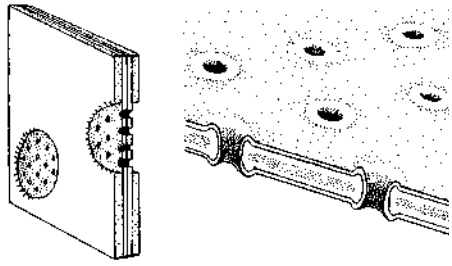


Рис. 2.29. Плазмодесмы

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 вода и другие углеводы. Оболочка растительной клетки пронизана канальцами — *плазмодесмами* (рис. 2.29), 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.

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*, однако его содержание существенно различается у разных групп бактерий. Поверх от клеточной стенки могут выделяться также иные полисахариды, образующие слизистую капсулу, защищающую бактерии от внешних воздействий.

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, прежде чем попасть в цитоплазму или, наоборот, при выходе из нее, при этом по клеточным стенкам вода транспортируется быстрее, чем по цитоплазме.

Цитоплазма

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. Цитоплазма отделяется от окружающей среды и делится на отсеки мембранами, то есть клеткам присуще мембранное строение. Она может находиться в двух состояниях — золя и геля. *Золь* — это полужидкое, киселеобразное состояние цитоплазмы, при котором процессы жизнедеятельности протекают наиболее интенсивно, а *гель* — более плотное, студнеобразное состояние, затрудняющее протекание химических реакций и транспорт 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. Осаждения этой взвеси не происходит вследствие того, что они имеют одинаковый заряд и отталкиваются друг от друга.

Органоиды

Органоиды — это постоянные компоненты клетки, выполняющие определенные функции.

В зависимости от особенностей строения их делят на мембранные и немембранные. *Мембранные* органоиды, в свою очередь, относят к одномембранным (эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи и лизосомы) или двумембранным (митохондрии, пластиды и ядро). *Немембранными* органоидами являются рибосомы, микротрубочки, микрофиламенты и клеточный центр. Прокариотам из перечисленных органоидов присущи только рибосомы.

Строение и функции ядра. *Ядро* — крупный двумембранный органоид, лежащий в центре клетки или на ее периферии. Размеры ядра могут колебаться в пределах 3–35 мкм. Форма ядра чаще сферическая или эллипсоидная, однако имеются также палочковидные, веретеновидные, бобовидные, лопастные и даже сегментированные ядра. Некоторые исследователи считают, что форма ядра соответствует форме самой клетки.

Большинство клеток имеет одно ядро, но, например, в клетках печени и сердца их может быть два, а в ряде нейронов — до 15. Волокна скелетных мышц содержат обычно много ядер, однако они не являются клетками в полном смысле этого слова, поскольку образуются в результате слияния нескольких клеток.

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. 2.30).

Роль ядра в передаче наследственной информации была убедительно доказана в экспериментах с зеленой водорослью ацетабулярией. В единственной гигантской клетке, достигающей в длину 5 см, различают шляпку, ножку и ризоид. При этом она содержит только одно ядро, расположенное в ризоиде. В 1930-е годы И. Хеммерлинг пересадил ядро одного вида ацетабулярии с зеленой окраской в ризоид другого вида, с коричневой окраской, у которого ядро было удалено (рис. 2.31). Через некоторое время у растения с пересаженным ядром выросла новая шляпка, как у водоросли-донора ядра. В то же время отделенные от ризоида шляпка или ножка, не содержащие ядра, через некоторое время погибали.

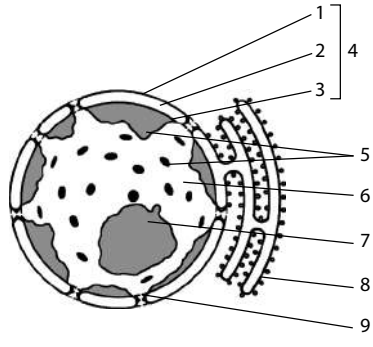


Рис. 2.30. Строение ядра:
1 — внешняя мембрана;
2 — межмембранное пространство;
3 — внутренняя мембрана;
4 — ядерная оболочка;
5 — гетерохроматин;
6 — эухроматин;
7 — ядрышко;
8 — шероховатая эндоплазматическая сеть;
9 — ядерная пора

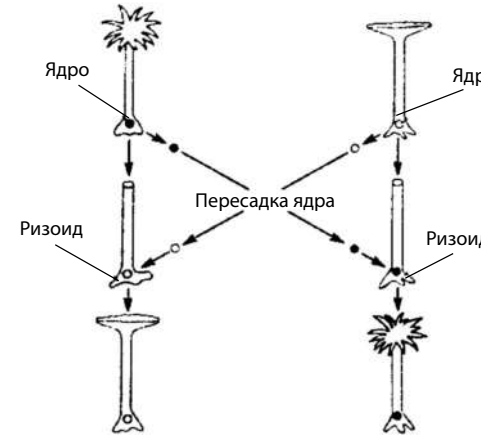


Рис. 2.31. Пересадка ядра ацетабулярии

Ядерная оболочка образована двумя мембранами — наружной и внутренней, между которыми есть пространство. Межмембранное пространство сообщается с полостью шероховатой эндоплазматической сети, а наружная мембрана ядра может нести рибосомы. Ядерная оболочка пронизана многочисленными порами, окантованными специальными белками. Через поры происходит транспорт веществ: в ядро попадают необходимые белки (в т. ч. ферменты), ионы, нуклеотиды и другие вещества, и покидают его молекулы РНК, отработанные белки, субъединицы рибосом. 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 цитоплазму. Ферменты нуклеоплазмы катализируют обмен аминокислот, нуклеотидов, белков и др. Нуклеоплазма связана с гиалоплазмой через ядерные поры. Функции нуклеоплазмы, как и гиалоплазмы, состоят в обеспечении взаимосвязи всех структурных компонентов ядра и осуществлении ряда ферментных реакций.

Хроматином называют совокупность тонких нитей и гранул, погруженных в нуклеоплазму. Выявить его можно только при окрашивании, так как коэффициенты преломления хроматина и нуклеоплазмы приблизительно одинаковы. Нитчатый компонент хроматина называют *эухроматином*, а гранулярный — *гетерохроматином*. Эухроматин слабо уплотнен, поскольку с него считывается наследственная информация, тогда как более спирализованный гетерохроматин является генетически неактивным.

Хроматин представляет собой структурное видоизменение хромосом в неделящемся ядре. Таким образом, хромосомы постоянно присутствуют в ядре, изменяется лишь их состояние в зависимости от функции, которую ядро выполняет в данный момент.

В состав хроматина в основном входят белки-нуклеопротеины (дезоксирибонуклеопротеины и рибонуклеопротеины), а также ферменты, важнейшие из которых связаны с синтезом нуклеиновых кислот, и некоторые другие вещества.

Функции хроматина состоят, во-первых, в синтезе специфических для данного организма нуклеиновых кислот, которые направляют синтез специфических белков, 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. Оно формируется на участках хроматина, в которых закодирована информация о структуре рРНК и белках рибосом. Ядрышко в ядре часто одно, однако в тех клетках, где происходят интенсивные процессы жизнедеятельности, ядрышек может быть два и более. Функции ядрышек — синтез рРНК и сборка субъединиц рибосом путем объединения рРНК с белками, поступающими из цитоплазмы.

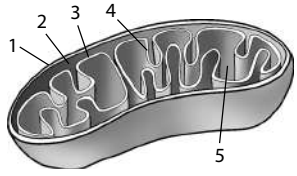


Рис. 2.32. Строение митохондрии:
1 — внешняя мембрана;
2 — межмембранное пространство;
3 — внутренняя мембрана;
4 — криста;
5 — матрикс

Митохондрии — двумембранные органоиды округлой, овальной или палочковидной формы, хотя встречаются и спиралевидные (в сперматозоидах). 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, она непроницаема для многих веществ. Внутренняя мембрана имеет выросты — *кристы*, увеличивающие площадь поверхности мембран для протекания химических реакций (рис. 2.32). На поверхности мембраны расположены многочисленные белковые комплексы, составляющие так называемую дыхательную цепь, а также грибовидные ферменты АТФ-синтетазы. В митохондриях протекает аэробный этап дыхания, в ходе которого происходит синтез АТФ.

Пластиды — крупные двумембранные органоиды, характерные только для растительных клеток. Внутреннее пространство пластид заполнено *стромой*, или *матриксом*. В строме нахо-

дится более или менее развитая система мембранных пузырьков — *тилакоидов*, которые собраны в стопки — *граны*, а также собственная кольцевая молекула ДНК и рибосомы. Различают четыре основных типа пластид: хлоропласты, хромопласты, лейкопласты и пропластиды.

Хлоропласты — это зеленые пластиды диаметром 3–10 мкм, хорошо различимые под микроскопом (рис. 2.33). Они содержатся только в зеленых частях растений — листьях, молодых стеблях, цветках и плодах. Хлоропласты в основном имеют овальную или эллипсоидную формы, но могут быть также чашевидными, спиралевидными и даже лопастными. Количество хлоропластов в клетке в среднем составляет от 10 до 100 штук. Однако, например, у некоторых водорослей он может быть один, иметь значительные размеры и сложную форму — тогда его называют *хроматофором*. В других случаях количество хлоропластов может достигать нескольких сотен, при этом их размеры невелики. Окраска хлоропластов обусловлена основным пигментом фотосинтеза — *хлорофиллом*, хотя в них содержатся и дополнительные пигменты — *каротиноиды*. Каротиноиды становятся заметными только осенью, когда хлорофилл в стареющих листьях разрушается. Основной функцией хлоропластов является фотосинтез. Световые реакции фотосинтеза протекают на мембранах тилакоидов, на которых закреплены молекулы хлорофилла, а темновые реакции — в строме, где содержатся многочисленные ферменты.

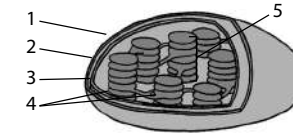


Рис. 2.33. Строение хлоропласта:
1 — внешняя мембрана;
2 — внутренняя мембрана;
3 — строма;
4 — тилакоиды;
5 — грана

Хромопласты — это желтые, оранжевые и красные пластиды, содержащие пигменты каротиноиды. Форма хромопластов может также существенно варьировать: они бывают трубчатыми, сферическими, кристаллическими и др. Хромопласты придают окраску цветкам и плодам растений, привлекая опылителей и распространителей семян и плодов.

Лейкопласты — это белые или бесцветные пластиды в основном округлой или овальной формы. 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, но у некоторых растений это могут быть белки или масло.

Пластиды образуются в растительных клетках из пропластид, которые имеются уже в клетках образовательной ткани и представляют собой небольшие двумембранные тельца. На ранних этапах развития разные виды пластид способны превращаться друг в друга: при попадании на свет лейкопласты клубня картофеля и хромопласты корнеплода моркови зеленеют.

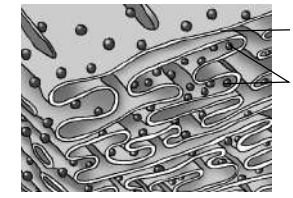


Рис. 2.34. Строение шероховатой эндоплазматической сети:
1 — мембрана;
2 — рибосомы

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. Эти особенности объясняются происхождением от одноклеточных прокариотических организмов. Однако «самостоятельность» митохондрий и пластид является ограниченной, так как их ДНК содержит слишком мало генов для свободного существования, остальная же информация закодирована в хромосомах ядра, что позволяет ему контролировать данные органоиды.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), или *эндоплазматический ретикулум* (ЭР), — это одномембранный органоид, представляющий собой сеть мембранных полостей и канальцев, занимающих до 30 % содержимого цитоплазмы. Диаметр канальцев ЭПС составляет около 25–30 нм. Различают два вида ЭПС — шероховатую и гладкую. *Шероховатая ЭПС* несет рибосомы, на ней происходит синтез белков (рис. 2.34). *Гладкая ЭПС* лишена рибосом. Ее функция — синтез липидов и углеводов, а также транспорт, запасание и обезвреживание токсических веществ. Она особенно развита в тех клетках,

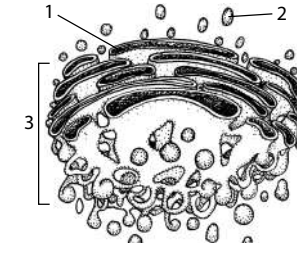


Рис. 2.35. Строение аппарата Гольджи:
1 — цистерна;
2 — пузырек;
3 — диктиосома

где происходят интенсивные процессы обмена веществ, например в клетках печени — гепатоцитах — и волокнах скелетных мышц. Вещества, синтезированные в ЭПС, транспортируются в аппарат Гольджи. В ЭПС происходит также сборка мембран клетки, однако их формирование завершается в аппарате Гольджи.

Аппарат Гольджи, или *комплекс Гольджи*, — одномембранный органоид, образованный системой плоских цистерн, канальцев и отшнуровывающихся от них пузырьков (рис. 2.35). 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. Диаметр цистерн — порядка 2 мкм, а мелких пузырьков — около 20–30 мкм. 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. Свое название аппарат Гольджи получил в честь итальянского ученого Камилло Гольджи, впервые обнаружившего данный органоид (1898).

Лизосомы — небольшие одномембранные органоиды до 1 мкм в диаметре, в которых содержатся гидролитические ферменты, участвующие во внутриклеточном пищеварении. Мембраны лизосом слабопроницаемы для этих ферментов, поэтому выполнение лизосомами своих функций происходит очень точно и адресно. Так, они принимают активное участие в процессе фагоцитоза, образуя пищеварительные вакуоли, а в случае голодания или повреждения определенных частей клетки переваривают их, не затрагивая иных. Недавно была открыта роль лизосом в процессах клеточной гибели.

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. Мембрана, окружающая вакуоль, по химическому составу, строению и выполняемым функциям близка к плазматической мембране. *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.

Вакуоли имеются также и в клетках некоторых грибов и бактерий, однако у грибов они выполняют только функцию осморегуляции, а у цианобактерий поддерживают плавучесть и участвуют в процессах усвоения азота из воздуха.

Рибосомы — небольшие немембранные органоиды диаметром 15–20 мкм, состоящие из двух субъединиц — большой и малой (рис. 2.36). 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.

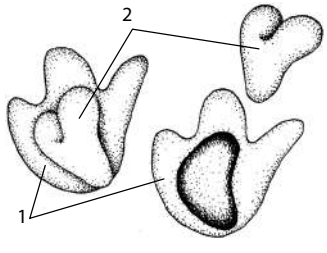


Рис. 2.36. Строение рибосомы:
1 — большая субъединица;
2 — малая субъединица

Количество рибосом в 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. На свободных рибосомах синтезируются белки гиалоплазмы, митохондрий, пластид и собственные белки рибосом, тогда как на прикрепленных к шероховатой ЭПС рибосомах осуществляется трансляция белков для выведения из клеток, сборки мембран, образования лизосом и вакуолей.

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* (рис. 2.37).

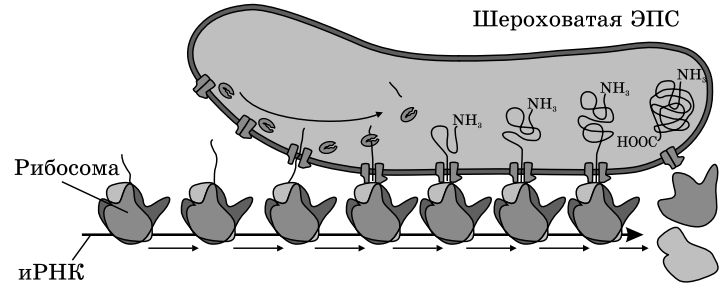


Рис. 2.37. Полисома

Микротрубочки — это цилиндрические полые немембранные органоиды, которые пронизывают всю цитоплазму клетки. Их диаметр составляет около 25 нм, толщина стенки — 6–8 нм. Они образованы многочисленными молекулами белка *тубулина*, которые сначала формируют 13 нитей, напоминающих бусы, а затем собираются в микротрубочку. 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, 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 (рис. 2.38).

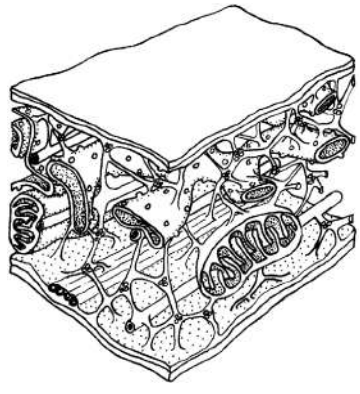


Рис. 2.38. Цитоскелет

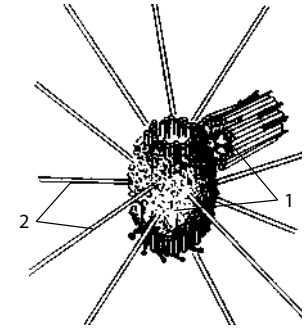


Рис. 2.39. Строение клеточного центра:
1 — центриоли;
2 — микротрубочки

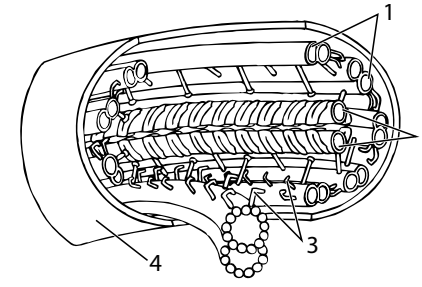


Рис. 2.40. Строение жгутика:
1 — периферические микротрубочки;
2 — центральные микротрубочки;
3 — белки, обеспечивающие взаимодействие микротрубочек;
4 — плазмалемма

Клеточный центр — немембранный органоид, располагающийся в животных клетках вблизи ядра; в растительных клетках он отсутствует (рис. 2.39). Его длина составляет около 0,2–0,3 мкм, а диаметр — 0,1–0,15 мкм. Клеточный центр образован двумя *центриолями*, лежащими во взаимно перпендикулярных плоскостях, и *лучистой сферой* из микротрубочек. Каждая центриоль образована девятью группами микротрубочек, собранных по три, т. е. триплетами. Клеточный центр принимает участие в процессах сборки 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 (рис. 2.40). 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. Восстановление утраченных жгутиков и ресничек является функцией *базальных телец*, или *кинетосом*, расположенных в их основании.

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

Включения — это непостоянные компоненты клетки, которые образуются и исчезают в процессе ее жизнедеятельности. К ним относят как запасные вещества, например, зерна крахмала (рис. 2.41) 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.

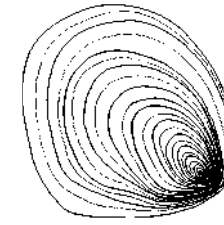


Рис. 2.41. Крахмальное зерно картофеля

Взаимосвязь строения и функций частей и органоидов клетки — основа ее целостности

Каждая из частей клетки, с одной стороны, является обособленной структурой со специфическим строением и функциями, а с другой — компонентом более сложной системы, называемой клеткой. Бóльшая часть наследственной информации эукариотической клетки сосредоточена в ядре, однако само ядро не в состоянии обеспечить ее реализацию, поскольку для этого необходимы как минимум цитоплазма, выступающая как основное вещество, и рибосомы, на которых и происходит этот синтез. Большинство рибосом расположено на гранулярной эндоплазматической сети, откуда белки чаще всего транспортируются в комплекс Гольджи, а затем после модификации — в те части клетки, для которых они предназначены, или выводятся наружу. Мембранные упаковки белков и углеводов могут встраиваться в мембраны органоидов и цитоплазматическую мембрану, обеспечивая их постоянное обновление. От комплекса Гольджи отшнуровываются также выполняющие важнейшие функции лизосомы и вакуоли. Например, без лизосом клетки быстро превратились бы в своеобразную свалку отработанных молекул и структур.

Протекание всех этих процессов требует энергии, вырабатываемой митохондриями, а у растений — и хлоропластами. И хотя эти органоиды являются относительно автономными, т. к. имеют собственные молекулы ДНК, часть их белков все равно кодируется ядерным геномом и синтезируется в цитоплазме.

Таким образом, клетка представляет собой неразрывное единство составляющих ее компонентов, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию.

2.5. Обмен веществ и превращения энергии — свойства живых организмов. Энергетический и пластический обмен, их взаимосвязь. Стадии энергетического обмена. Брожение и дыхание. Фотосинтез, его значение, космическая роль. Фазы фотосинтеза. Световые и темновые реакции фотосинтеза, их взаимосвязь. Хемосинтез. Роль хемосинтезирующих бактерий на Земле

Обмен веществ и превращения энергии — свойства живых организмов

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.

Обмен веществ неразрывно связан с процессами превращения одних видов энергии в другие. Например, в процессе фотосинтеза световая энергия запасается в виде энергии химических связей сложных органических молекул, а в процессе дыхания она высвобождается и расходуется на синтез новых молекул, механическую и осмотическую работу, рассеивается в виде тепла и т. д.

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, значительным увеличением с их помощью скорости реакции, 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, давление должно быть близким к атмосферному, а pH среды может существенно колебаться. Так, для амилазы необходима щелочная среда, а для пепсина — кислая.

Механизм действия ферментов заключается в снижении энергии активации веществ (субстратов), вступающих в реакцию, за счет образования промежуточных фермент-субстратных комплексов (рис. 2.42).

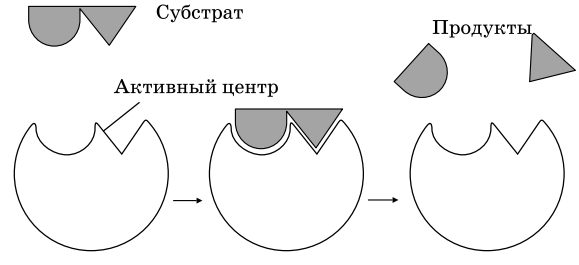


Рис. 2.42. Схема действия ферментов

Энергетический и пластический обмен, их взаимосвязь

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. Примером 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. 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.

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 для многих организмов, обитающих в иле болот или в кишечнике человека, является единственным способом получения энергии. Анаэробный этап энергетического обмена 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, т. е. окисляется, при этом образуются две молекулы пировиноградной кислоты, две молекулы АТФ и две молекулы восстановленного переносчика водорода НАДН + H^+:

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

Образование АТФ из АДФ происходит вследствие прямого переноса фосфат-аниона с предварительно фосфорилированного сахара и называется *субстратным фосфорилированием*.

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. 2.43.

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* (*циклом трикарбоновых кислот*, *циклом лимонной кислоты*). 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.

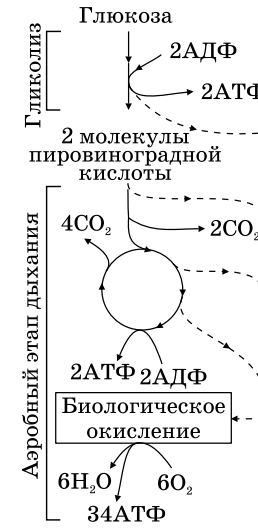


Рис. 2.43. Схема дыхания

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 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 органические вещества, все еще богатые энергией. 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 остаются 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):

$$C_3H_4O_3 + НАДН + H^+ \rightarrow C_2H_5OH + CO_2\uparrow + НАД^+.$$

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

АТФ, полученная в результате энергетического обмена, расходуется в клетке на различные виды работы: химическую, осмотическую, электрическую, механическую и регуляторную. Химическая работа заключается в биосинтезе белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот и других жизненно важных соединений. К осмотической работе относят процессы поглощения клеткой и выведения из нее веществ, которые во внеклеточном пространстве находятся в концентрациях, больших, чем в самой клетке. Электрическая работа тесно взаимосвязана с осмотической, поскольку именно в результате перемещения заряженных частиц через мембраны формируется заряд мембраны и приобретаются свойства возбудимости и проводимости. Механическая работа сопряжена с движением веществ и структур внутри клетки, а также клетки в целом. К регуляторной работе относят все процессы, направленные на координацию процессов в клетке.

Фотосинтез, его значение, космическая роль

Фотосинтезом называют процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических соединений с участием хлорофилла.

В результате фотосинтеза образуется около 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). В последнее время в качестве топлива начали использовать также рапсовое масло («биодизель») и спирт, полученный из растительных остатков. Из кислорода под действием 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.

Фазы фотосинтеза. Световые и темновые реакции фотосинтеза, их взаимосвязь

В 1905 году английский физиолог растений Ф. Блэкмен обнаружил, что скорость фотосинтеза не может увеличиваться беспредельно, какой-то фактор ограничивает ее. На основании этого он выдвинул предположение о наличии двух фаз фотосинтеза: *световой* и *темновой*. При низкой интенсивности освещения скорость световых реакций возрастает пропорционально нарастанию силы света, и, кроме того, данные реакции не зависят от температуры, поскольку для их протекания не нужны ферменты. Световые реакции протекают на мембранах тилакоид.

Скорость темновых реакций, напротив, возрастает с повышением температуры, однако по достижении температурного порога в 30 °С этот рост прекращается, что свидетельствует о ферментативном характере указанных превращений, происходящих в строме. Следует отметить, что свет также оказывает на темновые реакции определенное влияние, несмотря на то, что они называются темновыми.

Световая фаза фотосинтеза (рис. 2.44) протекает на мембранах тилакоидов, несущих несколько типов белковых комплексов, основными из которых являются фотосистемы I и II, а также АТФ-синтаза. В состав фотосистем входят пигментные комплексы, в которых, кроме хлорофилла, присутствуют и каротиноиды. Каротиноиды улавливают свет в тех областях спектра, в которых этого не делает хлорофилл, а также защищают хлорофилл от разрушения светом высокой интенсивности.

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

С фотосистемой II также ассоциирован специальный комплекс белков, который обеспечивает выделение кислорода в процессе фотосинтеза. Этот кислородвыделяющий комплекс содержит ионы марганца и хлора.

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:

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

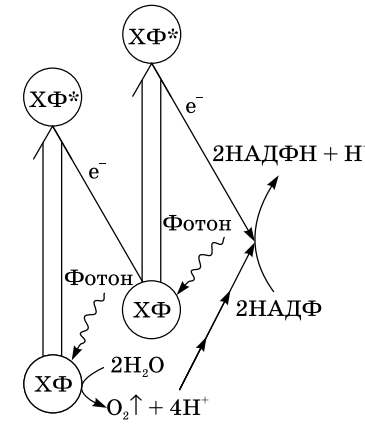


Рис. 2.44. Световая фаза фотосинтеза

Восстановленный НАДФН + H^+ будет впоследствии использован в темновой стадии. 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*. Он не требует участия кислорода, однако очень эффективен, так как дает в 30 раз больше АТФ, чем митохондрии в процессе окисления. Образовавшаяся в световых реакциях АТФ впоследствии будет использована в темновых реакциях.

Суммарное уравнение реакций световой фазы фотосинтеза можно записать следующим образом:

$$2H_2O + 2НАДФ + 3АДФ + 3H_3PO_4 \rightarrow 2НАДФН + H^+ + 3АТФ + O_2\uparrow.$$

В ходе *темновых реакций* фотосинтеза (рис. 2.45) 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 первооткрывателя. Темновые реакции протекают в строме хлоропластов. Для их протекания необходим постоянный приток углекислого газа извне через устьица, а затем и по системе межклетников.

Первыми в процессе фиксации углекислого газа образуются трехуглеродные сахара, являющиеся первичными продуктами фотосинтеза, тогда как образующуюся позже глюкозу, которая расходуется на синтез крахмала и другие процессы жизнедеятельности, называют конечным продуктом фотосинтеза.

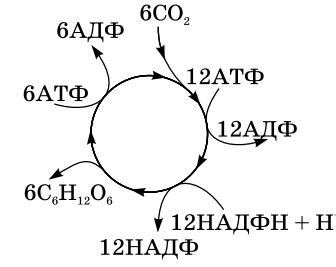


Рис. 2.45. Темновая фаза фотосинтеза

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.

Световая стадия, протекающая в тилакоидах, обеспечивает запасание энергии для образования АТФ и переносчиков водорода. На второй стадии, темновой, энергетические продукты первой стадии используются для восстановления углекислого газа, и происходит это в компартментах стромы хлоропластов.

На скорость фотосинтеза оказывают влияние различные факторы окружающей среды: освещенность, концентрация углекислого газа в атмосфере, температура воздуха и почвы, доступность воды и др.

Для характеристики фотосинтеза используется понятие его продуктивности. *Продуктивность фотосинтеза* — это масса синтезируемой за 1 час глюкозы на 1 $дм^2$ листовой поверхности. Этот показатель фотосинтеза максимален при оптимальных условиях.

Фотосинтез присущ не только зеленым растениям, но и многим бактериям, в том числе цианобактериям, зеленым и пурпурным бактериям, однако у последних он может иметь некоторые отличия, в частности, при фотосинтезе бактерии могут не выделять кислорода (это не касается цианобактерий).

Хемосинтез. Роль хемосинтезирующих бактерий на Земле

Хемосинтез — это процесс синтеза органических соединений за счет химической энергии неорганических соединений.

Данный 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:

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

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, т. е. продуцентами, а также делают доступным и для растений, и для других организмов целый ряд неорганических веществ.

2.6. Генетическая информация в клетке. Гены, генетический код и его свойства. Матричный характер реакций биосинтеза. Биосинтез белка и нуклеиновых кислот

Генетическая информация в клетке

Воспроизведение себе подобных является одним из фундаментальных свойств живого. Благодаря этому явлению существует сходство не только между организмами, но и между отдельными клетками, а также их органоидами (митохондриями и пластидами). Материальной основой этого сходства является передача зашифрованной в последовательности нуклеотидов ДНК генетической информации, которая осуществляется благодаря процессам репликации (самоудвоения) ДНК. Реализуются все признаки и свойства клеток и организмов благодаря белкам, структуру которых в первую очередь и определяют последовательности нуклеотидов ДНК. Поэтому первостепенное значение в процессах метаболизма играет именно биосинтез нуклеиновых кислот и белка. Структурной единицей наследственной информации является ген.

Гены, генетический код и его свойства

Наследственная информация в клетке не является монолитной, она разбита на отдельные «слова» — гены.

Ген — это элементарная единица генетической информации.

Работы по программе «Геном человека», которые проводились одновременно в нескольких странах и были завершены в начале нынешнего века, дали нам понимание того, что у человека всего около 25–30 тыс. генов, но информация с большей части нашей ДНК не считывается никогда, так как в ней содержится огромное количество бессмысленных участков, повторов и генов, кодирующих признаки, утратившие значение для человека (хвост, оволосение тела и др.). Кроме того, был расшифрован ряд генов, отвечающих за развитие наследственных заболеваний, а также генов-мишеней лекарственных препаратов. Однако практическое применение результатов, полученных в ходе реализации данной программы, откладывается до тех пор, пока не будут расшифрованы геномы большего количества людей и станет понятно, чем же все-таки они различаются.

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

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 (табл. 2.4). 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. Три триплета не имеют соответствующих аминокислот, их называют *стоп-кодонами*, так как они обозначают окончание синтеза полипептидной цепи.

Таблица 2.4

Последовательность оснований в триплетах ДНК и кодируемые ими аминокислоты

1-е основание	2-е основание					3-е основание
		А	Г	Т	Ц	
А	А	Фен	Сер	Тир	Цис	А
						Г
	Г	Лей		Стоп*	Стоп	Т
				Стоп	Три	Ц
Г	А	Лей	Про	Гис	Арг	А
						Г
	Г			Глн		Т
						Ц
Т	А	Иле	Тре	Асн	Сер	А
						Г
	Г			Лиз	Арг	Т
	Мет					Ц
Ц	А	Вал	Ала	Асп	Гли	А
						Г
	Г			Глу		Т
						Ц

*Стоп-кодон, означающий конец синтеза полипептидной цепи.

Сокращения названий аминокислот:

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

Если начать считывание генетической информации не с первого нуклеотида в триплете, а со второго, то произойдет не только сдвижка рамки считывания — синтезированный таким образом белок будет совсем иным не только по последовательности нуклеотидов, но и по структуре и свойствам. Между триплетами отсутствуют какие бы то ни было знаки препинания, поэтому нет никаких препятствий для сдвижки рамки считывания, что открывает простор для возникновения и сохранения мутаций.

Матричный характер реакций биосинтеза

Клетки бактерий способны удваиваться каждые 20–30 минут, а клетки эукариот — каждые сутки и даже чаще, что требует высокой скорости и точности репликации ДНК. Кроме того, каждая клетка содержит сотни и тысячи копий многих белков, особенно ферментов, следовательно, для их воспроизведения неприемлем «штучный» способ их производства. Более прогрессивным способом является штамповка, которая позволяет получить многочисленные точные копии продукта и к тому же снизить его себестоимость. Для штамповки необходима матрица, с которой осуществляется оттиск.

В клетках принцип матричного синтеза заключается в том, что новые молекулы белков и нуклеиновых кислот синтезируются в соответствии с программой, заложенной в структуре ранее существовавших молекул тех же нуклеиновых кислот (ДНК или РНК).

Биосинтез белка и нуклеиновых кислот

Репликация ДНК. ДНК представляет собой двухцепочечный биополимер, мономерами которого являются нуклеотиды. Если бы биосинтез ДНК происходил по принципу ксерокопирования, то неизбежно возникали бы многочисленные искажения и погрешности в наследственной информации, которые в конечном итоге привели бы к гибели новых организмов. Поэтому процесс удвоения ДНК происходит иным, *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* (от лат. *репликацио* — повторение). В результате репликации образуются две абсолютно точные копии материнской молекулы ДНК, каждая из которых несет по одной копии материнской (рис. 2.46).

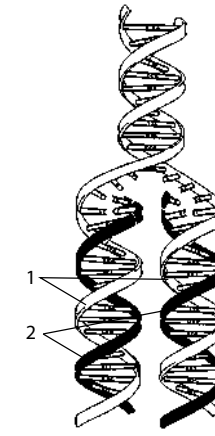


Рис. 2.46. Репликация ДНК:
1 — материнская цепь;
2 — дочерняя цепь

Процесс репликации на самом деле крайне сложен, так как в нем участвует целый ряд белков. Одни из них раскручивают двойную спираль ДНК, другие разрывают водородные связи между нуклеотидами комплементарных цепей, третьи (например, фермент ДНК-полимераза) подбирают по принципу комплементарности новые нуклеотиды и т. д. Образовавшиеся в результате репликации две молекулы ДНК в процессе деления расходятся по двум вновь образующимся дочерним клеткам.

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. Как образно выразился выдающийся философ XIX века Ф. Энгельс: «Жизнь есть форма существования белковых тел». Структура и свойства белковых молекул определяются их первичной структурой, т. е. последовательностью аминокислот, зашифрованной в ДНК. От точности воспроизведения этой информации зависит не только существование самого полипептида, но и функционирование клетки в целом, поэтому процесс синтеза белка имеет огромное значение. Он, по-видимому, является самым сложным процессом синтеза в клетке, поскольку здесь участвует до трехсот различных ферментов и других макромолекул. Кроме того, он протекает с высокой скоростью, что требует еще большей точности.

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

Транскрипция (от лат. *транскрипцио* — переписывание) — это биосинтез молекул иРНК на матрице ДНК (рис. 2.47).

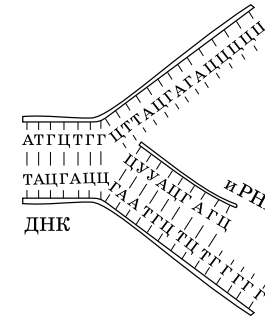


Рис. 2.47. Транскрипция

Поскольку молекула ДНК содержит две антипараллельных цепи, то считывание информации с обеих цепей привело бы к образованию совершенно различных иРНК, поэтому их биосинтез возможен только на одной из цепей, которую называют *кодирующей*, или кодогенной, в отличие от второй, *некодирующей*, или некодогенной. Обеспечивает процесс переписывания специальный фермент РНК-полимераза, кото-

рый подбирает нуклеотиды РНК по принципу комплементарности. Этот процесс может протекать как в ядре, так и в органоидах, имеющих собственную ДНК, — митохондриях и пластидах.

Синтезированные в процессе транскрипции молекулы иРНК проходят сложный процесс подготовки к трансляции (митохондриальные и пластидные иРНК могут оставаться внутри органоидов, где и происходит второй этап биосинтеза белка). В процессе созревания иРНК к ней присоединяются первые три нуклеотида (АУГ) и хвост из адениловых нуклеотидов, длина которого определяет, сколько копий белка может синтезироваться на данной молекуле. Только потом зрелые иРНК покидают ядро через ядерные поры.

Параллельно в цитоплазме происходит процесс активации аминокислот, в ходе которого аминокислота присоединяется к соответствующей свободной тРНК. Этот процесс катализируется специальным ферментом, на него затрачивается АТФ.

Трансляция (от лат. *трансляцио* — передача) — это биосинтез полипептидной цепи на матрице иРНК, при котором происходит перевод генетической информации в последовательность аминокислот полипептидной цепи (рис. 2.48).

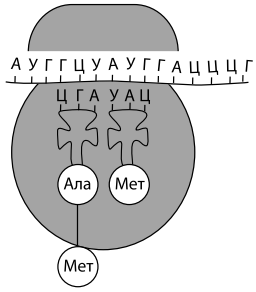


Рис. 2.48. Трансляция

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 трансляции (*инициации*) к готовой к синтезу 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. 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 повисает на оставшейся тРНК. К новому кодону, оказавшемуся в пределах рибосомы, присоединяется следующая тРНК, процесс повторяется и шаг за шагом полипептидная цепь удлиняется, т. е. 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.

Для ускорения синтеза определенных белковых молекул к молекуле иРНК могут присоединяться последовательно несколько рибосом, которые образуют единую структуру — *полисому*.

2.7. Клетка — генетическая единица живого. Хромосомы, их строение (форма и размеры) и функции. Число хромосом и их видовое постоянство. Соматические и половые клетки. Жизненный цикл клетки: интерфаза и митоз. Митоз — деление соматических клеток. Мейоз. Фазы митоза и мейоза. Развитие половых клеток у растений и животных. Деление клетки — основа роста, развития и размножения организмов. Роль мейоза и митоза

Клетка — генетическая единица живого

Несмотря на то, что нуклеиновые кислоты являются носителем генетической информации, реализация этой информации невозможна вне клетки, что легко доказывается на примере вирусов. Данные организмы, содержащие зачастую только ДНК или РНК, не могут самостоятельно воспроизводиться, для этого они должны использовать наследственный аппарат клетки. Даже проникнуть в клетку без помощи самой клетки они не могут, кроме как с использованием механизмов мембранного транспорта или благодаря повреждению клеток. Большинство вирусов нестабильно, они гибнут уже после нескольких часов пребывания на открытом воздухе. Следовательно, клетка является генетической единицей живого, обладающей минимальным набором компонентов для сохранения, изменения и реализации наследственной информации, а также ее передачи потомкам.

Бóльшая часть генетической информации эукариотической клетки сосредоточена в ядре. Особенностью ее организации является то, что, в отличие от ДНК прокариотической клетки, молекулы ДНК эукариот не замкнуты и образуют сложные комплексы с белками — хромосомы.

Хромосомы, их строение (форма и размеры) и функции

Хромосома (от греч. *хрома* — цвет, окраска и *сома* — тело) — это структура клеточного ядра, которая содержит гены и несет определенную наследственную информацию о признаках и свойствах организма.

Иногда хромосомами называют и кольцевые молекулы ДНК прокариот. Хромосомы способны к самоудвоению, они обладают структурной и функциональной индивидуальностью и сохраняют ее в ряду поколений. Каждая клетка несет всю наследственную информацию организма, но в ней работает только небольшая часть.

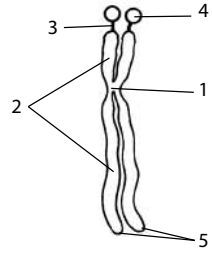


Рис. 2.49. Строение хромосомы:
1 — центромера;
2 — плечи;
3 — вторичная перетяжка;
4 — спутник;
5 — теломеры

Основой хромосомы является двухцепочечная молекула ДНК, упакованная с белками. У эукариот с ДНК взаимодействуют гистоновые и негистоновые белки, тогда как у прокариот гистоновые белки отсутствуют.

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*. Концевые участки хромосом называются *теломерами*. Теломеры препятствуют слипанию концов хромосом и обеспечивают их прикрепление к оболочке ядра в неделящейся клетке. В начале деления хромосомы удвоены и состоят из двух дочерних хромосом — *хроматид*, скрепленных в центромере (рис. 2.49).

По форме различают равноплечие, неравноплечие и палочковидные хромосомы. Размеры хромосом существенно варьируют, однако средняя хромосома имеет размеры $5 \times 1{,}4$ мкм.

В некоторых случаях хромосомы в результате многочисленных удвоений ДНК содержат сотни и тысячи хроматид: такие гигантские хромосомы называются *политенными*. Они встречаются в слюнных железах личинок дрозофилы, а также в пищеварительных железах аскариды.

Число хромосом и их видовое постоянство. Соматические и половые клетки

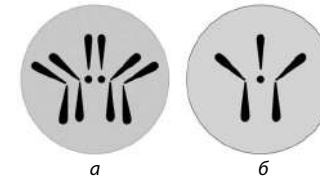
Согласно клеточной теории клетка является единицей строения, жизнедеятельности и развития организма. Таким образом, такие важнейшие функции живого, как рост, размножение и развитие организма обеспечиваются на клеточном уровне. Клетки многоклеточных организмов можно разделить на соматические и половые.

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 (рис. 2.50, а).

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 (рис. 2.50, б). Его образование связано с мейотическим делением клетки.



а *б*

Рис. 2.50. Диплоидный (а) и гаплоидный (б) наборы хромосом плодовой мушки дрозофилы

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* (три-, тетра-, пентаплоидными соответственно). В таких клетках процессы метаболизма протекают, как правило, очень интенсивно.

Количество хромосом само по себе не является видоспецифическим признаком, поскольку различные организмы могут иметь равное количество хромосом, а родственные — разное. Например, у малярийного плазмодия и лошадиной аскариды по две хромосомы, а у человека и шимпанзе — 46 и 48 соответственно.

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.

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.

Жизненный цикл клетки: интерфаза и митоз

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 структуры, которая обеспечила бы выполнение определенной функции. Этот отрезок времени называется *созреванием*.

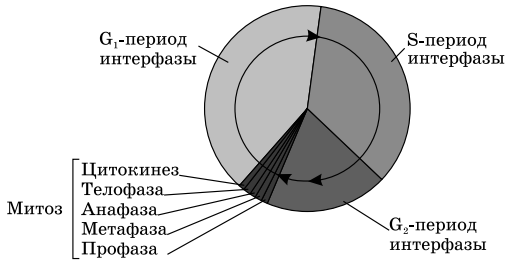


Рис. 2.51. Клеточный цикл

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 (рис. 2.51).

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. Единственным участком хромосомы, который не подвергается репликации, является центромера, поэтому образовавшиеся молекулы ДНК не расходятся полностью, а остаются скрепленными в ней, и в начале деления хромосома имеет Х-образный вид. Генетическая формула клетки после удвоения ДНК — $2n4c$. Также в S-периоде происходит удвоение центриолей клеточного центра.

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.

Часть клеток организма способна выполнять свои функции в течение всей жизни организма (нейроны нашего головного мозга, мышечные клетки сердца), а другие существуют непродолжительное время, после чего погибают (клетки кишечного эпителия, клетки эпидермиса кожи). Следовательно, в организме должны постоянно происходить процессы деления клеток и образования новых, которые замещали бы отмершие. Клетки, способные к делению, называют *стволовыми*. В организме человека они находятся в красном костном мозге, в глубоких слоях эпидермиса кожи и других местах. Используя эти клетки, можно вырастить новый орган, добиться омоложения, а также клонировать организм. Перспективы использования стволовых клеток совершенно ясны, однако морально-этические аспекты этой проблемы все еще обсуждаются, поскольку в большинстве случаев используются эмбриональные стволовые клетки, полученные из убитых при аборте зародышей человека.

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

В ходе последовательных делений в многоклеточных организмах дочерние клетки становятся все более разнообразными, поскольку в них происходит считывание информации со все большего числа генов.

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 — деление соматических клеток. Фазы митоза

Митоз — способ непрямого деления соматических клеток.

Во время митоза клетка проходит ряд последовательных фаз, в результате которых каждая дочерняя клетка получает такой же набор хромосом, как и в материнской клетке (табл. 2.5).

Митоз делится на четыре основные фазы: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (рис. 2.52). *Профаза* — наиболее длительная стадия митоза, в процессе которой происходит конденсация хро-

матина, 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. 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.

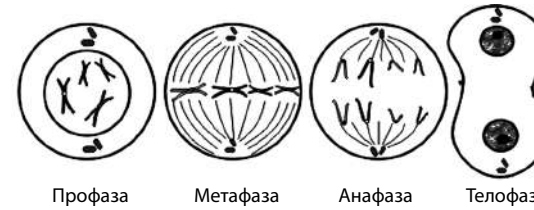


Рис. 2.52. Митоз

В *анафазе* происходит быстрая репликация ДНК в центромерах, вследствие которой хромосомы расщепляются 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 и происходит более или менее равномерное распределение всех органоидов материнской клетки.

Таким образом, в результате митоза из одной материнской клетки образуется две дочерних, каждая из которых является генетической копией материнской ($2n2c$).

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.

Мейоз. Фазы мейоза

Мейоз — это способ непрямого деления первичных половых клеток ($2n2c$), 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. 2.53). 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 (см. табл. 2.5).

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) хромо-

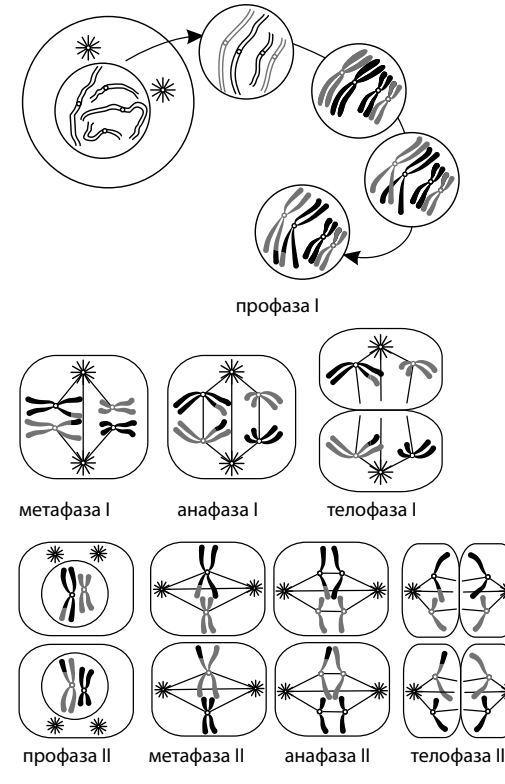


Рис. 2.53. Мейоз

сом по всей длине. Образовавшиеся в процессе конъюгации пары хромосом сохраняются до конца метафазы I.

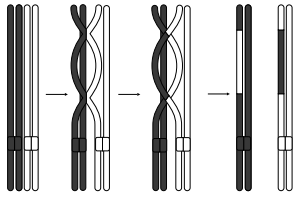


Рис. 2.54. Кроссинговер

Кроссинговер — взаимный обмен гомологичными участками гомологичных хромосом (рис. 2.54). В результате кроссинговера хромосомы, полученные организмом от обоих родителей, приобретают новые комбинации генов, что обусловливает появление генетически разнообразного потомства. В конце профазы I, как и в профазе митоза, исчезает ядрышко, центриоли расходятся к полюсам клетки, а ядерная оболочка распадается.

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.

Таблица 2.5

Сравнительная характеристика митоза и мейоза

Признак	Митоз	Мейоз	
Какие клетки вступают в деление?	Соматические ($2n$)	Первичные половые клетки ($2n$)	
Число делений	1	2	
Сколько и каких клеток образуется в процессе деления?	2 соматические ($2n$)	4 половые (n)	
Интерфаза	Подготовка клетки к делению, удвоение ДНК	Подготовка клетки к делению, удвоение ДНК	Очень короткая, удвоения ДНК не происходит
Фазы		*Мейоз I*	*Мейоз II*
Профаза	Конденсация хромосом, исчезновение ядрышка, распад ядерной оболочки	Конденсация хромосом, исчезновение ядрышка, распад ядерной оболочки, могут происходить *конъюгация* и *кроссинговер*	Конденсация хромосом, исчезновение ядрышка, распад ядерной оболочки
Метафаза	Хромосомы выстраиваются по экватору, формируется веретено деления	По экватору располагаются пары хромосом, формируется веретено деления	Хромосомы выстраиваются по экватору, формируется веретено деления
Анафаза	К полюсам расходятся хроматиды	К полюсам расходятся гомологичные хромосомы из двух хроматид	К полюсам расходятся хроматиды
Телофаза	Хромосомы деспирализуются, формируются новые ядерные оболочки и ядрышки	Хромосомы деспирализуются, формируются новые ядерные оболочки и ядрышки	Хромосомы деспирализуются, формируются новые ядерные оболочки и ядрышки

Интерфаза II очень короткая, так как в ней не происходит удвоения ДНК, то есть 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.

Развитие половых клеток у растений и животных

Гаметогенез (от греч. *гамете* — жена, *гаметес* — муж и *генезис* — происхождение, возникновение) — это процесс образования зрелых половых клеток.

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.

Характер процесса в существенной степени зависит и от того, происходит ли он в растительной или животной клетке, поскольку у растений при образовании гамет происходит только митоз, а у животных — и митоз, и мейоз.

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

Перед образованием мужских половых клеток — *микрогаметогенезом* (от греч. *микрос* — маленький) — 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* (сифоногенной) и мелкой *генеративной*. После деления мужской гаметофит покрывается плотными оболочками и образует пыльцевое зерно. В некоторых случаях еще в процессе созревания пыльцы, а иногда только после переноса на рыльце пестика 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 (рис. 2.55).

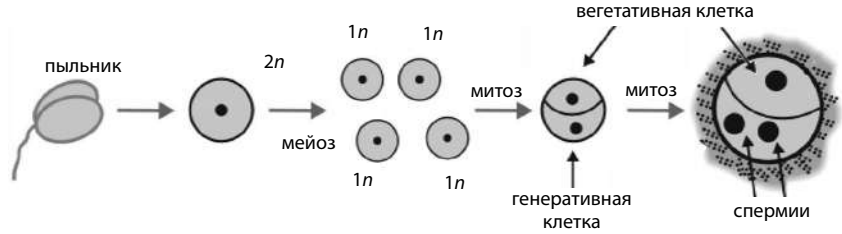


Рис. 2.55. Образование мужских половых клеток у растений

Развитие женских половых клеток у растений называется *мегагаметогенезом* (от греч. *мегас* — большой). Он происходит в завязи пестика, чему предшествует *мегаспорогенез*, в результате которого из материнской клетки мегаспоры, лежащей в нуцеллусе, 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 (рис. 2.56).

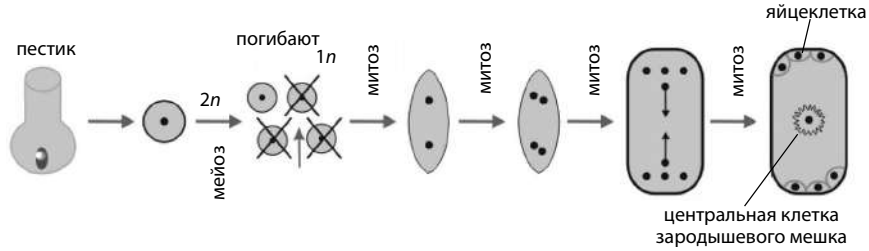


Рис. 2.56. Образование женских половых клеток у растений

Развитие половых клеток у животных. У животных различают два процесса образования половых клеток — сперматогенез и овогенез (рис. 2.57).

Сперматогенез (от греч. *сперма*, *сперматос* — семя и *генезис* — происхождение, возникновение) — 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.

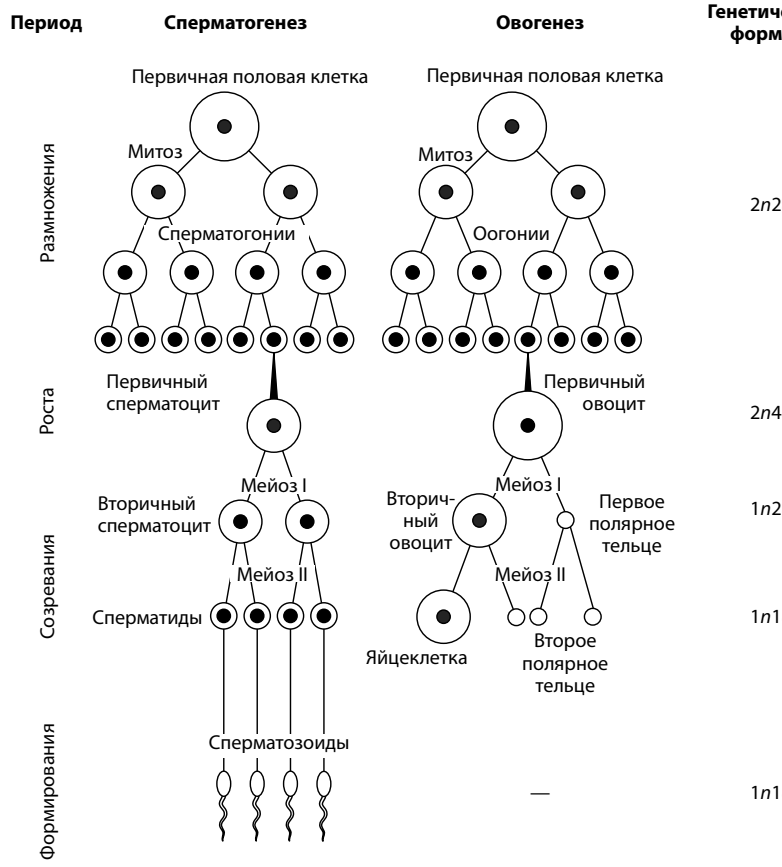


Рис. 2.57. Сравнительная характеристика сперматогенеза и овогенеза

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. 2.58).

Рис. 2.58. 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 (от греч. *оон* — яйцо и *генезис* — происхождение, возникновение) — 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. 2.59).

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.

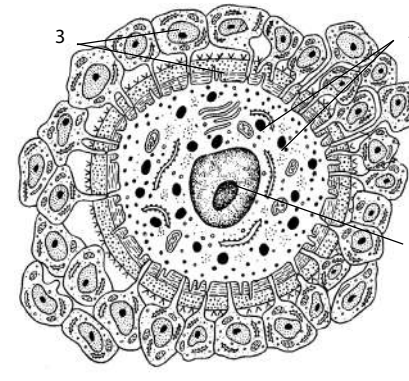


Рис. 2.59. Яйцеклетка:
1 — ядро;
2 — запас питательных веществ в цитоплазме;
3 — оболочки

Деление клетки — основа роста, развития и размножения организмов. Роль митоза и мейоза

Если у одноклеточных организмов деление клетки приводит к увеличению количества особей, т. е. размножению, то у многоклеточных этот процесс может иметь различное значение. Так, деление клеток зародыша, начиная с зиготы, является биологической основой взаимосвязанных процессов роста и развития. Подобные же изменения наблюдаются у человека в подростковом возрасте, когда число клеток не только увеличивается, но и происходит качественное изменение организма. В основе размножения многоклеточных организмов также лежит деление клетки, например при бесполом размножении благодаря этому процессу из части организма происходит восстановление целостного, а при половом — в процессе гаметогенеза образуются половые клетки, дающие впоследствии новый организм. Следует отметить, что основные способы деления эукариотической клетки — митоз и мейоз — имеют различное значение в жизненных циклах организмов.

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.

В процессе деления дочерние клетки становятся все более разнообразными по строению и выполняемым функциям, что связано с активацией у них все новых групп генов вследствие межклеточного взаимодействия. Таким образом, митоз необходим для развития организма.

Этот способ деления клеток необходим для процессов бесполого размножения и регенерации (восстановления) поврежденных тканей, а также органов.

Мейоз, в свою очередь, 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. Благодаря этому потомство получается генетически разнообразным, что дает материал для естественного отбора и является материальной основой эволюции. Изменение числа, формы и размеров хромосом, с одной стороны, может привести к появлению различных отклонений в развитии организма и даже его гибели, а с другой — может привести к появлению особей, более приспособленных к среде обитания.

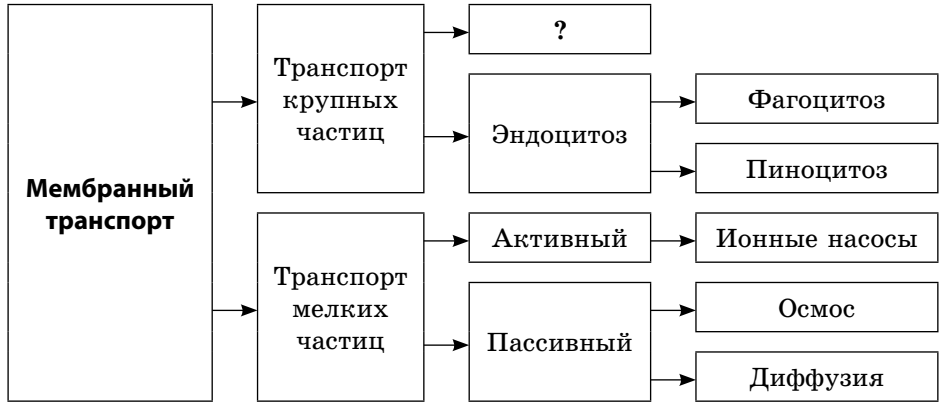
Таким образом, клетка является единицей роста, развития и размножения организмов.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 2 «КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–21 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему классификации мембранного транспорта. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме вопросительным знаком.



Ответ: _____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Основные положения клеточной теории:

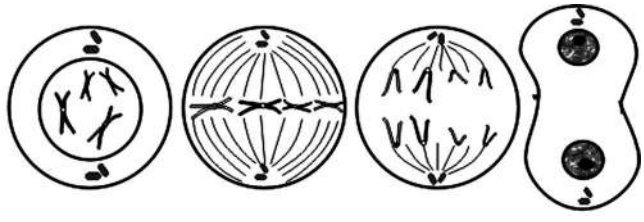
1) гены расположены в хромосомах; гены одной хромосомы наследуются сцеплено
2) клетки всех организмов сходны по химическому составу, строению и функциям
3) каждое живое существо в своем индивидуальном развитии повторяет формы, пройденные его предками или его видом
4) клетки не содержат химических элементов, которые отсутствуют в неживой природе
5) дифференцировка клеток является результатом наличия и проявления в клетках многоклеточных организмов единственной определенной группы генов

Ответ: ☐☐

3 В молекуле иРНК содержится 576 нуклеотидов. Сколько аминокислот содержится в белке, закодированном в этой иРНК? В ответе запишите только соответствующее **число**.

Ответ: _____

4 Все перечисленные ниже признаки, кроме двух, используются для описания способа деления клетки, изображенного на рисунке. Определите два признака, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



1) сопряжен с кроссинговером
2) обеспечивает точное разделение наследственного материала соматических клеток
3) является основой процессов роста и регенерации многоклеточных организмов
4) сохраняет у дочерних клеток то же число хромосом, что и у материнской
5) уменьшает число хромосом в два раза

Ответ: | | |

5 Установите соответствие между процессами и фазами фотосинтеза: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРОЦЕСС	ФАЗА ФОТОСИНТЕЗА
А) синтез глюкозы	1) световая
Б) синтез АТФ	2) темновая
В) выделение кислорода	
Г) связывание углекислого газа	
Д) транспорт электронов	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

6 Сколько молекул АТФ образуется при окислении 16 молекул глюкозы, если известно, что полностью окислилась лишь половина глюкозы, а остальные подверглись только гликолизу. В ответе запишите только соответствующее **число**.

Ответ:_____

7 Все приведенные ниже термины, кроме двух, используют для описания овогенеза. Определите два термина, «выпадающих» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) формирование
2) созревание
3) сперматида
4) овоцит
5) мейоз

Ответ: | | |

8 Установите соответствие между структурными элементами семязачатка и наборами хромосом их клеток: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

СТРУКТУРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СЕМЯЗАЧАТКА	НАБОР ХРОМОСОМ
А) яйцеклетка	1) $1n$
Б) интегумент	2) $2n$
В) центральная клетка	
Г) антипод	
Д) синергида	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

9 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Если у клетки в процессе эволюции возникла структура, изображенная на рисунке, то для этой клетки характерны

1) сформированное ядро
2) муреиновая клеточная оболочка
3) анаэробное дыхание
4) незамкнутые молекулы ДНК
5) мембранные органоиды
6) включения гликогена

Ответ: | | | |

10 Установите соответствие между указанными признаками и органическими веществами, для которых они характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАК	ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
А) мономерами являются моносахариды	1) полисахариды
Б) мономерами являются аминокислоты	2) белки
В) в их состав входят в основном углерод, водород и кислород	
Г) в их состав входят углерод, водород, кислород, азот и сера	
Д) выполняют каталитическую функцию	
Е) не выполняют каталитическую функцию	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

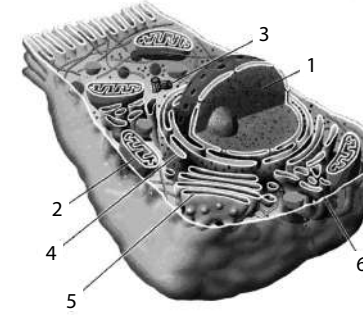
А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите последовательность расположения химических элементов в клетке в порядке возрастания их концентраций. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

1) углерод
2) серебро
3) кальций
4) железо
5) кислород
6) медь

Ответ: | | | | | | |

12 Выберите три верно обозначенные подписи к рисунку, на котором изображена клетка. Запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.



1) ядро
2) хлоропласт
3) клеточный центр
4) гладкая ЭПС
5) лизосома
6) плазмалемма

Ответ: | | |

13 Установите соответствие между химическими элементами и группой биологически значимых элементов, к которой они относятся: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ	ГРУППА БИОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
А) кислород	1) микроэлементы
Б) марганец	2) макроэлементы
В) медь	
Г) йод	
Д) магний	
Е) кальций	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

14 Установите последовательность процессов биосинтеза белка в клетке. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) образование пептидной связи между аминокислотами
2) созревание первичной иРНК
3) присоединение РНК-полимеразы к ДНК
4) отделение полипептидной цепи от рибосомы
5) подбор к кодону иРНК соответствующего антикодона тРНК

Ответ:

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых даны описания **свойств генетического кода**. Запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

(1) Генетическая информация организмов зашифрована в ДНК в виде определенных сочетаний нуклеотидов и их последовательностей — генетического кода. (2) Он был полностью расшифрован в лабораториях М. Ниренберга, С. Очоа и Г. Кораны в 1961–1966 годах. (3) Каждая аминокислота закодирована в ДНК тремя нуклеотидами. (4) Каждый триплет кодирует только одну аминокислоту, но одна и та же аминокислота может быть закодирована одним и более триплетами. (5) Генетическая информация о белках человека может считываться бактериями и наоборот. (6) Это свидетельствует о единстве происхождения органического мира.

Ответ:

16 Установите соответствие между признаками и способами деления, для которого они характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ	СПОСОБ ДЕЛЕНИЯ КЛЕТКИ
А) образуются две клетки с генетической формулой $2n2c$	1) митоз
Б) образуются четыре клетки с генетической формулой $1n1c$	2) мейоз
В) протекает в два деления	
Г) протекает в одно деление	
Д) обязательно происходит кроссинговер	
Е) необязательно происходит кроссинговер	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Молекулы углеводов и липидов выполняют в клетке следующие функции:

1) выделительную
2) энергетическую
3) строительную
4) двигательную
5) каталитическую
6) запасающую

Ответ:

18 Установите соответствие между характеристиками нуклеиновых кислот и их типами: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ХАРАКТЕРИСТИКА	ТИП НУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ
А) содержит азотистое основание тимин	1) ДНК
Б) молекула одноцепочечная	2) РНК
В) входит в состав немембранного органоида	
Г) у прокариот представлена кольцевой молекулой	
Д) содержит углевод рибозу	
Е) синтезируется в процессе репликации	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

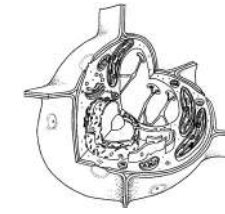
А	Б	В	Г	Д	Е

19 Установите последовательность процессов фагоцитоза в хронологическом порядке. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) выведение остаточного тельца путем экзоцитоза
2) образование пищеварительной вакуоли
3) расщепление веществ ферментами
4) формирование фагоцитозного пузырька
5) усвоение веществ клеткой

Ответ: | | | | | |

20 Рассмотрите рисунок с изображением клетки и определите способ питания организма, тип надмембранного комплекса и запасающее вещество. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин, из предложенного списка.



Способ питания	**Надмембранный комплекс**	**Запасающее вещество**
_____ (А)	_____ (Б)	_____ (В)

Список терминов:

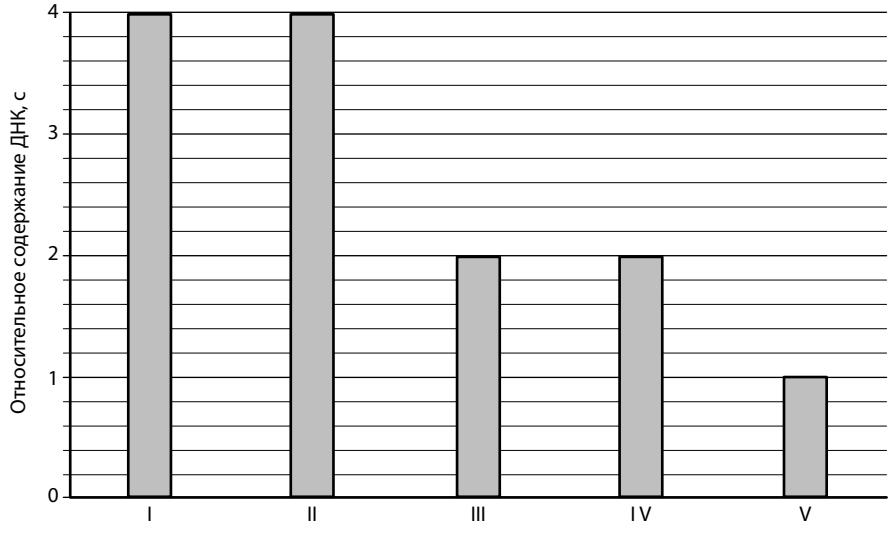
1) гетеротрофный
2) автотрофный
3) гликокаликс
4) целлюлозная клеточная стенка
5) муреиновая клеточная стенка
6) крахмал
7) гликоген

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте гистограмму, в которой представлено относительное количество ДНК в клетке Х на разных стадиях ее жизненного цикла.



Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.
Клетка X:
1) является соматической клеткой
2) делится митотически
3) не синтезирует ДНК в промежутке между делениями
4) участвует в половом размножении
5) из диплоидной становится гаплоидной
Запишите в ответе **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

Ответ: ☐☐

Часть 2

Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

22 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Белки — это высокомолекулярные соединения, мономерами которых являются аминокислоты. (2) Первичная структура белка представляет собой цепочку из аминокислот, связанных ионными связями. (3) Вторичная структура имеет вид двойной спирали, стабилизированной водородными связями. (4) Третичная структура — глобула — поддерживается связями между радикалами аминокислот. (5) Четвертичная структура образуется из нескольких полипептидных цепей благодаря слабым взаимодействиям. (6) Белки выполняют в клетке строительную, энергетическую, каталитическую, двигательную, транспортную, регуляторную, защитную и генетическую функции. (7) Под действием факторов среды белки могут изменять свои функции и утрачивать четвертичную, третичную и вторичную структуры — этот процесс называется деструкцией.

Ответ: ☐☐☐

23 Известно, что оптимальной температурой для сбраживания дрожжами раствора углеводов — 18 – 20° С. Порции дрожжей одинаковой массы поместили в две пробирки с раствором глюкозы. Сравните изображение протекания процесса спиртового брожения в контрольной пробирке при оптимальной температуре (рис. А) и в экспериментальных температурных условиях (рис. Б). Объясните наблюдаемое явление. Определите температуру, при которой находится экспериментальная пробирка (18 – 20° С, 25 – 30° С, 50 – 60° С).

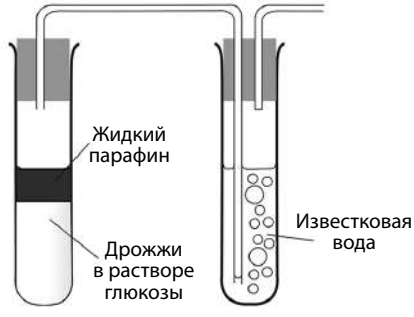


рис. А

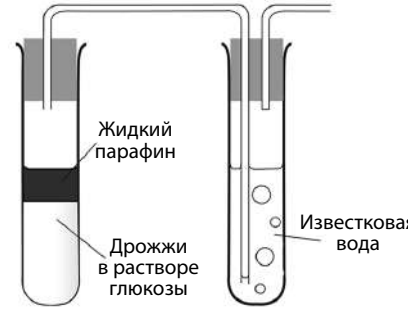


рис. Б

Ответ: _____

_____

24 Какие процессы изображены на рисунках А и Б? Назовите структуры эукариотической клетки, в которых происходят эти процессы. Какие преобразования далее произойдут с синтезированной молекулой РНК (рис. А)?

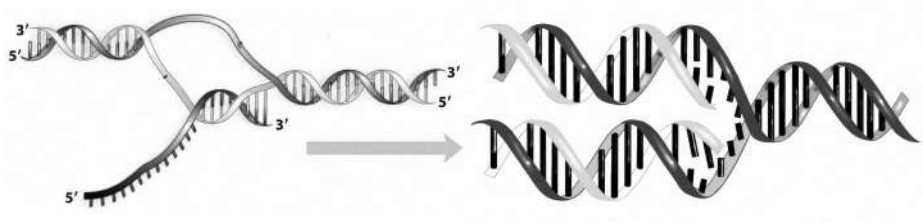


Рис. А Рис. Б

Ответ:

25 В 1877 г. голландский ботаник Хуго Де Фриз провел эксперимент, в котором использовал клетки одного растения, растворы соли и микроскоп. Он поместил клетки растения в растворы разной концентрации, а затем рассмотрел их под микроскопом. Х. Де Фриз обнаружил, что клетки изменились неодинаково. Как изменились клетки в растворах разной концентрации? Объясните причину. Сформулируйте закономерность, установленную Х. Де Фризом.

Ответ:

26 Какие факторы окружающей среды влияют на скорость фотосинтеза? Приведите не менее трех факторов и поясните свой ответ.

Ответ:

27 Хромосомный набор соматических клеток капусты огородной равен 18. Эта клетка поделилась мейозом, из образовавшихся клеток сохранилась только одна. В ней произошли три митоза без цитокинезов. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в клетках капусты в метафазе мейоза I и анафазе мейоза II, а также в профазе митоза. Объясните все полученные результаты. Какой биологический процесс описан выше?

Ответ:

28 Известно, что все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. Фрагмент молекулы ДНК, на которой синтезируется мРНК гормона роста человека, имеет следующую последовательность нуклеотидов: ТГГЦТТЦААГАГГГЦ. Установите нуклеотидную последовательность участка мРНК и аминокислотную последовательность участка гормона, кодируемых данным фрагментом гена. Определите, сколько аминокислот будет в участке гормона в случае выпадения 7-го нуклеотида в участке ДНК. Ответ поясните.

Ответ:

Раздел 3

Организм как биологическая система

3.1. Разнообразие организмов: одноклеточные и многоклеточные; автотрофы, гетеротрофы

Одноклеточные и многоклеточные организмы

Необычайное разнообразие живых существ на планете вынуждает находить различные критерии для их классификации. Так, их относят к клеточным и неклеточным формам жизни, поскольку клетки являются единицей строения почти всех известных организмов — растений, животных, грибов и бактерий, тогда как вирусы являются неклеточными формами.

В зависимости от количества клеток, входящих в состав организма, и степени их взаимодействия выделяют одноклеточные, колониальные и многоклеточные организмы. Несмотря на то, что все клетки сходны морфологически и способны осуществлять обычные функции клетки (обмен веществ, поддержание гомеостаза, развитие и др.), клетки *одноклеточных организмов* выполняют функции целостного организма. Деление клетки у одноклеточных влечет за собой увеличение количества особей, а в их жизненном цикле отсутствуют многоклеточные стадии. В целом у одноклеточных организмов совпадают клеточный и организменный уровни организации. Одноклеточными является подавляющее большинство бактерий, часть животных (простейшие), растений (некоторые водоросли) и грибов. Некоторые систематики даже предлагают выделить одноклеточные организмы в особое царство — протистов.

Колониальными называют организмы, у которых в процессе бесполого размножения дочерние особи остаются соединенными с материнским организмом, образуя более или менее сложное объединение — *колонию*. Кроме колоний многоклеточных организмов, таких как коралловые полипы, имеются и колонии одноклеточных, в частности водоросли пандорина и эвдорина. Колониальные организмы, по-видимому, были промежуточным звеном в процессе возникновения многоклеточных.

Многоклеточные организмы, вне всякого сомнения, обладают более высоким уровнем организации, чем одноклеточные, поскольку их тело образовано множеством клеток. В отличие от колониальных, которые также могут иметь более одной клетки, у многоклеточных организмов клетки специализируются на выполнении различных функций, что отражается и в их строении. Платой за эту специализацию является утрата их клетками способности к самостоятельному существованию, а зачастую и к воспроизведению себе подобных. Деление отдельной клетки приводит к росту многоклеточного организма, но не к его размножению. Онтогенез многоклеточных характеризуется процессом дробления оплодотворенной яйцеклетки на множество клеток-бластомеров, из которых в дальнейшем формируется организм с дифференцированными тканями и органами. Многоклеточные организмы, как правило, крупнее одноклеточных. Увеличение размеров тела по

отношению к их поверхности способствовало усложнению и совершенствованию процессов обмена, формированию внутренней среды и, в конечном итоге, обеспечило им большую устойчивость к воздействиям окружающей среды (гомеостаз). Таким образом, многоклеточные обладают рядом преимуществ в организации по сравнению с одноклеточными и представляют собой качественный скачок в процессе эволюции. Многоклеточными являются немногие бактерии, большинство растений, животных и грибов.

Автотрофы и гетеротрофы

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.

Часть автотрофов может использовать для синтеза органических соединений энергию света — такие организмы называются *фотоавтотрофами*, они способны осуществлять фотосинтез. Фотоавтотрофами являются растения и часть бактерий. К ним тесно примыкают *хемоавтотрофы*, которые извлекают энергию путем окисления неорганических соединений в процессе хемосинтеза — это некоторые бактерии.

К *гетеротрофам* относятся как животные, так и грибы, бактерии и даже лишенные хлорофилла растения. Среди гетеротрофов имеются паразиты, сапротрофы, симбионты, хищники и т. д.

Паразиты — это организмы, использующие другие организмы (хозяев) в качестве среды обитания и источника питания. Характерными представителями этой группы гетеротрофов являются черви-паразиты кишечника человека — бычий цепень, острица и др.

Сапротрофами называют гетеротрофные организмы, осуществляющие питание органическими остатками. Они играют важную роль в круговороте веществ в природе, поскольку обеспечивают завершение существования органических веществ в природе, разлагая их до неорганических. Тем самым сапротрофы участвуют в процессах почвообразования, очистки вод и т. п. К сапротрофам относятся многие грибы и бактерии, а также некоторые растения и животные.

Симбионтами называют разноименные организмы, сосуществующие и взаимодействующие на различной основе. В широком смысле симбиозом называют не только взаимовыгодное сосуществование (*мутуализм*), как у человека с его бактериальной микрофлорой кишечника, но и негативное действие со стороны одного из партнеров — паразитизм.

Аэробы и анаэробы

По особенностям энергетического обмена организмы могут быть поделены на аэробов и анаэробов.

Аэробы способны жить и развиваться только при наличии в среде молекулярного кислорода, который они используют в качестве конечного акцептора электронов в процессе кислородного дыхания (см. Раздел 2.5). К аэробам относится подавляющее большинство животных и грибов, все растения, а также значительная часть прокариот.

Анаэробы не используют кислород для осуществления процессов диссимиляции. Анаэробами являются некоторые животные (в основном внутренние паразиты), а также ряд бактерий. У животных-анаэробов функционирует главным образом гликолиз, а у бактерий — брожение, анаэробное (например, серное) дыхание и бескислородный фотосинтез. Наличие кислорода в среде не мешает развитию многих анаэробов.

Анаэробные организмы возникли раньше аэробных, так как в первичной атмосфере планеты не было кислорода. Его накопление связано с возникновением фотосинтеза, в связи с чем ряд организмов перешел к кислородному дыханию.

3.2. Воспроизведение организмов, его значение. Способы размножения, сходство и отличие полового и бесполого размножения. Оплодотворение у цветковых растений и позвоночных животных. Внешнее и внутреннее оплодотворение

Воспроизведение организмов, его значение

Способность организмов воспроизводить себе подобных является одним из фундаментальных свойств живого. Несмотря на то что жизнь в целом непрерывна, продолжительность жизни отдельно взятой особи конечна, поэтому передача наследственной информации от одного поколения следующему при воспроизведении обеспечивает выживание данного вида организмов на протяжении длительных периодов времени. Таким образом, размножение обеспечивает непрерывность и преемственность жизни.

Обязательным условием воспроизведения является получение большего числа потомков, нежели родительских особей, поскольку далеко не все потомки смогут дожить до той стадии развития, на которой сами смогут давать потомство, так как они могут быть уничтожены хищниками, погибнуть от болезней и стихийных бедствий, например пожаров, наводнений и т. п.

Способы размножения, сходство и отличие полового и бесполого 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.

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

Бинарное деление по сути представляет собой простое митотическое деление одноклеточного материнского организма, при котором вначале делится ядро, а затем и цитоплазма. Оно характерно для различных представителей растительного и животного царства, например 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 одноклеточных животных — споровиков, например 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, и при наличии благоприятных условий прорастают, давая начало новому многоклеточному организму.

Характерным примером *почкования* как разновидности собственно бесполого размножения 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 выпячивание стенки тела, которое постепенно увеличивается в размерах, на переднем конце прорывается ротовое отверстие, окруженное щупальцами. Завершается оно образованием маленькой гидры, 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, сформировавшегося в том числе и в результате оплодотворения, на несколько зародышей. Такое явление регулярно происходит у броненосцев, но может происходить и у человека в случае однояйцевых близнецов.

Наиболее высоко развита способность к вегетативному размножению у растений, у которых начало новому организму могут давать клубни, луковицы, корневища, корневые отпрыски, усы и даже выводковые почки.

Для бесполого размножения требуется только одна родительская особь, что экономит время и энергию, необходимые на поиски полового партнера. Кроме того, из каждого фрагмента материнского организма могут возникнуть новые особи, что также является экономией вещества и энергии, затрачиваемых на размножение. Скорость бесполого размножения также достаточно велика, например, бактерии способны делиться каждые 20–30 минут, чрезвычайно быстро увеличивая свою численность. При этом способе размножения образуются генетически идентичные потомки — клоны, что может рассматриваться как преимущество при условии сохранения постоянства условий окружающей среды.

Однако в связи с тем, что единственным источником генетической 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 гораздо 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.

Если бы при половом размножении сливались соматические клетки с диплоидным набором хромосом (у человека $2n = 46$), то уже во втором поколении в клетках нового организма содержался бы тетраплоидный набор (у человека $4n = 92$), в третьем — октаплоидный и т. д.

Однако размеры эукариотической клетки не беспредельны, они должны колебаться в пределах 10–100 мкм, поскольку при меньших размерах клетки она не будет содержать полного набора необходимых для ее жизнедеятельности веществ и структур, а при больших размерах будет нарушаться равномерное обеспечение клетки кислородом, углекислым газом, водой и другими необходимыми веществами. Соответственно и размеры ядра, в котором находятся хромосомы, не могут превышать 1/5–1/10 объема клетки, а при нарушении этих условий клетка уже не сможет существовать. Таким образом, для полового размножения необходимо предварительное уменьшение количества хромосом, которое будет восстанавливаться при оплодотворении, что и обеспечивается процессом мейотического деления клетки.

Уменьшение числа хромосом должно быть к тому же строго упорядоченным и равноценным, поскольку, если новый организм не будет иметь полных пар хромосом при их общем нормальном количестве, то он либо не будет жизнеспособным, либо это будет сопровождаться развитием тяжелых заболеваний.

Таким образом, мейоз обеспечивает уменьшение числа хромосом, которое восстанавливается при оплодотворении, поддерживая в целом постоянство кариотипа.

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. Иногда этот процесс стимулируется внедрением сперматозоидов организмов другого вида.

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.

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. Этот процесс приводит к изменению признаков и свойств организмов и, в конечном итоге, к образованию новых видов в процессе эволюционного естественного отбора.

Вместе с тем вещество и энергия при половом размножении используются неэффективно, поскольку организмы вынуждены зачастую продуцировать миллионы гамет, однако только отдельные из них используются при оплодотворении. Кроме того, приходится затрачивать энергию и на обеспечение других условий. Например, растения образуют цветки и вырабатывают нектар, чтобы привлечь животных, которые переносят пыльцу на женские части других цветков, а животные затрачивают много времени и энергии на поиски брачных партнеров и ухаживание. Затем приходится расходовать много энергии на заботу о потомстве, поскольку при половом размножении потомки вначале зачастую бывают такими мелкими, что многие из них гибнут от хищников, голода или просто из-за неблагоприятных условий. Следовательно, при бесполом размножении затраты энергии гораздо меньше. Тем не менее половое размножение имеет по меньшей мере одно неоценимое достоинство — генетическую изменчивость потомства.

Бесполое и половое размножение широко используются человеком в сельском хозяйстве, декоративном животноводстве, растениеводстве и других областях для выведения новых сортов растений и пород животных, сохранения хозяйственно ценных признаков, а также быстрого увеличения числа особей.

При бесполом размножении растений, наряду с традиционными способами — черенкованием, прививкой и размножением отводками, постепенно занимают ведущее положение современные методы, связанные с использованием культуры тканей. При этом новые растения получают из небольших фрагментов материнского растения (клеток или кусочков ткани), выращенных на питательной среде, содержащей все необходимые растению питательные вещества и гормоны. Эти методы позволяют не только быстро размножить сорта растений с ценными признаками, например картофель, устойчивый к вирусу скручивания листьев, но и получить незараженные вирусами и другими возбудителями болезней растений организмы. Культура тканей лежит и в основе получения так называемых трансгенных, или генетически модифицированных организмов, а также гибридизации соматических клеток растений, которые невозможно скрестить иным путем.

Скрещивание растений различных сортов дает возможность получить организмы с новыми комбинациями хозяйственно ценных признаков. Для этого используют опыление пыльцой растений того же или другого вида и даже рода. Это явление называется *отдаленной гибридизацией*.

Поскольку у высших животных способность к естественному бесполому размножению отсутствует, основным способом их размножения является половое. Для этого применяют скрещивание особей как одного вида (породы), так и межвидовую гибридизацию, при этом получаются такие хорошо известные гибриды, как мул и лошак, в зависимости от того, особи какого вида были взяты в качестве материнских — осла и лошади. Однако межвидовые гибриды зачастую стерильны, то есть неспособны давать потомство, поэтому каждый раз их следует выводить заново.

Для размножения сельскохозяйственных животных используется и искусственный партеногенез. Выдающийся русский генетик Б. Л. Астауров, повышая температуру, вызвал больший выход самок тутового шелкопряда, которые плетут коконы из более тонкой и ценной нити, чем самцы.

Бесполым же размножением можно считать и клонирование, поскольку при этом используется ядро соматической клетки, которая вводится в оплодотворенную яйцеклетку с убитым ядром. Развивающийся организм должен быть копией, или клоном уже существующего организма.

Оплодотворение у цветковых растений и позвоночных животных

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*. С эволюционной точки зрения самооплодотворение является менее выгодным, так как при этом вероятность возникновения новых комбинаций генов минимальна. Поэтому даже у большинства гермафродитных организмов происходит перекрестное оплодотворение. Данный процесс присущ как растениям, так и животным, однако в его протекании у вышеупомянутых организмов имеется целый ряд отличий.

Так, у цветковых растений оплодотворению предшествует *опыление* — перенос пыльцы, содержащей мужские половые клетки — спермии — на рыльце пестика. Там она прорастает, образуя пыльцевую трубку с передвигающимися по ней двумя спермиями. Достигнув зародышевого мешка, один спермий сливается с яйцеклеткой с образованием зиготы, а другой — с центральной клеткой ($2n$), давая начало впоследствии запасающей ткани вторичного эндосперма. Такой способ оплодотворения получил название *двойного оплодотворения* (рис. 3.1).

У животных, в частности позвоночных, оплодотворению предшествует сближение гамет, или *осеменение*. Успеху осеменения способствует синхронизация выведения мужских и женских половых клеток, а также выделение яйцеклетками специфических химических веществ с целью облегчения ориентации сперматозоидов в пространстве.

При разведении культурных растений и домашних животных усилия человека в основном направлены на сохранение и умножение хозяйственно ценных признаков, тогда как устойчивость этих организмов к условиям окружающей среды и жизнеспособность в целом снижаются. Кроме того, соя и многие другие культурные растения являются самоопыляемыми, поэтому для получения новых сортов необходимо вмешательство человека. Могут возникать также и затруднения в самом процессе оплодотворения, поскольку некоторые растения и животные могут иметь гены стерильности.

У растений для целей селекции производится *искусственное опыление*, для которого из цветков удаляют тычинки, а затем наносят на рыльца пестиков пыльцу из других цветков и накрывают опыленные цветки колпачками-изоляторами во избежание

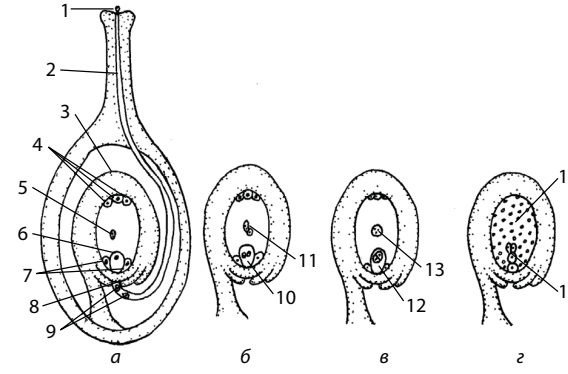


Рис. 3.1. Двойное оплодотворение:
а–г — последовательность двойного оплодотворения;

1) пыльца на рыльце пестика;
2) пыльцевая трубка;
3) халаза;
4) антиподы;
5) центральная клетка;
6) яйцеклетка;
7) синергиды;
8) микропиле (пыльцевход);
9) спермии;
10) слияние спермия с яйцеклеткой;
11) слияние спермия с центральной клеткой;
12) зигота;
13) триплоидная клетка;
14) эндосперм;
15) развивающийся зародыш

опыления пыльцой других растений. В некоторых случаях искусственное опыление производят для повышения урожайности, поскольку из завязей неопыленных цветков семена и плоды не развиваются. Такой прием практиковали ранее в посевах подсолнечника.

При отдаленной гибридизации, особенно если растения различаются по числу хромосом, естественное оплодотворение становится либо вовсе невозможным, либо уже при первом делении клетки происходит нарушение расхождения хромосом и организм гибнет. В таком случае оплодотворение производят в искусственных условиях, а в начале деления клетку обрабатывают колхицином — веществом, разрушающим веретено деления, при этом хромосомы рассыпаются по клетке, а затем формируется новое ядро уже с удвоенным числом хромосом, и при последующих делениях таких проблем не возникает. Таким образом были созданы редечно-капустный гибрид Г. Д. Карпеченко и тритикале — высокоурожайный гибрид пшеницы и ржи.

У основных видов сельскохозяйственных животных существует еще больше препятствий для оплодотворения, чем у растений, что вынуждает человека к применению решительных мер. Искусственное оплодотворение применяется в основном при разведении скота ценных пород, когда необходимо получить как можно больше потомства от одного производителя. В этих случаях семенную жидкость собирают, смешивают с водой, помещают в ампулы, а затем, по мере необходимости, вводят в половые пути самок. В рыбоводческих хозяйствах при искусственном оплодотворении у рыб полученную из молок сперму самцов смешивают с икрой в специальных емкостях. Молодь, выращенная в специальных садках, затем выпускается в естественные водоемы и восстанавливает популяцию, например, осетровых в Каспийском море и на Дону.

Таким образом, искусственное оплодотворение служит человеку для получения новых, высокопродуктивных сортов растений и пород животных, а также для повышения их продуктивности и восстановления природных популяций.

Внешнее и внутреннее оплодотворение

У животных различают внешнее и внутреннее оплодотворения. При *внешнем оплодотворении* женские и мужские половые клетки выводятся наружу, где и происходит процесс их слияния, как, например, у кольчатых червей, двустворчатых моллюсков, бесчерепных, большинства рыб и многих земноводных. Несмотря на то, что оно не требует сближения размножающихся особей, у подвижных животных возможно не только их сближение, но и скопление, как при нересте рыб.

Внутреннее оплодотворение связано с введением мужских половых продуктов в половые пути самки, и наружу выводится уже оплодотворенная яйцеклетка. Она зачастую имеет плотные оболочки, препятствующие ее повреждению и проникновению следующих сперматозоидов. Внутреннее оплодотворение характерно для подавляющего большинства наземных животных, например для плоских и круглых червей, многих членистоногих и брюхоногих моллюсков, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих, а также для ряда земноводных. Оно встречается и у некоторых водных животных, в том числе у головоногих моллюсков и хрящевых рыб.

Существует и промежуточный тип оплодотворения — *наружно-внутренний*, при котором самка захватывает половые продукты, специально оставленные самцом на каком-либо субстрате, как это происходит у некоторых членистоногих и хвостатых земноводных. Наружно-внутреннее оплодотворение может рассматриваться как переходное от внешнего к внутреннему.

Как внешнее, так и внутреннее оплодотворения имеют свои преимущества и недостатки. Так, при внешнем оплодотворении половые клетки выделяются в воду или воздух, вследствие чего подавляющее большинство их гибнет. Однако эта разновидность оплодотворения обеспечивает существование полового размножения у таких прикрепленных и малоподвижных животных, как двустворчатые моллюски и бесчерепные. При внутреннем оплодотворении потери гамет, безусловно, гораздо меньше, однако при этом вещество и энергия затрачиваются на поиск партнера, а появившиеся на свет потомки зачастую слишком малы и слабы и требуют длительной опеки родителей.

3.3. Онтогенез и присущие ему закономерности. Эмбриональное и постэмбриональное развитие организмов. Причины нарушения развития организмов

Онтогенез и присущие ему закономерности

Онтогенез (от греч. *онтос* — сущее и *генезис* — возникновение, происхождение) — это процесс индивидуального развития организма от зарождения до смерти. Данный термин был введен в 1866 году немецким ученым Э. Геккелем (1834–1919).

Зарождением организма считается возникновение зиготы в результате оплодотворения яйцеклетки сперматозоидом, хотя при партеногенезе зигота как таковая не образуется. В процессе онтогенеза происходят рост, дифференцировка и интеграция частей развивающегося организма. *Дифференцировкой* (от лат. *дифферентио* — различие) называют процесс возникновения различий между однородными тканями и органами, их изменения в ходе развития особи, приводящие к формированию специализированных тканей и органов.

Закономерности онтогенеза являются предметом изучения *эмбриологии* (от греч. *эмбрион* — зародыш и *логос* — слово, наука). Значительный вклад в ее развитие внесли русские ученые К. Бэр (1792–1876), обнаруживший яйцеклетку млекопитающих и положивший эмбриологические доказательства в основу классификации позвоночных животных, А. О. Ковалевский (1849–1901) и И. И. Мечников (1845–1916) — основоположники теории зародышевых листков и сравнительной эмбриологии, а также А. Н. Северцов (1866–1936), который выдвинул теорию возникновения новых признаков на любом этапе онтогенеза.

Индивидуальное развитие характерно только для многоклеточных организмов, поскольку у одноклеточных рост и развитие заканчиваются на уровне единственной клетки, а дифференцировка и вовсе отсутствует. Ход онтогенеза определяется генетическими программами, закрепившимися в процессе эволюции, то есть онтогенез является кратким повторением исторического развития данного вида, или филогенеза.

Несмотря на неизбежное переключение отдельных групп генов в ходе индивидуального развития, все изменения в организме происходят постепенно и не нарушают его целостности, однако события каждой предыдущей стадии оказывают значительное влияние на протекание последующих стадий развития. Так, любые сбои в процессе развития способны привести к прерыванию процесса онтогенеза на любой из стадий, как это достаточно часто происходит с зародышами (так называемые выкидыши).

Таким образом, для процесса онтогенеза характерно единство пространства и времени действия, поскольку он неразрывно связан с телом особи и протекает однонаправленно.

Эмбриональное и постэмбриональное развитие организмов

Периоды онтогенеза

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.

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. 3.2). 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. Этот процесс похож на колку льда, однако является не хаотическим, а строго упорядоченным. Например, у человека это дробление является билатеральным, то есть двустороннесимметричным. В результате дробления и последующего расхождения клеток образуется *бластула* — однослойный многоклеточный зародыш, представляющий собой полый шарик, стенки которого образованы клетками — бластомерами, а полость внутри заполнена жидкостью и называется *бластоцелем*.

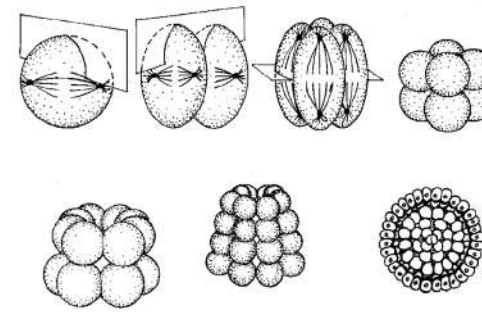


Рис. 3.2. Дробление

Гаструляцией называют процесс образования двух- или трехслойного зародыша — *гаструлы* (от греч. *гастер* — желудок), 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* (от греч. *эктос* — вне, снаружи и *дерма* — кожа) — это наружный зародышевый листок, *мезодерма* (от греч. *мезос* — средний, промежуточный) — средний, а *энтодерма* (от греч. *энтос* — внутри) — 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.

На специализацию клеток накладывает отпечаток 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 эпидермис кожи и его 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* (новолат. *нейрула*, уменьшит. от греч. *нейрон* — нерв). 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.

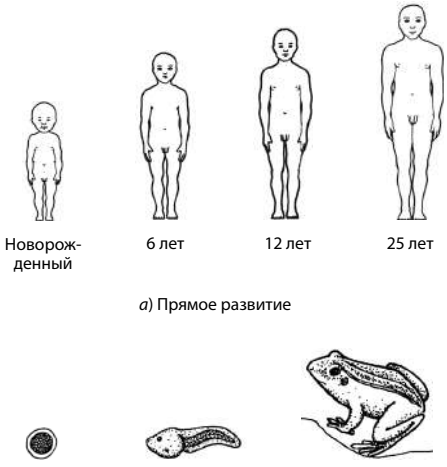


Рис. 3.3. Прямое и непрямое развитие

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 по способности к репродукции 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 (рис. 3.3, *а*). При *непрямом развитии* особь непохожа на взрослую, и в процессе развития происходит существенная перестройка ее организма, как у амфибий (рис. 3.3, *б*). Наличие в жизненном цикле личинок, непохожих на взрослых особей, позволяет снижать внутривидовую конкуренцию за счет разделения источников питания, способствует расселению малоподвижных или неподвижных организмов, обеспечивает заражение хозяев паразитами, а у некоторых организмов, которые не питаются на взрослой стадии, личинки выполняют и питательную функцию.

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.

Процессы роста контролирует эндокринная, или гормональная система: у человека увеличению линейных размеров тела способствует выделение соматотропного гормона, тогда как гонадотропные гормоны в значительной степени подавляют его. Аналогичные механизмы открыты и у насекомых, у которых существует специальный ювенильный гормон и гормон линьки.

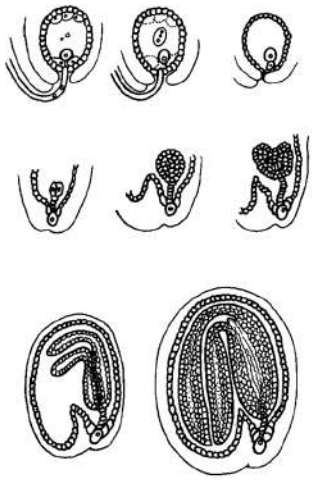


Рис. 3.4. Эмбриональное развитие цветковых растений

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 (рис. 3.4).

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

Способность к саморегуляции и к противостоянию вредным влияниям среды возникает у организмов не сразу. В течение эмбрионального и постэмбрионального развития, когда многие защитные системы организма еще не сформировались, организмы обычно уязвимы для действия повреждающих факторов. Поэтому у животных и растений зародыш защищен специальными оболочками или самим материнским организмом. Он либо снабжен специальной питающей тканью, либо получает питательные вещества непосредственно от материнского организма. Тем не менее изменение внешних условий может ускорить или затормозить развитие эмбриона и даже вызвать возникновение различных нарушений.

Факторы, вызывающие отклонения в развитии зародыша, 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.

Особо вредное влияние на развитие эмбриона человека оказывает употребление его родителями алкоголя, наркотиков, курение табака, поскольку алкоголь и никотин угнетают клеточное дыхание. Недостаточное снабжение зародыша кислородом приводит к тому, что в формирующихся органах образуется меньшее количество клеток, органы оказываются недоразвитыми. Особенно чувствительна к недостатку кислорода нервная ткань. Употребление будущей матерью алкоголя, наркотиков, курение табака, злоупотребление лекарствами часто приводит к необратимому повреждению эмбриона и последующему рождению детей с умственной отсталостью или врожденными уродствами.

3.4. Генетика, ее задачи. Наследственность и изменчивость — свойства организмов. Методы генетики. Основные генетические понятия и символика. Хромосомная теория наследственности. Современные представления о гене и геноме

Генетика, ее задачи

Успехи естествознания и клеточной биологии в XVIII–XIX веках позволили ряду ученых высказать предположения о существовании неких наследственных факторов, определяющих, например, развитие наследственных болезней, однако эти предположения не были подкреплены соответствующими доказательствами. Даже сформулированная Х. де Фризом в 1889 году теория внутриклеточного пангенеза, которая предполагала существование в ядре клетки неких «пангенов», определяющих наследственные задатки организма, и выход в протоплазму только тех из них, которые определяют тип клетки, не смогла изменить ситуацию, как и теория «зародышевой плазмы» А. Вейсмана, согласно которой приобретенные в процессе онтогенеза признаки не наследуются.

Лишь труды чешского исследователя Г. Менделя (1822–1884) стали основополагающим камнем современной генетики. Однако, несмотря на то, что его труды цитировались в научных изданиях, современники не обратили на них внимания. И лишь повторное открытие закономерностей независимого наследования сразу тремя учеными — Э. Чермаком, К. Корренсом и Х. де Фризом — вынудило научную общественность обратиться к истокам генетики.

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.

Наследственность и изменчивость — свойства организмов

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

Изменчивость — свойство организмов приобретать новые признаки в течение жизни.

Признаки — это любые морфологические, физиологические, биохимические и иные особенности организмов, по которым одни из них отличаются от других, например цвет глаз. *Свойствами* же называют любые функциональные особенности организмов, в основе которых лежит определенный структурный признак или группа элементарных признаков.

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

ственности локализованы в ядре и далее речь пойдет именно о ней, а носителями цитоплазматической наследственности являются находящиеся в митохондриях и пластидах кольцевые молекулы ДНК. Цитоплазматическая наследственность передается в основном с яйцеклеткой, поэтому называется также *материнской*.

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 метод*, 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. Это старейший информативный метод генетики, который наиболее полно впервые применил Г. Мендель в сочетании со статистическим методом. Данный метод неприменим в генетике человека по этическим соображениям.
2. *Цитогенетический метод* основан на исследовании кариотипа: числа, формы и величины хромосом организма. Изучение этих особенностей позволяет выявить различные патологии развития.
3. *Биохимический метод* позволяет определять содержание различных веществ в организме, в особенности их избыток или недостаток, а также активность целого ряда ферментов.
4. *Молекулярно-генетические методы* 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 метод* позволяет определить генетический состав популяции, частоту определенных генов и генотипов, генетический груз, а также наметить перспективы развития популяции.
6. *Метод гибридизации соматических клеток* в культуре 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*. Например, ген, обусловливающий развитие наследственного заболевания арахнодактилии (паучьи пальцы), вызывает также искривление хрусталика, патологии многих внутренних органов.

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 аллели, 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 варианта, например группы крови по системе АВ0 кодируются тремя аллелями — I^A, I^B, *i*. Такое явление называется *множественным аллелизмом*. Однако даже в этом случае каждая хромосома из пары несет только одну аллель, то есть все три варианта гена у одного организма не могут быть представлены.

Геном — совокупность генов, характерная для гаплоидного набора хромосом.

Генотип — совокупность генов, характерная для диплоидного набора хромосом.

Фенотип — совокупность признаков и свойств организма, которая является результатом взаимодействия генотипа и окружающей среды.

Поскольку организмы отличаются между собой многими признаками, установить закономерности их наследования можно только при анализе двух и более признаков в потомстве. Скрещивание, при котором рассматривается наследование и проводится точный количественный учет потомства по одной паре альтернативных признаков, называется *моногибридным*, по двум парам — *дигибридным*, по большему количеству признаков — *полигибридным*.

По фенотипу особи далеко не всегда можно установить ее генотип, поскольку как гомозиготный по доминантному гену организм (*AA*), так и гетерозиготный (*Aa*) будет иметь в фенотипе проявление доминантной аллели. Поэтому для проверки генотипа организма с перекрестным оплодотворением применяют *анализирующее скрещивание* — скрещивание, при котором организм с доминантным признаком скрещивается с гомозиготным по рецессивному гену. При этом гомозиготный по доминантному гену организм не будет давать расщепления в потомстве, тогда как в потомстве гетерозиготных особей наблюдается равное количество особей с доминантным и рецессивным признаками.

Для записи схем скрещиваний чаще всего применяются следующие условные обозначения:

P (от лат. *парента* — родители) — 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.

Хромосомная теория наследственности

Основоположник генетики Г. Мендель, равно как и его ближайшие последователи, не имели ни малейшего представления о материальной основе наследственных задатков, или генов. Однако уже в 1902–1903 годах немецкий биолог Т. Бовери и американский студент У. Сэттон независимо друг от друга предположили, что поведение хромосом при созревании клеток и оплодотворении позволяет объяснить расщепление наследственных факторов по Менделю, т. е., по их мнению, гены должны быть расположены в хромосомах. Данные предположения стали краеугольным камнем хромосомной теории наследственности.

В 1906 году английские генетики У. Бэтсон и Р. Пеннет обнаружили нарушение менделевского расщепления при скрещивании душистого горошка, а их соотечественник Л. Донкастер в экспериментах с бабочкой крыжовенной пяденицей открыл сцепленное с полом наследование. Результаты этих экспериментов явно противоречили менделевским, но если учесть, что к тому

времени уже было известно о том, что количество известных признаков для экспериментальных объектов намного превышало количество хромосом, а это наводило на мысль, что каждая хромосома несет более одного гена, а гены одной хромосомы наследуются совместно.

В 1910 году начинаются эксперименты группы Т. Моргана на новом экспериментальном объекте — плодовой мушке дрозофиле. Результаты этих экспериментов позволили к середине 20-х годов XX века сформулировать основные положения хромосомной теории наследственности, определить порядок расположения генов в хромосомах и расстояния между ними, т. е. составить первые карты хромосом.

Основные положения хромосомной теории наследственности:

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

Современные представления о гене и геноме

В начале 40-х годов XX века Дж. Бидл и Э. Тейтум, анализируя результаты генетических исследований, проведенных на грибе нейроспоре, пришли к выводу, что каждый ген контролирует синтез какого-либо фермента, и сформулировали принцип «один ген — один фермент».

Однако уже в 1961 году Ф. Жакобу, Ж. Л. Моно и А. Львову удалось расшифровать структуру гена кишечной палочки и исследовать регуляцию его активности. За это открытие им в 1965 году была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине.

В процессе исследования, кроме структурных генов, контролирующих развитие определенных признаков, им удалось выявить и регуляторные, основной функцией которых является проявление признаков, кодируемых другими генами.

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

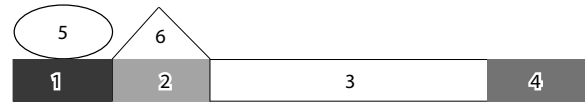


Рис. 3.5. Схема строения оперона:
1 — промотор; 2 — оператор; 3 — структурная последовательность; 4 — терминатор; 5 — РНК-полимераза; 6 — репрессор

Цитоплазма прокариот может содержать также дополнительные небольшие кольцевые или незамкнутые молекулы ДНК, которые называются *плазмидами*. Плазмиды способны встраиваться в хромосомы и передаваться от одной клетки к другой. Они могут нести информацию о половых признаках, патогенности и устойчивости к антибиотикам.

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 каждой клетке человека в 46 хромосомах находится около 2 м ДНК, плотно упакованной в двойную спираль, которая состоит примерно из $3{,}2 \times 10^9$ нуклеотидных пар, что обеспечивает около $10^{1900000000}$ возможных уникальных комбинаций. К концу 80-х годов XX века было известно расположение примерно 1500 генов человека, однако их общее количество оценивали примерно в 100 тыс., поскольку только наследственных болезней у человека имеется примерно 10 тыс., не говоря уже о количестве разнообразных белков, содержащихся в клетках.

В 1988 году стартовал международный проект «Геном человека», который к началу XXI века закончился полной расшифровкой последовательности нуклеотидов. Он дал возможность понять, что два разных человека на 99,9 % имеют сходные последовательности нуклеотидов, и лишь остающиеся 0,1 % определяют нашу индивидуальность. Всего было обнаружено примерно 30–40 тыс. структурных генов, однако затем их количество было снижено до 25–30 тыс. Среди этих генов имеются не только уникальные, но и повторяющиеся сотни и тысячи раз. Тем не менее данные гены кодируют гораздо большее количество белков, например десятки тысяч защитных белков — иммуноглобулинов.

97 % нашего генома является генетическим «мусором», который существует только потому, что умеет хорошо воспроизводиться (РНК, которые транскрибируются на этих участках, никогда не покидают ядро). Например, среди наших генов есть не только «человеческие» гены, но и 60 % генов, похожих на гены мушки дрозофилы, а с шимпанзе нас роднит до 99 % генов.

Параллельно с расшифровкой генома происходило и картирование хромосом, вследствие этого удалось не только обнаружить, но и определить расположение некоторых генов, отвечающих за развитие наследственных заболеваний, а также генов-мишеней лекарственных препаратов.

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. Тем не менее эра молекулярной медицины уже на пороге, во всем мире идет разработка так называемых генопрепаратов, которые смогут блокировать, удалять или даже замещать патологические гены у живых людей, а не только в оплодотворенной яйцеклетке.

Не следует забывать и о том, что в эукариотических клетках ДНК содержится не только в ядре, но также в митохондриях и пластидах. В отличие от ядерного генома, организация генов митохондрий и пластид имеет много общего с организацией генома прокариот. Несмотря на то что эти органеллы несут менее 1 % наследственной информации клетки и не кодируют даже полного набора белков, необходимых для их собственного функционирования, они способны существенно влиять на некоторые признаки организма. Так, пестролистность у растений хлорофитума, плюща и других наследует незначительное число потомков даже при скрещивании двух пестролистных растений. Это обусловлено тем, что пластиды и митохондрии передаются большей частью с цитоплазмой яйцеклетки, поэтому такая наследственность называется материнской, или цитоплазматической, в отличие от генотипической, которая локализуется в ядре.

3.5. Закономерности наследственности, их цитологические основы. Закономерности наследования, установленные Г. Менделем, их цитологические основы (моно- и дигибридное скрещивание). Законы Т. Моргана: сцепленное наследование признаков, нарушение сцепления генов. Генетика пола. Наследование признаков, сцепленных с полом. Взаимодействие генов. Генотип как целостная система. Генетика человека. Методы изучения генетики человека. Решение генетических задач. Составление схем скрещивания

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. 3.9).

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, т. е. закономерности наследственности носят статистический характер (рис. 3.6).

В тех случаях, 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. 3.7). 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.

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 $2^{23} = 8388608$. Последующее объединение гамет при оплодотворении является также случайным, и поэтому в потомстве можно зафиксировать независимое расщепление по каждой паре признаков (рис. 3.8).

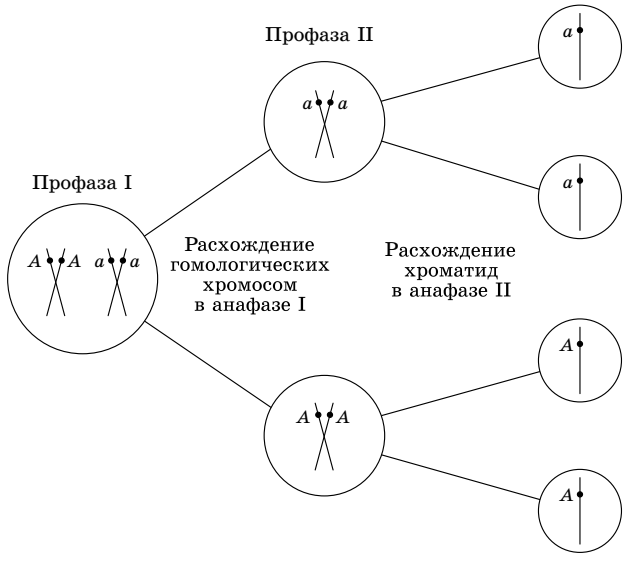


Рис. 3.6. Расхождение аллельных генов в процессе гаметогенеза

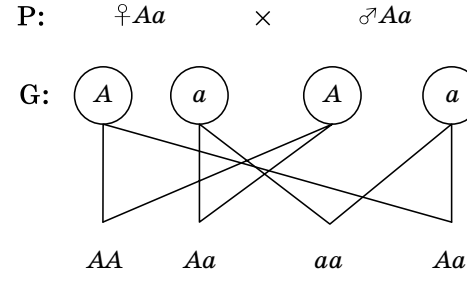


Рис. 3.7. Сочетания гамет в процессе оплодотворения

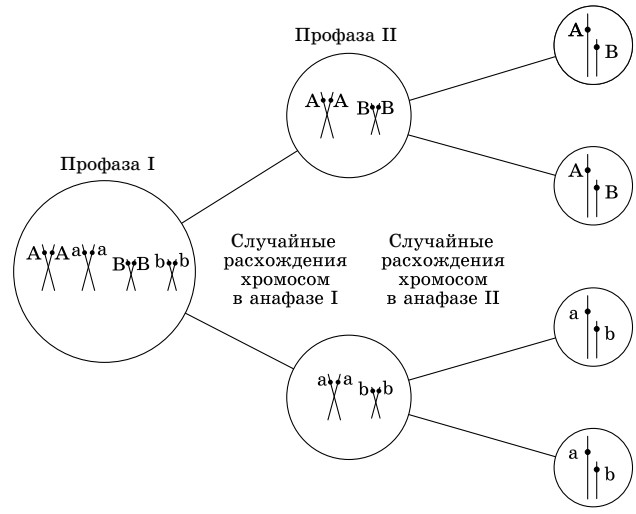


Рис. 3.8. Независимое расщепление каждой пары признаков

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*.

Другое фундаментальное подтверждение цитологической основы наследственности было получено при исследовании различных заболеваний. Так, у человека одна из форм рака обусловлена утратой маленького участка одной из хромосом.

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.

Успех Г. Менделя был обеспечен следующими факторами:

- удачным выбором объекта исследования (гороха посевного), который имеет короткий срок вегетации, является самоопыляемым растением, дает значительное количество семян и представлен большим количеством сортов с хорошо различимыми признаками;
- использованием только чистых линий гороха, которые на протяжении нескольких поколений не давали расщепления признаков в потомстве;
- концентрацией только на одном-двух признаках;
- планированием эксперимента и составлением четких схем скрещивания;
- точным количественным подсчетом полученного потомства.

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

(табл. 3.1). 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*.

Таблица 3.1

Признаки гороха, наследование которых изучено Г. Менделем

Признак	Вариант проявления	
	Доминантный	*Рецессивный*
Окраска семян	Желтая	Зеленая
Форма семян	Гладкая	Морщинистая
Форма плода (боба)	Простой	Членистый
Окраска плода	Зеленая	Желтая
Окраска венчика цветка	Красная	Белая
Положение цветков	Пазушные	Верхушечные
Длина стебля	Длинный	Короткий

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*

желтые семена

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 6022 семени имеют желтую окраску, а 2001 — 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*	×	♂ *Aa*	
	желтые семена		желтые семена	
Гаметы	*A*	*a*	*A*	*a*
F_2	$\underbrace{1AA : 2Aa}$: 1*aa*			
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*		**P**	♀ *Aa*	×	♂ *aa*
Гаметы	*A*		*a*		**Гаметы**	*A* *a*		*a*
F_a		*Aa*			**F_a**		1*Aa* : 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 (т. е. гаметы генетически чисты), а при оплодотворении пара восстанавливается. Эти предположения получили название *правила чистоты гамет.*

Правило чистоты гамет:

При гаметогенезе гены одной пары разделяются, т. е. каждая гамета несет только один вариант гена.

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 расщепления 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*

F_2 9*A_B_** (желтые гладкие) : 3*A_bb* (желтые морщинистые) : 3*aaB_* (зеленые гладкие) : 1*aabb** (зеленые морщинистые)

* На данном месте 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.

Законы Т. 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 (рис. 3.9). Данные особи называются *рекомбинантными*.

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 Т. Моргана*.

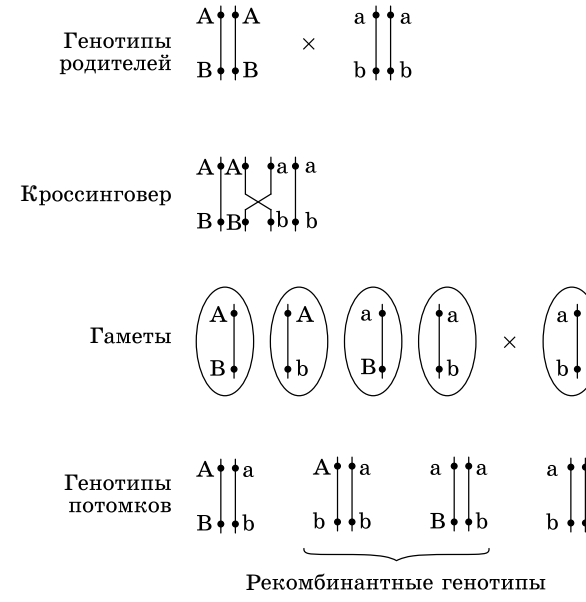


Рис. 3.9. Сцепленное наследование признаков и кроссинговер

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.

Явления сцепления генов и кроссинговера позволяют построить карты хромосом с нанесенным на них порядком расположения генов. Генетические карты хромосом созданы для многих генетически хорошо изученных объектов: дрозофилы, мыши, человека, кукурузы, пшеницы, гороха и др. Изучение генетических карт позволяет сравнивать строение генома у различных видов организмов, что имеет важное значение для генетики и селекции, а также эволюционных исследований.

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. Человечество издавна интересовал вопрос, почему особи мужского и женского пола рождаются в соотношении приблизительно 1:1. Объяснение этому было получено при изучении кариотипов насекомых. Оказалось, что у самок некоторых клопов, кузнечиков и бабочек на одну хромосому больше, чем у самцов. В свою очередь самцы продуцируют гаметы, различающиеся по количеству хромосом, тем самым заранее определяя пол потомка. Однако впоследствии было выяснено, что у большинства организмов количество хромосом у самцов и самок все же не различается, но у одного из полов есть пара хромосом, которые не подходят друг другу по размерам, а у другого все хромосомы парные.

В кариотипе человека также обнаружили подобное различие: у 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.

К *аутосомам* относят хромосомы, одинаковые для обоих полов, тогда как *половые хромосомы* — это хромосомы, отличающиеся у разных полов и несущие информацию о половых признаках. 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).

X-хромосома является крупной неравноплечей хромосомой, которая несет свыше 1500 генов, причем многие мутантные их аллели вызывают у человека развитие тяжелых наследственных заболеваний, таких как гемофилия и дальтонизм. Y-хромосома, напротив, очень маленькая, в ней содержится всего около десятка генов, в том числе специфические гены, ответственные за развитие по мужскому типу.

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

Поскольку гаметы с половыми хромосомами продуцируются у самцов с равной вероятностью, то ожидаемое соотношение полов в потомстве составляет 1:1, что и совпадает с фактически наблюдаемым.

Пчелы отличаются от других организмов тем, что самки у них развиваются из оплодотворенных яиц, а самцы — из неоплодотворенных. Соотношение полов у них отличается от указанного выше, так как процесс оплодотворения регулирует матка, в половых путях которой с весны запасаются сперматозоиды на весь год.

У ряда организмов пол может определяться иным способом: до оплодотворения или после него, в зависимости от условий внешней среды.

Наследование признаков, сцепленных с полом

Так как некоторые гены находятся в половых хромосомах, неодинаковых у представителей противоположных полов, то 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 нормальная свертываемость крови	X^HY, 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).

Взаимодействие генов

Проверка закономерностей независимого наследования на различных объектах уже в начале XX века показала, что, например, у ночной красавицы при скрещивании растений с красным и белым венчиком у гибридов первого поколения венчики окрашены в розовый цвет, тогда как во втором поколении имеются особи с красными, розовыми и белыми цветками в соотношении 1:2:1. Это навело исследователей на мысль, что аллельные гены могут оказывать определенное влияние друг на друга. Впоследствии было также установлено, что и неаллельные гены способствуют проявлению признаков других генов или подавляют их. Данные наблюдения стали основой представления о генотипе как о системе взаимодействующих генов. В настоящее время различают взаимодействие аллельных и неаллельных генов.

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 АВ0 (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Наследование групп крови по системе АВ0

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

Как видно из таблицы, I, II и III группы крови наследуются по типу полного доминирования, тогда как IV (АВ) 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.

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 имеет 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.

Генотип как целостная система

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. Таким образом, для каждого отдельно взятого гена существует генотипическая среда. Возможно, что развитие любого признака связано с действием многих генов. Кроме того, выявлена зависимость нескольких признаков от одного гена. Например, у овса окраска цветочных чешуй и длина их ости определяются одним геном. У дрозофилы ген белой окраски глаза одновременно влияет на цвет тела и внутренних органов, длину крыльев, снижение плодовитости и уменьшение продолжительности жизни. Не исключено, что каждый ген одновременно является геном основного действия для «своего» признака и модификатором для других признаков. Таким образом, фенотип — это результат взаимодействия генов всего генотипа с окружающей средой в онтогенезе особи.

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.

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.

Генетика человека одновременно является фундаментальной и прикладной наукой, поскольку занимается исследованием наследственных болезней человека, которых в настоящее время описано уже более 4 тыс. Она стимулирует развитие современных направлений общей и молекулярной генетики, молекулярной биологии и клинической медицины. В зависимости от проблематики генетика человека делится на несколько направлений, развившихся в самостоятельные науки: генетика нормальных признаков человека, медицинская генетика, генетика поведения и интеллекта, популяционная генетика человека. В связи с этим в наше время человек как генетический объект исследован едва ли не лучше, чем основные модельные объекты генетики: дрозофила, арабидопсис и др.

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

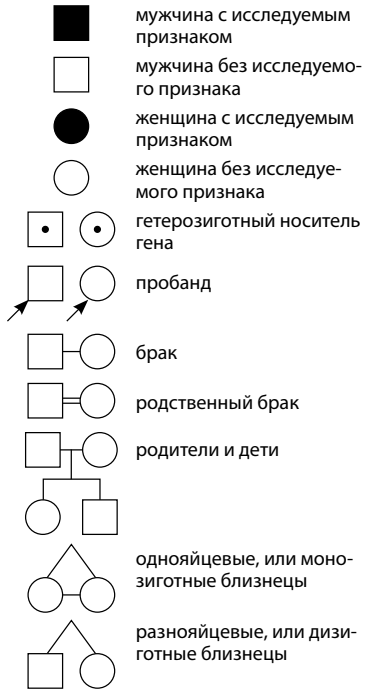


Рис. 3.10. Условные обозначения, используемые при составлении родословных

Методы изучения генетики человека

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.

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

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.

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, дальтонизм, хорея Гентингтона и др. 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 (рис. 3.10).

Генеалогический метод можно использовать на одной семье, если есть сведения о достаточном количестве прямых родственников человека, родословная которого составляется — *пробанда*, — 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. Так, по портретам австрийских монархов Габсбургов было установлено наследование прогнатии (сильно выпяченной нижней губы) и «королевской гемофилии» у потомков британской королевы Виктории (рис. 3.11).

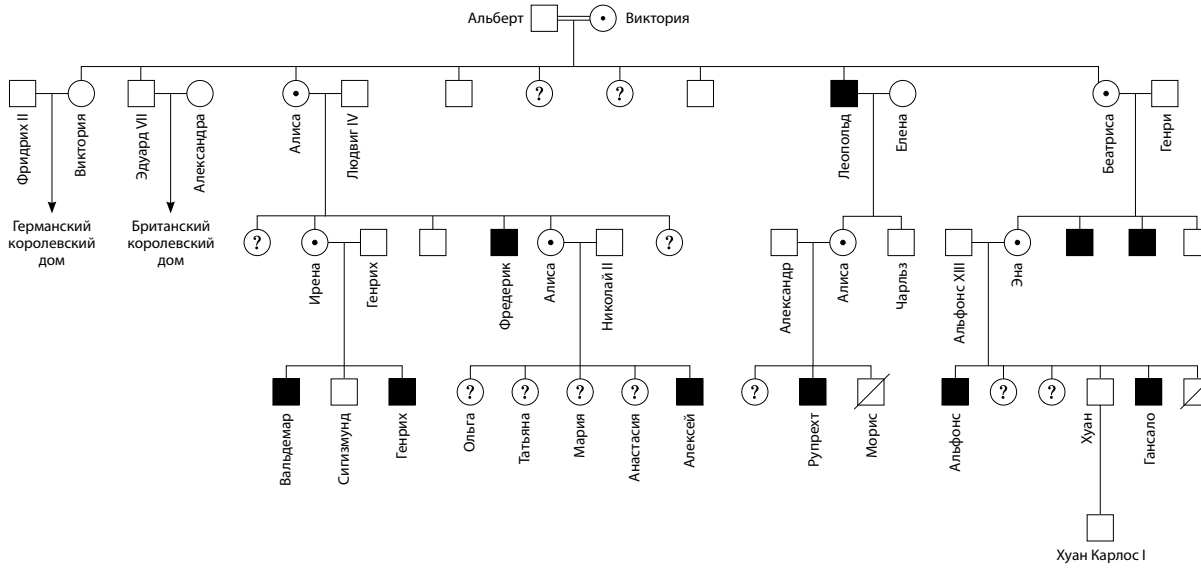


Рис. 3.11. Наследование гемофилии у потомков королевы Виктории

Решение генетических задач. Составление схем скрещивания

Все разнообразие генетических задач можно свести к трем типам:

1. Расчетные задачи.
2. Задачи на определение генотипа.
3. Задачи на установление типа наследования признака.

Особенностью **расчетных задач** является наличие информации о наследовании признака и фенотипах родителей, по которым легко установить и генотипы родителей. В них требуется установить генотипы и фенотипы потомства.

Задача 1. Какую окраску будут иметь семена сорго, полученного в результате скрещивания чистых линий этого растения с темной и светлой окраской семян, если известно, что темная окраска доминирует над светлой? Какую окраску будут иметь семена растений, полученных от самоопыления этих гибридов?

Решение.

1. Обозначаем гены:

   A — темная окраска семян, a — светлая окраска семян.

2. Составляем схему скрещивания:

   а) сначала записываем генотипы родителей, которые по условию задачи являются гомозиготными:

$$\mathbf{P} \quad \underset{\text{темные семена}}{\♀\, AA} \times \underset{\text{светлые семена}}{\♂\, aa}$$

   б) затем записываем гаметы в соответствии с правилом чистоты гамет:

$$\textbf{Гаметы} \quad A \quad a$$

   в) попарно сливаем гаметы и записываем генотипы потомков:

$$\mathbf{F_1} \quad Aa$$

   г) согласно закону доминирования все гибриды первого поколения будут иметь темную окраску, поэтому подписываем под генотипом фенотип.

$$\textbf{Фенотип} \quad \text{темные семена}$$

3. Записываем схему следующего скрещивания:

$$\mathbf{P_2} \quad \underset{\text{темные семена}}{\♀\, Aa} \times \underset{\text{темные семена}}{\♂\, Aa}$$

$$\textbf{Гаметы} \quad A \quad a \qquad A \quad a$$

$$\mathbf{F_2} \quad \underbrace{1AA : 2Aa}_{3} : 1aa$$

$$\textbf{Фенотип} \quad \underset{\text{темные семена}}{3} : \underset{\text{светлые семена}}{1}$$

Ответ: в первом поколении все растения будут иметь темную окраску семян, а во втором 3/4 растений будут иметь темные семена, а 1/4 — светлые.

Задача 2. У крыс черная окраска шерсти доминирует над бурой, а нормальная длина хвоста — над укороченным хвостом. Сколько потомков во втором поколении от скрещивания гомозиготных крыс с черной шерстью и нормальным хвостом с гомозиготными крысами с бурой шерстью и укороченным хвостом имели черную шерсть и укороченный хвост, если всего родилось 80 крысят?

Решение.

1. Записываем условие задачи:

   A — черная шерсть, a — бурая шерсть;

   B — нормальная длина хвоста, b — укороченный хвост.

   $\mathbf{F_2}$ A_bb ?

2. Записываем схему скрещивания:

$$\mathbf{P} \quad \underset{\substack{\text{черная шерсть}\\ \text{хвост нормальной длины}}}{\♀\, AABB} \times \underset{\substack{\text{бурая шерсть}\\ \text{укороченный хвост}}}{\♂\, aabb}$$

$$\textbf{Гаметы} \quad AB \qquad ab$$

$$\mathbf{F_1} \quad \underset{\text{черная шерсть, хвост нормальной длины}}{AaBb}$$

$$\mathbf{P_2} \quad \♀\, AaBb \times \♂\, AaBb$$

$$\textbf{Гаметы} \quad AB, Ab, aB, ab \qquad AB, Ab, aB, ab$$

$\mathbf{F_2}$

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

Примечание. Следует помнить, что буквенные обозначения генов записываются в алфавитном порядке, при этом в генотипах прописная буква всегда будет идти перед строчной: *A* — перед *a*, *B* — перед *b* и т. д.

Из решетки Пеннета следует, что доля крысят с черной шерстью и укороченным хвостом составляла 3/16.

3. Рассчитываем количество крысят с указанным фенотипом в потомстве второго поколения:

$$80 \times 3/16 = 15.$$

Ответ: 15 крысят имели черную шерсть и укороченный хвост.

В **задачах на определение генотипа** также приводится характер наследования признака и ставится задание определить генотипы потомства по генотипам родителей или наоборот.

Задача 3. В семье, где отец имел III (B) группу крови по системе AB0, а мать — II (A) группу, родился ребенок с I (0) группой крови. Определите генотипы родителей.

Решение.

1. Вспоминаем характер наследования групп крови:

Наследование групп крови по системе AB0

Фенотип	Генотип
I (0)	*ii*
II (A)	I^AI^A или I^Ai
III (B)	I^BI^B или I^Bi
IV (AB)	I^AI^B

2. Так как возможно по два варианта генотипов со II и III группами крови, схему скрещивания записываем следующим образом:

P	♀ $I^A_$	×	♂ $I^B_$
Гаметы	I^A $_$		I^B $_$
$\mathbf{F_1}$		*ii*	

3. Из приведенной схемы скрещивания видим, что ребенок получил от каждого из родителей рецессивные аллели *i*, следовательно, родители были гетерозиготными по генам группы крови.
4. Дополняем схему скрещивания и проводим проверку наших предположений:

P	♀ I^Ai	×	♂ I^Bi		
Гаметы	I^A i		I^B i		
$\mathbf{F_1}$	I^AI^B	I^Ai	I^Bi	*ii*	
Фенотип	IV (AB)	II (A)	III (B)	I (0)	

Таким образом, наши предположения подтвердились.

Ответ: родители гетерозиготны по генам групп крови: генотип матери — I^Ai, генотип отца — I^Bi.

Задача 4. Дальтонизм (цветовая слепота) наследуется как сцепленный с полом рецессивный признак. Какие дети могут родиться у мужчины и женщины, которые нормально различают цвета, хотя их родители были дальтониками, а матери и их родственники здоровы?

Решение.

1. Обозначаем гены:
   X^D — нормальное цветовое зрение;
   X^d — дальтонизм.
2. Устанавливаем генотипы мужчины и женщины, отцы которых были дальтониками.

P	♀ X^DX^D	×	♂ X^dY
Гаметы	X^D		X^d Y
F_1	X^DX^d	X^DY	
	нормальное цветовое зрение		

3. Записываем схему скрещивания для определения возможных генотипов детей:

P_2	♀ X^DX^d		×	♂ X^DY
	нормальное цветовое зрение			нормальное цветовое зрение
Гаметы	X^D X^d			X^D Y
F_2	X^DX^D	X^DX^d	X^DY	X^dY
	нормальное цветовое зрение			дальтонизм

Ответ: у всех девочек будет нормальное цветовое зрение (однако 1/2 девочек будет носительницами гена дальтонизма), 1/2 мальчиков будет здорова, а 1/2 будет больна дальтонизмом.

В **задачах на определение характера наследования признака** приводятся только фенотипы родителей и потомства. Вопросами таких задач является именно выяснение характера наследования признака.

Задача 5. От скрещивания кур с короткими ногами было получено 240 цыплят, 161 из которых были коротконогими, а остальные — длинноногими. Как наследуется этот признак?

Решение.

1. Определяем расщепление в потомстве:
   161 : 79 ≈ 2 : 1.
   Такое расщепление характерно для скрещиваний в случае летальных генов.
2. Так как кур с короткими ногами было вдвое больше, чем с длинными, допустим, что это доминантный признак, и именно этой аллели свойственен летальный эффект. Тогда исходные куры были гетерозиготными. Обозначаем гены:
   C — короткие ноги, c — длинные ноги.
3. Записываем схему скрещивания:

P	♀ Cc		×	♂ Cc		
	короткие ноги			короткие ноги		
Гаметы	C c			C c		
F_1	$1CC$	:	$2Cc$	:	$1cc$	
	летальный эффект		короткие ноги		длинные ноги	

Наши предположения подтвердились.

Ответ: коротконогость доминирует над длинноногостью, этой аллели свойствен летальный эффект.

3.6. Закономерности изменчивости. Ненаследственная (модификационная) изменчивость. Норма реакции. Наследственная изменчивость: мутационная, комбинативная. Виды мутаций и их причины. Значение изменчивости в жизни организмов и в эволюции

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 приобретает новые признаки в течение жизни и 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

Как уже упоминалось выше, даже организмы с идентичными генотипами могут иметь несхожие фенотипы, если они хотя бы некоторое время находились в различных условиях среды, например, содержались при неодинаковой температуре или по-разному питались.

Фенотипические изменения организма, не связанные с изменениями наследственного аппарата, называют **модификациями** (от лат. *модус* — мера, вид и *фацио* — делаю).

Модификации являются результатом взаимодействия генотипа и окружающей среды. Примерами модификационной изменчивости являются 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.

У дневной бабочки пестрокрыльницы изменчивой основной фон крыльев зависит от температуры, при которой развивались куколки: из перезимовавших выходят бабочки с кирпично-красной окраской крыльев, а из тех, которые развивались в условиях высоких летних температур, — с черной.

У кроликов на развитие горностаевой окраски влияет температура. Если у такого кролика выбрить участок тела и приложить к нему лед, то на нем вырастет черная шерсть, тогда как при повышенной температуре он вновь покроется белой шерстью.

Человек, как и другие организмы, подвержен действию окружающей среды, и, находясь на солнце, он приобретает более смуглый оттенок кожи — загар, который без доступа ультрафиолетовых лучей в осенне-зимний период ослабевает и не передается в ряду поколений.

Модификации имеют приспособительное значение, поскольку у стрелолиста лентовидный лист менее подвержен риску повреждения течением, а загар защищает организм человека от губитель-

ного 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.

Изучение модификаций необходимо для понимания механизмов реализации генетических программ организма, поскольку на эти процессы оказывают существенное влияние не только генотипическая, но и окружающая среда.

Норма реакции

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 может быть широкой и узкой. Чем шире норма реакции, тем больше влияние среды и тем меньше влияние генотипа в онтогенезе. Таким образом, каждый ген определяет не столько конкретное состояние признака, сколько пределы, в которых он может колебаться в зависимости от силы и продолжительности действия факторов среды. Как правило, количественные признаки (удойность коров, урожайность пшеницы) имеют более широкую норму реакции, чем качественные признаки (цвет глаз, форма ушной раковины).

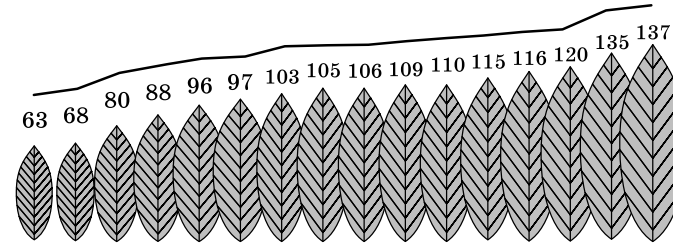


Рис. 3.12. Вариационный ряд листьев лавровишни

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* (от лат. *вариатио* — изменение) — последовательность количественных показателей состояния признака, расположенных в порядке их возрастания или убывания (рис. 3.12). 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 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. 3.13).

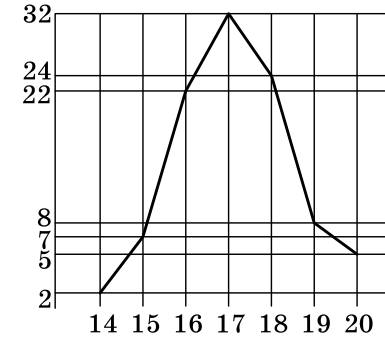


Рис. 3.13. Вариационная кривая количества колосков в колосе пшеницы

Наследственная изменчивость: мутационная, комбинативная

Наследственная изменчивость закрепляется в генотипе и передается потомкам. Она является основой разнообразия живых организмов и эволюции в целом. Ч. Дарвин называл ее неопределенной, индивидуальной изменчивостью, указывая на ненаправленный, случайный характер и относительную редкость возникновения. К наследственной изменчивости относят прежде всего комбинативную и мутационную изменчивости.

Рис. 3.14. Комбинативная изменчивость

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 (рис. 3.14).

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.

Для закрепления ценных признаков и их удачных комбинаций в селекции широко используют близкородственные скрещивания. Например, таким образом были выведены многие породы собак, в том числе спаниели, доги и др.

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

Мутация (от лат. *мутатио* — изменение) — это внезапно возникающее естественное или искусственно вызванное изменение генетического материала, приводящее к изменению тех или иных наследственных признаков организма.

Способность к мутированию является универсальным свойством всех живых организмов. Основы мутационной теории были заложены голландским ученым Х. де Фризом (1845–1935).

Виды мутаций и их причины

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 (рис. 3.15) 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*. Данный эффект достигается в результате удвоения числа хромосом без последующего деления клетки, образования диплоидных гамет либо слияния соматических клеток или их ядер. 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.

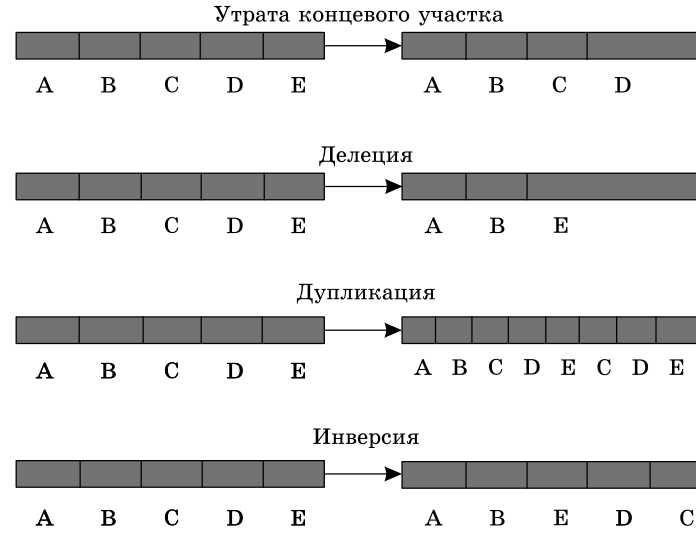


Рис. 3.15. Хромосомные мутации

Мутации возникают спонтанно (под действием внутренних факторов) или под действием различных 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.

Следует отметить, что клетки и организмы в целом не являются полностью беззащитными перед мутациями: большинство аминокислот кодируется несколькими триплетами, следовательно, точечные мутации могут и не привести к изменению аминокислотной последовательности белка и фенотипа в целом; репараторные системы клетки постоянно «отслеживают» появление мутаций и восстанавливают исходные последовательности нуклеотидов ДНК.

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 сро-

ках 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, т. е. также легко создаются, как и разрушаются. Это явление объясняет появление у выдающихся родителей посредственных потомков.

Модификационная изменчивость, с одной стороны, 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.

3.7. Значение генетики для медицины. Наследственные болезни человека, их причины, профилактика. Вредное влияние мутагенов, алкоголя, наркотиков, никотина на генетический аппарат клетки. Защита среды от загрязнения мутагенами. Выявление источников мутагенов в окружающей среде (косвенно) и оценка возможных последствий их влияния на собственный организм

Значение генетики для медицины

Изучение закономерностей наследственности и изменчивости на растительных и животных объектах со временем привело к пониманию того, что наряду с инфекционными заболеваниями человека существует и значительное число (более 4000) наследственных болезней, развитие многих из которых обусловлено взаимодействием генетических программ и условий окружающей среды. Наследственные болезни затрагивают многие стороны обмена веществ, приводят к нарушениям структуры тканей и органов, а также психическим отклонениям.

Если ранее едва ли не единственными средствами профилактики наследственных заболеваний были запрет рожать детей женщинам, уже имеющим детей с отклонениями в развитии, а также принудительная стерилизация, то в настоящее время арсенал медицинских генетиков значительно расширился. Так, определение носительства родителями генов наследственных болезней и ранняя диагностика этих заболеваний еще до рождения ребенка позволяет избежать тяжелых последствий путем планирования семьи. Значительную помощь в этом отношении оказывает *медико-генетическое консультирование*.

Кроме того, профилактика многих заболеваний, в основе которой лежит исключение тех или иных веществ и продуктов из рациона питания, также позволяет предотвратить аномальное развитие и даже гибель больного.

Открытия в области молекулярной генетики позволили в последнее время совершить прорыв и в направлении исправления и замены патологических генов. Эта отрасль медицинской генетики называется *генотерапией*. Так, уже родился первый ребенок, у которого прямо в зиготе удалили ген наследственной формы рака.

Наследственные болезни человека, их причины, профилактика

Наследственные болезни составляют большую группу заболеваний, связанных с изменением генетической информации. По характеру их возникновения выделяют генные и хромосомные болезни, болезни несовместимости матери и плода, а также болезни с наследственной предрасположенностью.

Генные болезни обусловлены генными мутациями, возникшими как сотни лет назад и передающимися из поколения в поколение, так и недавно, в гаметах одного из родителей. Характерным примером такого рода заболеваний является «королевская» гемофилия, поразившая за столетие все монархии Европы. Несмотря на то что в роду королевы Виктории не зафиксировано ни одного случая этой болезни, один из ее сыновей был болен, а две дочери стали носительницами гена. К генным заболеваниям относятся болезни обмена веществ (фенилкетонурия, глицинемия) и не связанные с ним аномалии (серповидноклеточная анемия, арахнодактилия). Вероятность проявления у детей генных заболеваний сильно повышается при близкородственных браках.

Хромосомные болезни обусловлены изменением структуры хромосом или их числа (хромосомные и геномные мутации), например синдромы Дауна, Шерешевского – Тернера и Клайнфельтера.

Синдром Дауна вызван наличием трех хромосом в 21-й паре. Он сопровождается не только задержкой в развитии ребенка, но и патологиями многих внутренних органов.

Синдром Шерешевского – Тернера (45, X0), обусловленный недостатком одной половой хромосомы, негативно влияет на фенотип женщины с такой болезнью, которая, помимо низкого роста, может иметь патологии половой сферы и других органов.

Синдром Клайнфельтера связан с наличием лишней Х-хромосомы в кариотипе (47, XXY). По фенотипу это высокий мужчина с телосложением по женскому типу, патологиями развития половых органов и их функционирования.

Рождение детей с вышеперечисленными хромосомными аномалиями может быть обусловлено вредными привычками, неблагоприятным состоянием окружающей среды и возрастом родителей.

Болезни несовместимости матери и плода являются следствием иммунологического конфликта, как, например, в случае резус-конфликта, который возникает, когда резус-отрицательная женщина вступает в брак с резус-положительным мужчиной, и у плода при этом резус будет положительным. Резус-конфликт может быть причиной гибели плода или рождения ребенка с серьезными патологиями нервной и других систем организма.

Болезни с наследственной предрасположенностью могут проявляться не сразу после рождения, а только через некоторое время, поскольку для активации соответствующих генов нужен целый комплекс факторов, в том числе характер питания и образ жизни человека. К таким заболеваниям относятся сахарный диабет и подагра.

Защита окружающей среды от загрязнения и ужесточение контроля за исполнением соответствующих решений, проверка поступающих на рынок продуктов питания, лекарственных препаратов и товаров бытового назначения на мутагенное и канцерогенное действие — необходимые меры по снижению частоты наследственных заболеваний у человека.

Не менее значимым для профилактики этой группы болезней является отсутствие у родителей вредных привычек, а также медико-генетическое консультирование супругов, в ходе которого можно не только определить вероятность рождения ребенка с отклонениями, но и скорректировать ход развития уже родившегося малыша.

Вредное влияние мутагенов, алкоголя, наркотиков, никотина на генетический аппарат клетки

Как физические, так и химические мутагены негативно влияют не только на саму материальную основу наследственности — ДНК, вызывая ее разрывы, перестройки и замещение одних нуклеотидов другими, но и подавляют активность ферментов репарации ДНК. Некоторые из этих веществ способны разрушать микротрубочки веретена деления и приводить к неправильному расхождению хромосом при митозе и мейозе. Вызванные таким образом мутации могут приводить к развитию у живущих особей раковых заболеваний, а у их потомков — наследственных заболеваний, таких как синдром Дауна.

Особую опасность для окружающих представляет курение, поскольку большая часть вредных веществ оседает не в легких курильщика, а в легких других людей, которых называют «пассивными курильщиками». Среди этих веществ содержатся многие канцерогенные (вызывающие рак) соединения, а также ионы тяжелых металлов.

Защита среды от загрязнения мутагенами

На современном этапе развития общества практически немыслим отказ от химической промышленности, интенсивных технологий в сельском хозяйстве, атомной энергетики и других источников мутагенов, однако степень загрязнения среды достигла такого критического уровня, что даже льды Антарктиды подвержены результатам хозяйственной деятельности человека. Это при-

водит не только к усилению процесса мутагенеза, но и к ухудшению состояния здоровья. Поэтому становятся все более актуальными вопросы очистки окружающей среды от загрязнения мутагенами. Для этого на государственном уровне устанавливаются предельные нормативы загрязнения вредными выбросами и отходами производства атмосферы, воды и почвы, а также значительные штрафные санкции за нарушение данных норм. В ряде стран мира вводятся даже ограничения на въезд в центр городов автомобилей и на курение в общественных местах, запрещается реклама продукции табачной и ликеро-водочной промышленности, проводятся интенсивные агитационные кампании по борьбе с курением и употреблением наркотиков.

Кроме того, вся продукция, поступающая на рынок, проверяется на соответствие установленным нормам содержания вредных веществ и изымается из продажи в случае нарушения данных норм. Постоянно контролируется и уровень загрязнения воды, атмосферы и почвы в крупных городах, а в случаях аварий проводится быстрая очистка окружающей среды от загрязнения с целью недопущения ухудшения условий жизни населения и нарушения экологического баланса. Например, после крушения в результате шторма десятка судов в Керченском проливе были собраны и откачаны более 1500 тонн мазута, которые уже вызвали гибель многих тысяч водоплавающих птиц и рыбы, но тем самым был предотвращен еще более существенный ущерб окружающей среде.

Выявление источников мутагенов в окружающей среде (косвенно) и оценка возможных последствий их влияния на организм человека

При всем разнообразии мутагенов существует только три основных пути их проникновения в тело человека: через дыхательные пути с воздухом, через пищеварительную систему с водой и пищей, а также через кожу. В связи с этим можно провести поиск источников мутагенов по тем средам, которые они загрязняют: воздух, вода и почва.

Загрязнение атмосферы осуществляется в основном автотранспортом и промышленными предприятиями. Его можно обнаружить по угнетению растительности вдоль автодорог, по быстро образующемуся слою пыли на окружающих предметах, по неприятному запаху. Определенную трудность в идентификации представляют некоторые источники ионизирующего и других видов излучения, например электромагнитного (станции мобильной связи, мобильные телефоны, мониторы телевизоров и компьютеров и т. д.), однако, например, в районе высоковольтных линий зачастую наблюдается либо угнетение, либо усиленный рост растений. Существенную угрозу жизни и здоровью окружающих представляют и курильщики, поэтому места, где они собираются, могут быть источниками химических мутагенов.

Выбросы загрязняющих веществ в водную среду могут приводить к изменению цвета воды, ее прозрачности, запаха и вкуса. Кроме того, в воде может наблюдаться усиленный рост водорослей («цветение» воды) с последующим замором рыбы и появлением гнилостного запаха.

Загрязнение почвы приводит чаще всего к тому, что нарушаются нормальные процессы роста и развития растений, появляются разнообразные уродства, меняется также видовой состав флоры. Например, всхожесть черной редьки на загрязненных территориях гораздо ниже, чем на незагрязненных. Отличается на таких территориях и видовой состав животного мира. Так, индикаторным видом является дождевой червь — он исчезает при увеличении степени загрязнения.

В зависимости от выявленных источников загрязнения определяют характер загрязнения и его степень, что может служить основанием для прогноза развития различных заболеваний (респираторных, аллергических, раковых и др.), а также мутагенного эффекта.

3.8. Селекция, ее задачи и практическое значение. Вклад Н. И. Вавилова в развитие селекции: учение о центрах многообразия и происхождения культурных растений; закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Методы селекции и их генетические основы. Методы выведения новых сортов растений, пород животных, штаммов микроорганизмов. Значение генетики для селекции. Биологические основы выращивания культурных растений и домашних животных

Селекция, ее задачи и практическое значение

Селекция (от лат. *селектио* — отбор) — это наука о методах создания пород домашних животных, сортов культурных растений и штаммов микроорганизмов с нужными человеку свойствами.

Под селекцией понимают также и сам процесс изменения живых организмов, осуществляемый человеком для своих потребностей. Современные селекционеры придерживаются точки зрения Н. И. Вавилова, согласно которой теоретической основой данной науки являются генетика и эволюционное учение.

Порода (сорт, штамм, чистая линия) — это популяция организмов, искусственно созданная человеком и характеризующаяся специфическим генофондом, наследственно закрепленными морфологическими и физиологическими признаками, определенным уровнем и характером продуктивности.

Задачей современной селекции является повышение продуктивности сортов растений и пород животных. Однако ныне важнейшими факторами интенсификации растениеводства и животноводства становится их перевод на промышленную основу, например сортов овощей и фруктов, пригодных для машинной уборки, пород животных, предназначенных для содержания в животноводческих хозяйствах.

Достижения селекции растений, связанные с выведением высокопродуктивных сортов пшеницы, позволили осуществить так называемую зеленую революцию в середине XX века в Мексике, когда традиционные сорта были заменены новыми. Это позволило не только спасти от разорения мелкие фермерские хозяйства, но и решить продовольственную проблему в данном регионе. В целом с селекцией связывают надежды на преодоление дефицита продовольствия в мире, несмотря на глобальный экологический кризис, поразивший даже такие традиционно «хлебные» страны, как Испания и Аргентина.

Вклад Н. И. Вавилова в развитие селекции: учение о центрах многообразия и происхождения культурных растений; закон гомологических рядов в наследственной изменчивости

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. Всего человек окультурил около 150 видов растений и около 20 видов животных.

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. 3.3).

Таблица 3.3

Центры происхождения культурных растений

Название центра	Географическое положение	Примеры культурных растений
Южноазиатский тропический	Тропическая Индия, Индокитай, Южный Китай, о-ва Юго-Восточной Азии	Рис, сахарный тростник, цитрусовые, огурец, баклажан, черный перец и др. (50 % культурных растений)
Восточноазиатский	Центральный и Восточный Китай, Япония, Корея, Тайвань	Соя, просо, гречиха, плодовые и овощные культуры: слива, вишня, редька и др. (20 % культурных растений)
Юго-Западноазиатский	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

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

Н. И. Вавилов собрал также хранящуюся и поныне во Всероссийском институте растениеводства (г. Санкт-Петербург) мировую коллекцию культурных растений, которая и сейчас используется для выведения новых сортов и 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.*

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.

Данный закон позволил предположить наличие некоторых форм злаков, которые впоследствии были описаны, и, как позже было установлено, он является универсальным для всех живых организмов.

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.

Методы селекции и их генетические основы

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.

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

Гетерозис (от греч. *гетерозис* — изменение, перевоплощение) — 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. У растений его эффект можно закрепить вегетативным или партеногенетическим размножением, удвоением числа хромосом и т. д. Эффект гетерозиса широко применяется в сельском хозяйстве, так как он позволяет существенно повысить урожайность растений (кукурузы, огурцов, томатов) и продуктивность животных (яйценоскость гибридов леггорнов и австралорнов, скорость роста и улучшение качества мяса бройлеров).

Несмотря на то что с помощью отдаленной гибридизации уже созданы и успешно внедрены в сельскохозяйственное производство высокопродуктивные гибриды растений (пшенично-пырейный, пшеницы и ржи — тритикале, малины и ежевики), у животных (лошади и осла — мул, белуги и стерляди — бестер), основной проблемой данного метода является преодоление бесплодия гибридов. Бесплодие возникает в результате различий размеров, форм и количества хромосом в кариотипе родительских форм, вследствие чего хромосомы утрачивают способность конъюгировать в процессе мейоза. Преодолеть его можно за счет удвоения числа хромосом в кариотипе, и тогда хромосомы каждого из родителей будут конъюгировать с гомологичными им. Первым данный метод апробировал российский селекционер Г. Д. Карпеченко в процессе создания редечно-капустного гибрида с 36 хромосомами, тогда как у каждой из родительских форм их было по 18.

У животных решить проблему данным путем не представляется возможным вследствие увеличения дозы летальных аллелей, поэтому у них только в некоторых случаях один или оба пола плодовиты, как, например, самки гибридов яка с крупным рогатым скотом.

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. Основные положения своей теории он изложил в труде «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» и развил в дальнейшем в книге «Изменения домашних животных и культурных растений под влиянием одомашнивания».

Методы выведения новых сортов растений, пород животных, штаммов микроорганизмов

В связи с тем, что генетически запрограммированные резервы продуктивности культурных растений и животных уже практически исчерпаны, создание новых сортов и пород этих организмов требует кардинального изменения подхода к процессу селекции. В первую очередь перед началом селекционного процесса создается модель сорта или породы, которая учитывает современные требования к нему, после чего производится подбор методов, при помощи которых может быть достигнут искомый результат. Помимо описанных выше гибридизации и искусственного отбора, на современном этапе развития селекции широко используются также *искусственный мутагенез, методы биотехнологии, клеточной и генной инженерии, клонирование*.

Искусственным, или **экспериментальным мутагенезом** называют получение мутаций с помощью физических или химических агентов, например рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Он позволяет получить как новые полезные генные мутации, так и геномные, в том числе добиться полиплоидизации. Однако далеко не все мутации происходят в ядерном геноме и способны передаваться в ряду поколений, поскольку в клетках животных имеются еще геномы митохондрий, а в клетках растений — митохондрий и пластид. Кроме того, мутации могут затронуть только соматические клетки, но не произойти в половых. В связи с этим многие мутантные формы растений размножаются только вегетативно.

В селекции растений широко применяются различные формы гибридизации и искусственного отбора. Однако гибриды довольно часто являются бесплодными, и поэтому их либо каждый раз выводят заново, либо размножают вегетативно. Для преодоления бесплодия гибридов у растений используется искусственный мутагенез, который позволяет получать полиплоидные сорта, отличающиеся более высокой урожайностью. С его помощью был получен ряд сортов сахарной свеклы, гречихи, редечно-капустный гибрид Г. Д. Карпеченко, а также новые высокоурожайные сорта ячменя и пшеницы, сорта растений с декоративными листьями.

В плодоводстве и декоративном цветоводстве невозможно в настоящее время обойтись без методов, разработанных и усовершенствованных одним из самых выдающихся российских селекционеров — И. В. Мичуриным, в особенности методов ментора, вегетативного сближения, посредника, смеси пыльцы и др. Например, метод ментора благодаря сочетанию свойств привоя и подвоя позволил ему вывести сорт груши бере зимняя.

Селекция животных использует те же методы, что и селекция растений, однако она учитывает биологические особенности этих организмов. Так, здесь на определенных стадиях селекционного процесса прибегают к инбридингу, однако весьма в ограниченных масштабах, поскольку это может привести к снижению жизнеспособности особей вследствие перевода летальных аллелей в гомозиготное состояние. Более широко распространенный в животноводстве аутбридинг может давать эффект гетерозиса, как в случае бройлеров — гибридов пород кур корниш и белого плимутрока, но при межвидовой гибридизации гибриды в основном бесплодны и их вегетативное размножение невозможно.

Еще одной трудностью селекционной работы в данной области является то, что у особей одного из полов могут не проявляться хозяйственно ценные признаки, например у петухов — яйценоскость, а у быков — молочность и жирность. В связи с этим от производителей получают «пробных» потомков, и только в том случае, если для последних характерны более высокие показатели исследуемого признака, производителей целесообразно использовать в дальнейшей работе. Для получения от них максимально возможного числа потомков применяют технологии искусственного осеменения, которые предусматривают получение и хранение половых клеток в течение длительного времени, а также искусственного оплодотворения «в пробирке» и пересадки в матку менее ценной в хозяйственном отношении самки — суррогатной матери.

Микроорганизмы в последнее время широко применяются в различных отраслях хозяйственной деятельности. Так, дрожжи используют в хлебопечении, виноделии, пивоварении и т. д. Другие грибы синтезируют в промышленных условиях антибиотики, лимонную кислоту и кормовые белки из отходов растениеводства и даже нефти. С помощью бактерий человек получает витамины, аминокислоты, инсулин, а также извлекает металлы из руд и промышленных отходов. Широко используются микроорганизмы в сельском и лесном хозяйстве для борьбы с вредителями.

Особенности организации и жизнедеятельности микроорганизмов не позволяют применять у них метод гибридизации, тогда как искусственный мутагенез с последующим отбором наиболее продуктивных штаммов дает прекрасные результаты. В некоторых случаях проводят искусственное скрещивание штаммов с помощью бактериофагов, способных переносить наследственную информацию из одной клетки бактерий в другую. Это позволило получить, например, высокопродуктивные штаммы грибов — продуцентов антибиотиков и витаминов.

Значение генетики для селекции

Хотя селекция и возникла как наука для удовлетворения практических потребностей человека, издавна применявшего гибридизацию особей с лучшими сочетаниями признаков для получения новых сортов растений и пород животных (именно на основе сравнения гибридов с родительскими формами начали формироваться основные представления о закономерностях наследования признаков), в настоящее время генетика является теоретической основой селекции. Опираясь на частную генетику различных объектов, селекционеры подбирают исходный материал для создания новых сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. При этом не только используются уже имеющиеся наследственные признаки, но и создаются новые благодаря применению метода искусственного мутагенеза, а также вносятся новые гены с помощью методов биотехнологии, не утрачивает своего значения и явление гетерозиса.

Окраска и структура меха пушных животных наследуются как качественные признаки, в связи с чем селекционеры используют их для выведения новых пород норки, лисицы, кролика и др. Продуктивность растений и крупного рогатого скота, напротив, являются количественными признаками, что также не может не учитываться в процессе выведения новых сортов и пород.

Значительную роль методы искусственного мутагенеза, клеточной и генной инженерии сыграли в выведении новых штаммов микроорганизмов, продуцирующих антибиотики, гормон роста человека, инсулин и др., а также в создании новых сортов растений и животных с измененными свойствами — генетически модифицированных организмов.

Биологические основы выращивания культурных растений и домашних животных

Для достижения генетически запрограммированной продуктивности сельскохозяйственные растения нуждаются в создании оптимальных условий. В первую очередь им, безусловно, необходима соответствующая интенсивность освещения, которая обеспечивает протекание процессов

фотосинтеза, однако если пшеница требует высокой интенсивности света, то кофейные деревья необходимо выращивать в тени. Не менее существенным фактором является и достаточное количество влаги в почве, что можно обеспечить в основном благодаря созданию оросительных систем, хотя в настоящее время все чаще прибегают к капельному поливу. Еще одним важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур является обеспечение их элементами минерального питания. Эту проблему частично можно решить путем внесения в почву удобрений, что, однако, сопряжено с риском чрезмерного их накопления и смыва в близлежащие водоемы. Поэтому стараются применять многопольные севообороты, в которые включают бобовые, образующие симбиоз с клубеньковыми бактериями, переводящими атмосферный азот в доступную для растений форму.

С момента зарождения земледелия культурные растения страдают от вредителей и возбудителей различных заболеваний, которые снижают их урожайность, а в некоторых случаях и полностью уничтожают посевы. Причиной таких стихийных бедствий является их пониженная устойчивость к факторам среды и занятие больших площадей одним видом растений. Для борьбы с вредителями растений долгое время использовали химические вещества — пестициды, однако со временем выяснилось, что появились новые расы, устойчивые к этим веществам, а сами пестициды обладают токсическим и мутагенным действием. Поэтому в настоящее время во многих странах использование пестицидов существенно ограничено или вовсе запрещено. В связи с этим на передний план выходят биологические методы борьбы с вредителями, которые связаны либо с массовым размножением хищника или паразита данного вредителя, либо с нарушением размножения вредителя путем отлова самцов, а также с искусственной стерилизацией самцов, которые не дают потомков в результате скрещивания с нормальными самками.

Сельскохозяйственные животные, выращиваемые по интенсивным технологиям, также нуждаются в особых условиях. В первую очередь им требуются сбалансированные корма, в которые ранее добавляли белок, полученный в результате бактериального синтеза, однако затем от него отказались, поскольку он мог вызывать аллергии не только у животных, но и у работников предприятий и жителей близлежащих населенных пунктов. Поэтому в настоящее время корма составляются большей частью на растительной основе.

Перспективы развития растениеводства и животноводства и, в конечном итоге, решение проблемы кризиса продовольствия связаны в основном с прогрессом биотехнологии, клеточной и генной инженерии.

3.9. Биотехнология, ее направления. Клеточная и генная инженерия, клонирование. Роль клеточной теории в становлении и развитии биотехнологии. Значение биотехнологии для развития селекции, сельского хозяйства, микробиологической промышленности, сохранения генофонда планеты. Этические аспекты развития некоторых исследований в биотехнологии (клонирование человека, направленные изменения генома)

Биотехнология, ее направления

Биотехнология — это применение биологических процессов и использование живых организмов в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и других отраслях человеческой деятельности.

Несмотря на то что биологические процессы издавна используются человеком в хлебопечении, сыроварении, виноделии, пивоварении, научный этап развития биотехнологии начался с 70-х годов XIX века с открытием Л. Пастером процесса брожения, а столетием позже биотехнология превратилась в бурно развивающуюся отрасль. В настоящее время прогресс в области биотехнологии тесно связан с применением методов генной и клеточной инженерии, а также клонированием.

В качестве основных направлений биотехнологии рассматриваются получение продуктов питания, кормовых добавок и ценных кормовых белков, лекарственных препаратов и средств диагностики, биотоплива, борьба с загрязнением окружающей среды, защита растений от вредителей и болезней, а также создание штаммов микроорганизмов, сортов растений и пород животных с новыми полезными свойствами.

В настоящее время в хлебопекарной и кондитерской промышленностях, пивоварении и виноделии применяются различные штаммы дрожжей. Благодаря способности осуществлять спиртовое брожение для них нашлось место и в технологиях выработки биотоплива, например биодизеля из растительного сырья, особенно рапса. Другие микроскопические грибы широко используют для получения кефира, сыров, антибиотиков, лимонной кислоты, кормовых белков и т. д.

Без бактерий невозможно получить никакие кисломолочные продукты, в том числе кефир, йогурт и сыры. Брожение, осуществляемое молочнокислыми бактериями, используется и в процессах приготовления квашеных овощей, а также силоса, поскольку накапливающиеся при этом продукты реакции угнетают развитие других микроорганизмов. Не меньшую роль бактерии играют и в фармацевтической промышленности, где они культивируются с целью получения витаминов, гормонов и ферментов. Первой микробиологический синтез гормона инсулина с помощью методов генной инженерии «освоила» кишечная палочка *Escherichia coli*.

Очистка окружающей среды ведется в основном в двух направлениях: разложение органических остатков и накопление отдельных химических элементов, органических и неорганических веществ некоторыми видами бактерий, водорослей и простейших. С помощью методов селекции и генной инженерии уже выведены штаммы бактерий, способные разлагать соединения, утилизировать которые встречающиеся в природе виды неспособны, например пластмассы и полиэтилен. В процессе расщепления органических остатков бактерии могут выделять и горючие газы, в том числе метан, что легло в основу технологий получения биогаза из отходов растениеводства и животноводства.

В связи с тем что бактерии, грибы и вирусы способны эффективно бороться с вредителями сельского и лесного хозяйства, а также с возбудителями и переносчиками заболеваний, их штаммы используют для приготовления биопрепаратов. Преимущество этих биологических методов борьбы состоит в том, что они не только снижают численность паразитов, будучи безвредными для других организмов, но и не загрязняют при этом окружающую среду токсичными соединениями.

Клеточная и генная инженерия, клонирование

Клеточная инженерия — метод конструирования клеток нового типа на основе их культивирования на питательной среде, гибридизации и реконструкции. При этом в клетки вводят новые хромосомы, ядра и другие клеточные структуры.

Достижения клеточной инженерии растений, которая позволяет сформировать целое растение, в том числе с измененными свойствами, из отдельной клетки, нашли широкое применение в растениеводстве и селекции. Так, стали возможными соматическая гибридизация, клеточная селекция, гаплоидизация, преодоление нескрещиваемости в культуре и другие приемы.

Технологии искусственного оплодотворения, за разработку которых присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины в 2010 году, также базируются на методах клеточной инженерии.

Генная инженерия — это отрасль молекулярной биологии и генетики, задачей которой является конструирование генетических структур по заранее намеченному плану, создание организмов с новой генетической программой. Во многих случаях это сводится к переносу необходимых генов от одного вида живых организмов к другому, зачастую очень далекому по происхождению.

Переносу генов предшествует кропотливая работа по выявлению нужного гена в геноме организма-донора (вируса, бактерии, растения, животного, гриба) и его выделению. Это наиболее трудная часть работы, поскольку вместе со структурным геном необходимо перенести и регуляторные. Затем необходимо встроить данный участок молекулы ДНК в генетический вектор (переносчик ДНК). В качестве векторов чаще всего используют вирусы, плазмиды бактерий, хромосомы митохондрий и пластид, а также искусственно сконструированные молекулы ДНК. Процесс введения вектора новой ДНК в клетку-хозяина называется *трансформацией*. Последний этап работы заключается в размножении организмов-хозяев и отборе тех из них, в которых «прижился» введенный ген. В настоящее время применяют и прямое введение ДНК в клетки эукариот с помощью электрических разрядов, генной пушки и другими способами. Полученные в результате переноса генов организмы называются *генетически модифицированными*, или *трансгенными*.

Клонирование — это получение многочисленных копий гена, белка, клетки или организма. Клонирование генов чаще всего осуществляется с помощью бактерий и вирусов, поскольку, например, одна вирусная частица бактериофага, в которой содержится нужный ген, за один день может образовать более 10^{12} идентичных копий себя и этой молекулы.

Клонирование растений также не представляет значительной трудности, поскольку клетки растений тотипотентны, т. е. из одной клетки можно восстановить целый организм, особенно если культивировать эти клетки на питательной среде со всеми необходимыми веществами.

Массовое размножение генетически идентичных животных долгое время сталкивалось с таким существенным препятствием, как отсутствие способности к бесполому размножению у высших животных. Однако в 1997 году эта проблема была разрешена с получением первого клонированного организма — овцы Долли. Для клонирования были взяты клетки молочной железы ее генетической матери, а также яйцеклетки суррогатной матери. Ядра яйцеклеток удалялись, а на их место вводились ядра клеток молочной железы. После стимуляции развития зиготы электрическим током делящийся зародыш короткий промежуток времени культивировали на питательной среде, а затем вводили в матку суррогатной матери. К сожалению, из пяти пересаженных эмбрионов выжил лишь один.

В настоящее время клонирован уже целый ряд видов животных — мыши, собаки, коровы и др., однако клонирование человека запрещено законодательством многих государств и международными договорами.

Заманчивые перспективы перед человечеством раскрываются в области терапевтического клонирования — воспроизведения отдельных органов. Так, в настоящее время широко используются клонированная кожа, клетки соединительной ткани и другие части организма.

Роль клеточной теории в становлении и развитии биотехнологии

Создание клеточной теории позволило связать наследственность и изменчивость с их материальной основой — ДНК, а также определить, что клетка является единицей строения, жизнедеятельности и развития живых организмов. Поэтому дальнейшее внимание исследователей в области биотехнологии было сосредоточено именно на клетке как основном объекте. Уже в середине XX века были получены первые растения, выращенные из отдельных клеток на питательной среде, а в 1973 году родился первый «ребенок из пробирки». Операции с клетками (генная и клеточная инженерии) позволили клонировать сначала холоднокровных животных, а затем и млекопитающих.

Значение биотехнологии для развития селекции, сельского хозяйства, микробиологической промышленности, сохранения генофонда планеты

Прогресс биотехнологии позволил совершить прорыв в таких отраслях человеческой деятельности, как селекция, сельское хозяйство, медицина, фармация и др., поскольку появились возможности не только для изменения свойств организмов, но и для ускорения процесса их создания. Так, введение в растения бактериальных генов устойчивости к поеданию насекомыми и поражению вирусами, а также способных расти на бедных или загрязненных почвах способствует решению продовольственной проблемы, особенно в странах с быстро растущим населением. В настоящее время значительная часть посевных площадей занята трансгенными культурами в США, Канаде и Китае.

Кроме того, культивирование клеток растений на фоне высоких концентраций солей и других соединений позволяет сократить сроки выведения новых сортов пшеницы, сои и других важнейших сельскохозяйственных культур до одного-двух лет.

Клонирование животных, особенно с генетически измененными признаками и свойствами, позволяет вывести более продуктивные породы и добиться их быстрого размножения, однако этот процесс пока еще слишком трудоемок и дорог, чтобы применяться в промышленном масштабе.

Трансформация бактерий позволила уже в начале 80-х годов XX века получать биологически активные вещества — инсулин, соматотропный гормон, интерферон, которые применяются в медицине, а также создать новые штаммы микроорганизмов, предназначенных для очистки сточных вод, ликвидации нефтяных разливов и т. д. Путем селекции выведены также и формы бактерий, с помощью которых получают антибиотики, извлекают цветные металлы, получают биогаз.

В будущем возможно использование клонирования в сочетании с другими отраслями биотехнологии не только для размножения растений, микроорганизмов и грибов, но и для восстановления исчезнувших видов животных, возобновления природных популяций исчезающих видов. Однако для этого необходимо вначале создать генные банки, поскольку ДНК довольно быстро подвергается разрушению в окружающей среде.

Этические аспекты развития некоторых исследований в биотехнологии (клонирование человека, направленные изменения генома)

Расширение сферы влияния биотехнологии, с одной стороны, преследует благородные цели, поскольку с ее помощью стало возможным преодоление бесплодия, лечение многих наследственных и приобретенных заболеваний, а также решение продовольственных и экологических проблем современности. С другой стороны, активное вторжение современных технологий в медицину не может не настораживать, поскольку это сопряжено с операциями с клетками и тканями человека.

Например, не совсем ясно, почему по американским законам при искусственном оплодотворении берется две донорские яйцеклетки, но пересаживается только одна из них, тогда как вторая замораживается, помещается в специальный банк и не выдается родителям даже по специальному запросу.

Большинство стран законодательно ограничило эксперименты по клонированию человека в основном по этическим соображениям, поскольку они направлены не просто на воспроизведение человека, но и на последующее использование клеток, тканей и органов зародыша для экспериментов, а также в качестве их донора. В связи с этим во всем мире активно обсуждается вопрос о допустимости подобных действий.

Применение генных технологий в создании новых сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов также вызывает некоторые опасения, поскольку их попадание в окружающую среду может вызвать неконтролируемое распространение, например, раковых генов, и привести к необратимым последствиям для жизни и здоровья человека. Так, опыление пыльцой трансгенных растений генетически немодифицированных сортов и видов может стимулировать появление сверхустойчивых к химическим и биологическим средствам борьбы сорняков.

Особую опасность представляет внесение новых генов в сбалансированный геном, откуда они могут быть исключены в любой момент, что может привести к появлению каких-либо вирусоподобных организмов.

Потребление продуктов, полученных с использованием генетически модифицированных организмов, по некоторым данным, приводит к существенным нарушениям в репродуктивной сфере человека, а в перспективе может угрожать и самой жизни, поскольку мутировавший лишь по одному нуклеотиду ген устойчивости картофеля к поеданию колорадским жуком кодирует белок, смертельно опасный уже и для человека. И хотя это является маловероятным, поскольку ДНК потребляемых нами продуктов должна расщепляться в кишечнике, все же такая вероятность существует, и сбрасывать ее со счетов не приходится.

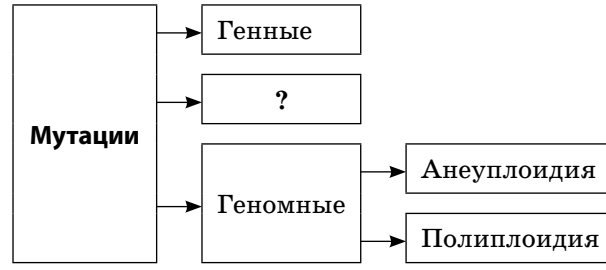
Сравнительно слабая изученность проблем клонирования и применения генных технологий заставляет многие правительства принимать решения по ограничению сферы их применения и специальной маркировке продуктов питания, полученных таким способом, с целью информирования.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 3 «ОРГАНИЗМ КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–21 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему классификации видов мутаций. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме знаком вопроса.



Ответ: _____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Гибридологический метод используют для определения
1) диапазона параметров модификационной изменчивости
2) типа наследования признаков
3) генотипа организма
4) кариотипа организма
5) нуклеотидных последовательностей генома человека

Ответ: ☐☐

3 Черная самка мыши при скрещивании с коричневым самцом в нескольких пометах дала 14 черных и 13 коричневых потомков. Черная окраска шерсти (*A*) у мышей доминирует над коричневой (*a*). Определите генотипы родителей. Ответ запишите в виде последовательности букв, используя знак скрещивания.

Ответ: _____

4 Все перечисленные ниже генотипы, кроме двух, можно использовать для обозначения гомозигот. Определите два генотипа, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) AA
2) $AaBb$
3) X^dX^d
4) $ccdd$
5) X^HY

Ответ: ☐☐

5 Установите соответствие между примерами взаимодействия генов и типами взаимодействия, которые они иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕНОВ
А) форма плода у тыквы	1) взаимодействие аллельных генов
Б) розовая окраска венчика у ночной красавицы	2) взаимодействие неаллельных генов
В) IV группа крови по системе АВ0 у человека	
Г) высота растения у гороха	
Д) молочность у коров	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

6 Определите соотношение фенотипов у потомков при дигибридном скрещивании двух гетерозиготных по двум признакам организмов. Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение фенотипов, в порядке их убывания.

Ответ: _____

7 Все приведенные ниже органы позвоночных животных, кроме двух, образуются из эктодермы. Определите два органа, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) спинной мозг
2) головной мозг
3) печень
4) глаз
5) поджелудочная железа

Ответ:

8 Установите соответствие между примерами наследственных болезней и типами мутаций, которые они иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

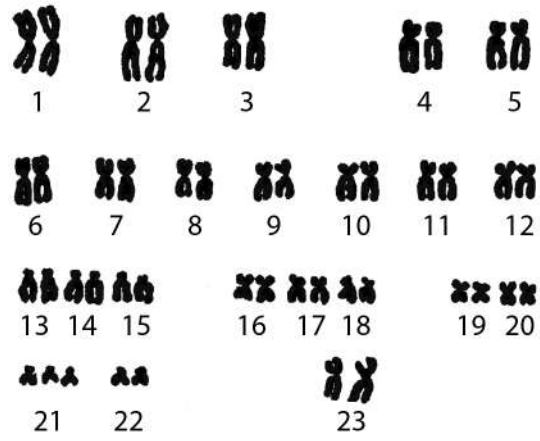
ПРИМЕРЫ	ТИПЫ МУТАЦИЙ
А) гемофилия	1) генная
Б) альбинизм	2) геномная
В) синдром Дауна	
Г) синдром Клайнфельтера	
Д) дальтонизм	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

9 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



Если для организма характерен кариотип, изображенный на рисунке, то для этого организма характерны

1) наличие матки
2) геномная мутация
3) преобладание мышечной ткани
4) формирование кадыка
5) низкий тембр голоса
6) умственная отсталость

Ответ: | | | |

10 Установите соответствие между примерами культурных растений и центрами их происхождения: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ РАСТЕНИЙ	ЦЕНТРЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ
А) рожь	1) Юго-Западноазиатский
Б) кукуруза	2) Центральноамериканский
В) лен	
Г) морковь	
Д) тыква	
Е) хлопчатник	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите последовательность стадий эмбрионального развития животных. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) нейруляция
2) дробление
3) оплодотворение
4) бластуляция
5) гистогенез
6) гаструляция

Ответ: | | | | | | |

12 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Под действием условий окружающей среды у человека возможно
1) изменение цвета глаз
2) увеличение количества эритроцитов
3) возрастание массы тела
4) генетическое определение пола
5) нарушение формирования скелета
6) формирование отпечатков пальцев

Ответ: | | | |

13 Установите соответствие между примерами биологических явлений и способами размножения, которые эти примеры иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ ЯВЛЕНИЙ	СПОСОБЫ РАЗМНОЖЕНИЯ
А) рост колонии коралловых полипов	1) вегетативное
Б) рост колонии дрожжей	2) собственно бесполое
В) развитие трутня	3) половое
Г) оплодотворение икры горбуши	
Д) формирование однояйцевых близнецов у человека	
Е) размножение амебы протей	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

14 Установите последовательность операций в процессе генетической трансформации организма. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

1) встраивание участка молекулы ДНК в генетический вектор
2) отбор организмов-реципиентов с желаемыми свойствами
3) размножение организмов-реципиентов
4) выделение необходимого гена в геноме организма-донора или его искусственный синтез
5) клонирование переносимого гена

Ответ: | | | | | |

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых даны **положения хромосомной теории наследственности**. Запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

(1) При анализирующем скрещивании самки дрозофилы с серым телом и длинными крыльями (дигетерозигота) с самцом с черным телом и короткими крыльями (рецессивная гомозигота) Т. Морган обнаружил отклонение расщепления признаков у потомства от характерного для анализирующего скрещивания. (2) 41,5 % дрозофил имели серое тело и длинные крылья, 41,5 % — черное тело и короткие крылья, 8,5 % — серое тело и короткие крылья, 8,5 % — черное тело и длинные крылья. (3) Поведение генов при этом напоминало поведение хромосом в мейозе. (4) На основании результатов скрещивания Т. Морган пришел к выводу, что гены расположены в хромосомах. (5) Гены одной хромосомы

наследуются сцеплено. (6) Расстояние между генами в хромосоме пропорционально проценту кроссинговера между ними. (7) Кроссинговером называется обмен гомологичными участками хромосом в профазе I мейоза.

Ответ: | | |

16 Установите соответствие между примерами организмов и типами питания, которые этими примерами иллюстрируются: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ ОРГАНИЗМОВ	ТИПЫ ПИТАНИЯ
А) железобактерии	1) автотрофный
Б) водородные бактерии	2) гетеротрофный
В) клубеньковые бактерии	
Г) молочнокислые бактерии	
Д) цианобактерии	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Комбинативная изменчивость возникает в результате
1) случайного расхождения хромосом в анафазе мейоза
2) действия ионизирующей радиации
3) разного сочетания генов в гаметах
4) неравномерности освещения
5) утраты участка хромосомы
6) конъюгации и кроссинговера в профазе I мейоза

Ответ: | | |

18 Установите соответствие между примерами организмов и типами хромосомного определения пола, которые этими примерами иллюстрируются: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ТИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА
А) ящерица прыткая	1) самки XX; самцы XY
Б) лошадь Пржевальского	2) самки ZW; самцы ZZ
В) мышь домовая	
Г) человек разумный	
Д) павлин обыкновенный	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

19 Установите последовательность событий двойного оплодотворения у цветковых растений. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) проникновение пыльцевой трубки в семязачаток
2) прорастание вегетативной клетки
3) опыление
4) оплодотворение яйцеклетки и центральной клетки
5) деление генеративной клетки

Ответ: | | | | | |

20 Рассмотрите схему скрещивания и определите тип скрещивания, генотипы родителей и форму взаимодействия генов. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин из предложенного списка.

P: ♀ *Aa* (желтые семена) × ♂ *Aa* (желтые семена)

Гаметы: *A* *a* *A* *a*

F_1: 1*AA* : 2*Aa* : 1*aa*

желтые семена — зеленые семена

Тип скрещивания	Генотипы родителей	Форма взаимодействия генов
_____ (А)	_____ (Б)	_____ (В)

Список терминов:

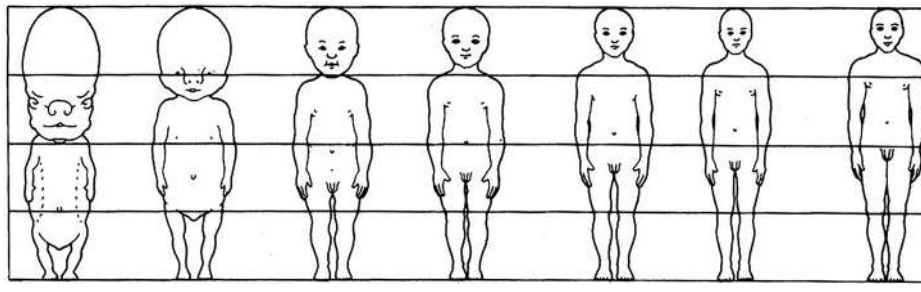
1) анализирующее
2) моногибридное
3) дигибридное
4) гомозиготы
5) гетерозиготы
6) кодоминирование
7) полное доминирование
8) промежуточное наследование

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте рисунок «Изменение пропорций тела человека в онтогенезе».



2 месяца (внутриутробное развитие) — 5 месяцев — Новорожденный — 2 года — 6 лет — 12 лет — 25 лет

Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.

1) Скорость роста головы превышает скорость роста других частей тела.
2) Относительная длина конечностей увеличивается с возрастом.
3) Пропорции тела человека сохраняются в ходе онтогенеза.
4) Наибольшие изменения пропорций тела наблюдаются в эмбриогенезе.
5) Масса тела в ходе онтогенеза остается неизменной.

Запишите в ответе цифры, под которыми указаны выбранные утверждения.

Ответ:_____

Часть 2

Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

22 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Селекция — это наука о методах создания видов домашних животных, сортов культурных растений и штаммов микроорганизмов с нужными человеку свойствами. (2) Первым этапом селекции было одомашнивание (доместикация) растений и животных. (3) Основными методами селекции издавна являются гибридизация и искусственный отбор. (4) 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. (5) Его применяют главным образом в селекции животных. (6) Неродственное скрещивание, или аутбридинг, в первом поколении дает эффект гетерозиса. (7) Искусственный отбор может вестись без определенного плана (сознательный) и производиться с определенной целью (методический).

Ответ: | | | |

23 Какие процессы изображены на рисунках А и Б? Назовите свойство живого, которое отражают эти процессы. Какие преобразования далее произойдут с клеткой на рисунке А?

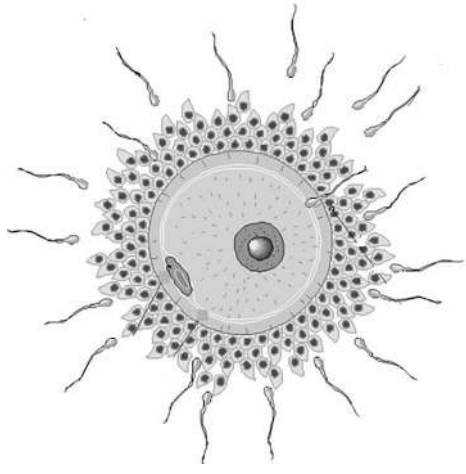


рис. А

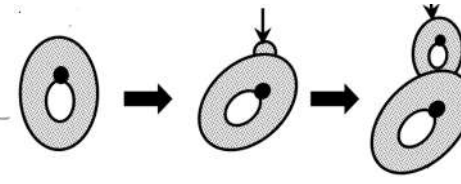


рис. Б

24 Известно, что окраска меха гималайского кролика определяется температурой окружающей среды. У кролика выбрили участок меха и подвергли этот участок кожи температурному воздействию. Сравните изображение кролика, выращенного при 30 °С (рис. А), при 20 °С (рис. Б) и в экспериментальных температурных условиях (рис. В). Объясните наблюдаемое явление. Определите температуру, воздействию которой подвергся выбритый участок кожи (ниже 20 °С, равна 20 °С, выше 20 °С).

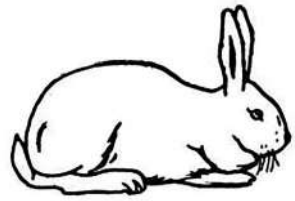


Рис. А

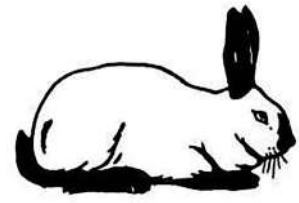


Рис. Б

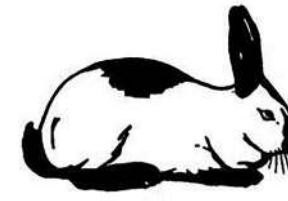


Рис. В

Ответ:

25 В 1898 – 1903 гг. датский исследователь Вильгельм Людвиг Иогансен провел эксперименты, в которых использовал семена фасоли чистых линий. Он собирал семена с одного растения и высевал отдельно крупные, средние и мелкие семена. В. Л. Иогансен обнаружил, что средняя масса семян не изменилась. Как изменилась масса отдельных семян? Объясните причину. Сформулируйте закономерность, установленную В. Л. Иогансеном.

Ответ:

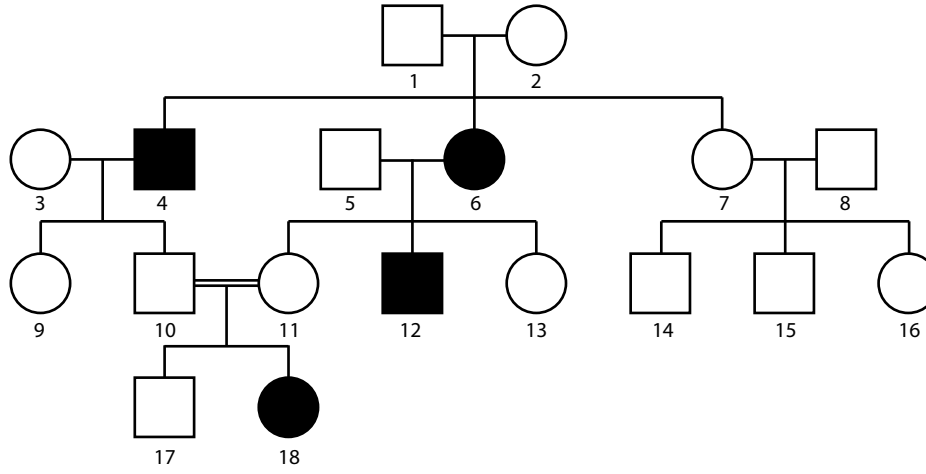
26 Какие факторы вызывают врожденные пороки развития плода у человека? Приведите не менее трех факторов и поясните свой ответ.

Ответ:

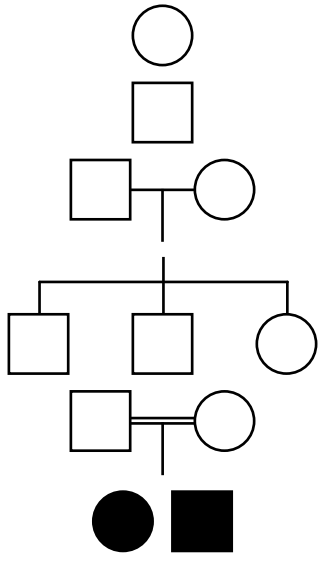
27 При скрещивании высокорослых растений томатов с шаровидной формой плода с карликовыми растениями с грушевидной формой плода в первом поколении все растения были высокорослыми с грушевидными плодами. В потомстве от анализирующего скрещивания гибридов F_1 с рецессивными гомозиготами по обоим признакам получено: 905 высокорослых растений с шаровидными плодами, 869 карликовых растений с грушевидными плодами, 223 высокорослых растения с грушевидными плодами, 218 карликовых растений с грушевидными плодами. Определите генотипы родителей и потомства, полученного в результате первого и анализирующего скрещиваний. Составьте схему решения задачи. Объясните формирование четырех фенотипических групп в анализирующем скрещивании.

Ответ:

28 По изображенной на рисунке родословной определите и обоснуйте генотипы родителей 1 и 2, потомков, обозначенных цифрами 4, 6 и 7. Установите вероятность рождения у родителей 10 и 11 следующего ребенка с исследуемым признаком.



Условные обозначения:



женщина

мужчина

брак

дети одного брака

родственный брак

проявление наследуемого признака

Ответ:

Раздел 4

Система и многообразие органического мира

4.1. Многообразие организмов. Значение работ К. Линнея и Ж. Б. Ламарка. Основные систематические (таксономические) категории: вид, род, семейство, отряд (порядок), класс, тип (отдел), царство; их соподчиненность. Вирусы — неклеточные формы жизни. Меры профилактики вирусных заболеваний

Многообразие организмов

В настоящее время на Земле известно около 2 млн видов живых организмов (по некоторым оценкам общее количество видов может достигать 5–10 млн), 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*.

Классифицировать организмы можно по любому принципу, например по окраске, и тогда в группу зеленых организмов попадут не только роза и дуб, но и крокодил с кузнечиком. Наиболее общими критериями, которые широко применяются в современной систематике, являются уровень организации, способ питания, особенности строения клетки и способность к активному перемещению организма в пространстве.

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.

Значение работ К. Линнея и Ж. Б. Ламарка

Хотя корни систематики теряются в глубине веков, поскольку первые попытки классифицировать организмы делали еще Аристотель и его ученик Теофраст, наукой она стала благодаря трудам великого шведского ученого К. Линнея (1707–1778).

В первую очередь он привел в порядок ботаническую терминологию, применяемую для описания растений, поскольку до него листья вновь открытых видов могли сравнивать с таковыми у лавра, розы и т. д., а также ввел короткие названия организмов из двух слов, первое из которых

является родовым названием, или «фамилией» растения, а второе — определением к нему, или «именем собственным», которое могло бы отражать какие-то особенности данного вида растений. Само по себе видовое название не может служить обозначением вида, поскольку слово «обыкновенный» может характеризовать как дуб, так и подорожник, а вот сочетание родового и видового названий является уникальным. Такой способ обозначения живых организмов при помощи двух слов носит название *бинарной*, или *биномиальной номенклатуры*.

Поскольку во времена Линнея международным языком науки являлся не английский, а латинский, совершенно очевидно, что и названия видам и их описания по сей день даются на латыни, например, *Triticum aestivum* L. — это мягкая пшеница. Буквы после видового названия являются общепринятым сокращением фамилии ученого, впервые или наиболее полно описавшего данный вид. В данном случае L. обозначает, что описание выполнено самим К. Линнеем.

Описав и дав названия примерно 10 тыс. видам растений и более 4 тыс. видам животных, К. Линней также внес существенный вклад в разработку самого понятия «вид». Он рассматривал его как группу сходных между собой особей, дающих плодовитое потомство.

Венцом научной деятельности К. Линнея стала его знаменитая система органического мира, в которой он установил строгую соподчиненность систематических групп: класс — порядок — род — вид — разновидность.

Будучи приверженцем использования четких критериев, в основу систематики растений он положил строение генеративной сферы цветка — количество пестиков и тычинок, которое отличается гораздо меньшей изменчивостью, нежели остальные части цветка и вегетативные органы, что дало ему возможность разделить растения на 24 класса.

Вместе с тем система царства растений К. Линнея была несовершенной, поскольку в одну группу могли попасть совершенно разные виды, а близкородственные виды оказывались в разных группах. Это было обусловлено тем, что он использовал только отдельные признаки растений, не принимая в расчет остальные. Понимая это, К. Линней упорно работал над разработкой «естественной системы», но так и не успел завершить этот труд.

Система же царства животных К. Линнея во многом была просто неудачной, так как в ней выделялось всего два класса, и киты попадали в одну группу с рыбами, а черви — со змеями.

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 уже 10 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.

Основные систематические (таксономические) категории: вид, род, семейство, отряд (порядок), класс, тип (отдел), царство; их соподчиненность

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

Так как ни один из критериев вида не является универсальным, для определения вида необходимо использовать их совокупность.

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. Например, два родственных вида ирисов, или касатиков — желтоцветковый Ирис болотный и сиреневоцветковый Ирис сибирский — относятся к одному роду Ирис, который вместе с родами Шафран и Гладиолус составляют семейство Ирисовые, или Касатиковые. В свою очередь, семейство Ирисовые является единственным семейством порядка Ирисовые (Касатикоцветные), наряду с порядком Лилиецветные входящим в класс Однодольные. Классы Однодольные и Двудольные

относятся к отделу Покрытосеменные, а Покрытосеменные и Голосеменные — это отделы царства Растения.

Вид, род, семейство, отряд (порядок), класс, тип (отдел), царство — это основные *таксономические*, или *систематические*, *категории*, т. е. соподчиненные группы растений и животных, имеющих различную степень родства. Слово вид, род и т. д. не подразумевает конкретный организм, это как бы ступень лестницы или пирамиды, тогда как добавление к этим словам конкретных названий, например Ирис, как бы наполняет их смыслом, превращает в *таксон* — группу организмов, связанных определенной степенью родства.

В XVIII веке, когда работал К. Линней, количество известных видов было невелико, поэтому было достаточно таксономических категорий вид, род, класс и царство, однако уже при его жизни стали использовать понятие семейство, а затем и остальные. На определенном этапе развития систематики не стало хватать и этих категорий, тогда начали использовать промежуточные, обозначаемые приставками над-, под- и т. д. (надцарство, подцарство и т. д.).

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 клеточном строении и особенностях жизнедеятельности, можно выделить, по крайней мере, четыре царства — бактерий, растений, грибов и животных, относящихся к двум надцарствам — Прокариоты и Эукариоты (рис. 4.1).

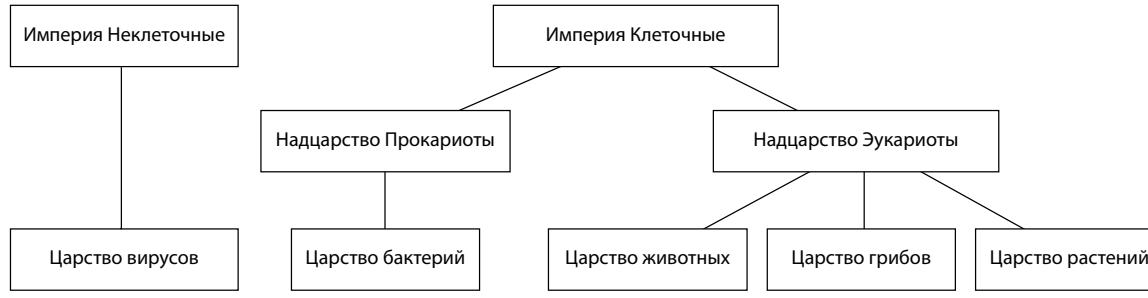


Рис. 4.1. Современная система органического мира

Бактерии относятся к прокариотам, по способу питания они могут принадлежать как к автотрофам, так и к гетеротрофам. Для бактерий характерен ограниченный рост. Большинство бактерий — одноклеточные организмы.

Растения отличаются способностью к автотрофному питанию, преобладанием процессов синтеза над процессами распада, прикрепленным способом жизни и неограниченным ростом. Основным запасающим веществом растений является крахмал. Клеточные стенки растений содержат целлюлозу.

Подавляющее большинство *животных* — гетеротрофы, активно перемещаются в пространстве, имеют небольшое соотношение площади поверхности и объема, а их рост ограничен. Основное запасное вещество клеток животных — гликоген, тогда как сами клетки лишены клеточной стенки.

Грибы по способу питания — гетеротрофы, они не могут активно перемещаться, их рост неограничен. Клетки грибов имеют в основном хитиновые клеточные стенки, основным запасным веществом грибов чаще всего является гликоген.

Не совсем ясно положение вирусов в системе органического мира, так как они не имеют клеточного строения, однако их предлагают выделить в отдельное царство вирусов, относящееся к империи Неклеточные, тогда как все остальные организмы будут относиться к империи Клеточные. В общем виде современную систему органического мира можно представить схематически или в виде родословного (филогенетического) древа, ветви которого соответствуют различным таксонам, а их взаимное расположение отражает родственные связи между этими таксонами.

Система органического мира не является незыблемой, в нее часто вносят изменения, причем иногда достаточно радикальные. Так, до середины XX века грибы рассматривались в составе

царства растений, хотя уже в XIX веке высказывались предположения об их исключительности, в настоящее время дискутируется вопрос о выделении по меньшей мере двух царств прокариотических организмов (архей и бактерий, или бактерий и цианобионтов).

Вирусы — неклеточные формы жизни

Характеристика вирусов

Наряду с клеточной формой жизни существуют также и неклеточные ее формы — вирусы, вироиды и прионы. *Вирусами* (от лат. *вира* — яд) называют мельчайшие живые объекты, неспособные к проявлению каких-либо признаков жизни вне клеток. Факт их существования был доказан еще в 1892 году русским ученым Д. И. Ивановским, установившим, что болезнь растений табака — так называемая табачная мозаика — вызывается необычным возбудителем, который проходит через бактериальные фильтры (рис. 4.2), однако только в 1917 году Ф. Д'Эррель выделил первый вирус — *бактериофаг*. Вирусы изучает наука *вирусология* (от лат. *вира* — яд и греч. *логос* — слово, наука).

Вирусы существуют в *двух формах*: покоящейся, или *внеклеточной*, и воспроизводящейся, или *внутриклеточной*. Свободноживущих вирусов не существует, все они внутриклеточные паразиты на генетическом уровне.

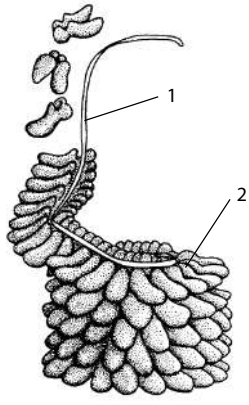


Рис. 4.2. Вирус табачной мозаики:
1 — РНК;
2 — белковый капсид

В наше время известно уже около 1 000 вирусов, которые классифицируют по объектам поражения, форме и другим признакам, однако наиболее распространенной является классификация по особенностям химического состава и строения вирусов.

Особенности объектов поражения предопределяют подразделение вирусов на две большие группы: собственно вирусы и бактериофаги. Первые являются паразитами эукариотических клеток (животных, растений и грибов), а вторые — только клеток бактерий.

В отличие от клеточных организмов, вирусы состоят только из органических веществ — в основном нуклеиновых кислот и белка, однако часть вирусов содержит также липиды и углеводы.

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

Несмотря на принадлежность к простым вирусам, наиболее сложное строение имеют вирусы бактерий — *бактериофаги* (от греч. *бактерион* — палочка и *фагос* — пожиратель), 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.

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.

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.

В связи с тем, что у растений, бактерий и грибов клетки имеют прочные клеточные стенки, у вирусов, поражающих эти организмы, сформировались соответствующие приспособления к проникновению. Так, бактериофаги после взаимодействия с поверхностью клетки-хозяина «прокалывают» ее своим стержнем и вводят в цитоплазму клетки-хозяина нуклеиновую кислоту (рис. 4.3). У грибов заражение происходит в основном при повреждении клеточных стенок, у растений возможен как вышеупомянутый путь, так и проникновение вируса по плазмодесмам.

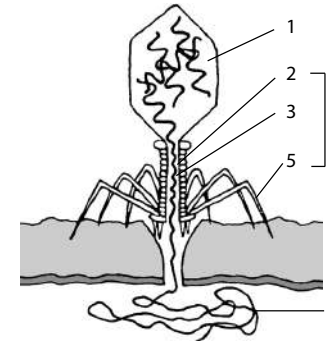


Рис. 4.3. Введение бактериофагом своей нуклеиновой кислоты в цитоплазму клетки-хозяина:
1 — головка;
2 — чехол;
3 — стержень;
4 — отросток, или «хвост»;
5 — концевые нити;
6 — нуклеиновая кислота бактериофага

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. Это приводит, например, к массовой гибели промышленных культур молочнокислых бактерий в случае поражения некоторыми бактериофагами, нарушения иммунитета вследствие уничтожения ВИЧ Т4-лимфоцитов, представляющих собой одно из центральных звеньев защитных сил организма, к многочисленным кровоизлияниям и гибели человека в результате заражения вирусом Эбола, к перерождению клетки и образованию раковой опухоли и т. д.

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 прокариотических организмов вследствие паразитирования, доклеточного происхождения вирусов и занесения их из космоса.

Вирусы вызывают многочисленные заболевания человека, животных и растений. У растений это мозаичность табака и тюльпанов, у человека — грипп, краснуха, корь, СПИД и др. В истории человечества вирусы черной оспы, «испанки», а теперь и ВИЧ унесли жизни сотен миллионов человек. Однако инфицирование способно и повышать устойчивость организма к разнообразным возбудителям заболеваний (иммунитет), и таким образом способствовать их эволюционному про-

грессу. Кроме того, вирусы способны «прихватывать» части генетической информации клетки-хозяина и переносить их следующей жертве, обеспечивая тем самым так называемый горизонтальный перенос генов, образование мутаций и, в конце концов, поставку материала для процесса эволюции.

В наше время вирусы широко используют в изучении строения и функций генетического аппарата, а также принципов и механизмов реализации наследственной информации, они применяются как инструмент генетической инженерии и биологической борьбы с возбудителями некоторых заболеваний растений, грибов, животных и человека.

Заболевание СПИД и ВИЧ-инфекция

ВИЧ (вирус иммунодефицита человека) был обнаружен только в начале 80-х годов XX века, однако скорость распространения вызываемого им заболевания и невозможность излечения на данном этапе развития медицины заставляют уделять ему повышенное внимание. В 2008 году Ф. Барре-Синусси и Л. Монтанье за исследование ВИЧ была присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины.

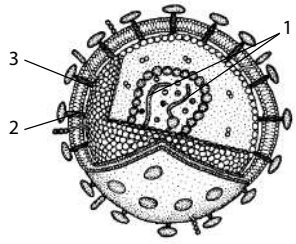


Рис. 4.4. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ):
1 — РНК;
2 — белковый капсид;
3 — липопротеиновая мембрана

ВИЧ — сложный РНК-содержащий вирус, который поражает главным образом Т4-лимфоциты, координирующие работу всей иммунной системы (рис. 4.4). На РНК вируса при помощи фермента РНК-зависимой ДНК-полимеразы (обратной транскриптазы) синтезируется ДНК, которая встраивается в геном клетки-хозяина, превращается в провирус и «затаивается» на неопределенное время. Впоследствии с этого участка ДНК начинается считывание информации о вирусной РНК и белках, которые собираются в вирусные частицы и практически одновременно покидают ее, обрекая на гибель. Вирусные частицы поражают все новые клетки и приводят к снижению иммунитета.

ВИЧ-инфекция имеет несколько стадий, при этом длительный период человек может быть носителем заболевания и заражать других людей, однако сколько бы ни длился этот период, все равно наступает последняя стадия, которая называется *синдромом приобретенного иммунодефицита*, или СПИДом.

Заболевание характеризуется снижением, а затем и полной потерей иммунитета организма ко всем возбудителям заболеваний. Признаками СПИДа являются хроническое поражение слизистых оболочек полости рта и кожи возбудителями вирусных и грибковых заболеваний (герпесом, дрожжевыми грибами и т. д.), тяжелая пневмония и другие СПИД-ассоциированные заболевания.

ВИЧ передается половым путем, через кровь и другие жидкости организма, но не передается через рукопожатия и бытовые предметы. В первое время в нашей стране инфицирование ВИЧ чаще было сопряжено с неразборчивыми половыми контактами, особенно гомосексуальными, инъекционной наркоманией, переливанием зараженной крови, в настоящее же время эпидемия вышла за пределы групп риска и быстро распространяется на другие категории населения.

Основными средствами профилактики распространения ВИЧ-инфекции являются использование презервативов, разборчивость в половых связях и отказ от употребления наркотиков.

4.2. Царство бактерий, строение, жизнедеятельность, размножение, роль в природе. Бактерии — возбудители заболеваний растений, животных, человека. Профилактика заболеваний, вызываемых бактериями

Царство бактерий

Бактерии — типичные прокариоты, представленные в основном одноклеточными и колониальными, реже многоклеточными формами. Среди них есть как автотрофы, так и гетеротрофы. Бактерии появились на Земле около 3,5 млрд лет назад и сыграли ключевую роль в преобразовании атмосферы и литосферы планеты. Обитают они во всех средах, от ледниковой минусовой температуры до кипящих источников, их находят даже на метеоритах, упавших на Землю, в атмосфере над ее поверхностью и в океанских глубинах. В настоящее время известно более 100 000 видов бактерий, однако только около 3000 из них изучены в той или иной степени. Изучением бактерий занимается наука *бактериология*, являющаяся разделом *микробиологии*. Впервые бактерии были описаны в XVII веке выдающимся микроскопистом А. ван Левенгуком.

Строение бактерий

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.

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.

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.

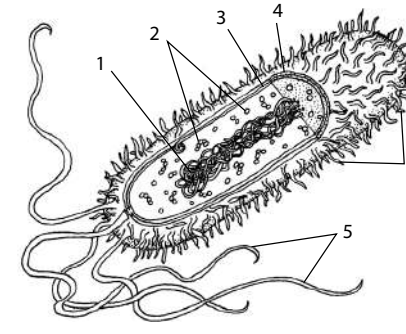


Рис. 4.5. Строение бактерии:
1 — нуклеоид; 4 — клеточная стенка;
2 — рибосомы; 5 — жгутики;
3 — плазмалемма; 6 — ворсинки

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

Компоненты поверхностного аппарата выполняют целый ряд функций: 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.

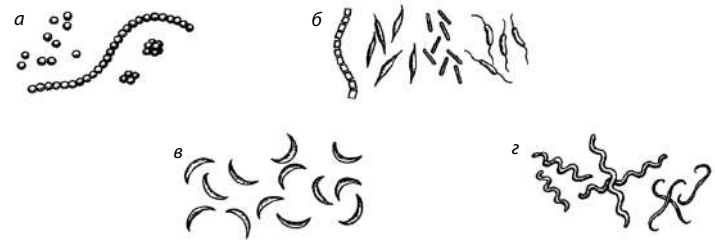


Рис. 4.6. Формы бактерий:
а — кокки, *б* — бациллы, *в* — вибрионы, *г* — спириллы

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

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. Отдельные сферические бактерии называются *микрококками*, их группы по две — *диплококками*, гроздевидные скопления — *стафилококками*, а вытянутые цепочки — *стрептококками*. Эти морфологические особенности учитываются в классификации бактерий (рис. 4.6).

Большинство бактерий, вызывающих заболевания человека, имеют палочковидную форму, например дизентерийная, ботулиническая, дифтерийная, чумная, сибиреязвенная и столбнячная палочки, палочка Коха (туберкулез) и сальмонеллы (сальмонеллез и брюшной тиф). Реже это могут быть вибрионы, как хеликобактерии (язва желудка и двенадцатиперстной кишки) и холерный вибрион, а также спирохеты (сифилис) или диплококки (гонорея).

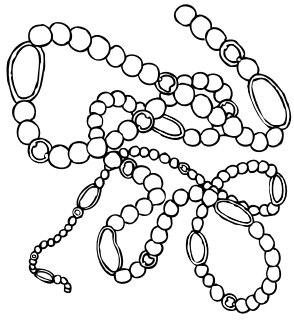


Рис. 4.7. Цианобактерия

Если настоящие бактерии представлены одиночными клетками или колониальными формами, то среди цианобактерий (синезеленых водорослей) 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, осциллятория и др. Особенности строения и процессов жизнедеятельности синезеленых водорослей способствовали их выделению в отдельное подцарство цианобактерий (синезеленых водорослей) (рис. 4.7), тогда как остальные представители царства относятся к подцарству бактерий.

Современная классификация бактерий учитывает не только морфологические их особенности, но и строение их клеточной стенки и процессы жизнедеятельности. По этим критериям бактерии предлагают разделить на два царства: археи и бактерии. Археи составляют сравнительно малоизученную группу прокариотических организмов, одни из которых обитают в экстремальных условиях среды, например в горячих гейзерах и сильно засоленных водоемах, а другие способны выделять метан в процессе жизнедеятельности. Археи присутствуют и в кишечнике человека, где синтезируют витамин B_{12}. По организации наследственной информации и ряду других признаков археи ближе к эукариотическим организмам, чем 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.

Сапротрофы обеспечивают расщепление органических веществ до минеральных, способствуя круговороту веществ в природе. *Паразитические бактерии* вызывают многочисленные заболевания, например чуму, холеру, туберкулез, пневмонию и другие. *Мутуалистами* являются бактерии кожи и слизистых оболочек человека, а также кишечника. Они не только защищают человека от других болезнетворных бактерий, но и могут синтезировать витамины, которые не образуются в организме человека. Следует отметить, что попадание мутуалистических бактерий в несвойственные им места приводит к развитию воспалительных процессов. Например, стафилококк эпидермальный, в норме обитающий на нашей коже, может вызвать цистит, а стафилококк золотистый со слизистых оболочек — образование нарывов на месте ранок.

Не менее важен симбиоз *клубеньковых бактерий* с корнями растений. Эти бактерии связывают атмосферный азот в доступной для растений форме, а взамен получают от растений воду и органические вещества.

Автотрофные бактерии получают энергию за счет фотосинтеза или хемосинтеза. Значительная часть фотосинтезирующих бактерий относится к цианобактериям, или синезеленым водорослям, которые представлены свободноживущими формами, компонентами лишайников и мутуалистами, как синезеленая водоросль анабена, образующая симбиоз с водным папоротником азоллой.

Среди автотрофных бактерий, не относящихся к цианобактериям, можно найти как фототрофов, так и хемотрофов. Последние относятся к серо-, железо-, нитрифицирующим и водородным бактериям.

По потребности в кислороде бактерии делят на *анаэробов* (не нуждающихся в кислороде) и *аэробов* (требующих кислорода для своей жизнедеятельности). 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 сибирской язвы — свыше 30 лет), однако при благоприятных условиях «спящая» бактерия возобновляет свою жизнедеятельность.

Размножение бактерий

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 (рис. 4.8).

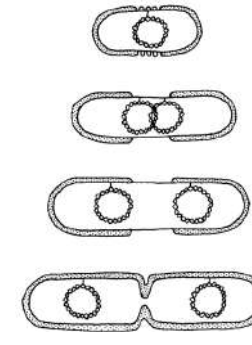


Рис. 4.8. Деление бактериальной клетки

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. В одних случаях происходит передача плазмиды от одной бактерии к другой с помощью специальной ворсинки — это *конъюгация*. В других случаях определенный участок ДНК от одной зараженной клетки к другой переносит бактериофаг — это

трансдукция. Однако одним из наиболее интересных способов передачи наследственной информации является *трансформация*, при которой клетка не только поглощает ДНК другой бактерии из окружающей среды, но и встраивает ее в собственную хромосому, приобретая закодированные признаки. Открытие явления трансформации бактерий-пневмококков Ф. Гриффитом в 1928 году позволило вскоре установить функции нуклеиновых кислот как основного носителя наследственной информации, а в наше время широко используется в генетике бактерий и генной инженерии.

Роль бактерий в природе

В 1 г сельскохозяйственных почв содержится до 2,5 млрд бактерий, несколько меньше их в воде и в воздухе, до 2 кг этих организмов могут находиться на коже, слизистых оболочках и в кишечнике человека, тогда как не связанные напрямую с окружающей средой органы практически лишены бактериальной микрофлоры.

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. В отсутствие 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, она также является индикатором загрязнения воды. Другие бактерии благодаря способности концентрировать металлы используются для их добычи из бедных руд и отвалов.

Вред, наносимый бактериями, не менее значителен. Так, массовое размножение цианобактерий приводит к «цветению» воды, при этом в воду выделяется значительное количество токсических веществ, которые способны вызвать гибель самих синезеленых водорослей и других организмов. При нарушении санитарных норм бактерии портят продукты питания и загрязняют лекарственные препараты, что может приводить к негативным последствиям для здоровья человека, не говоря уже о том, что сами по себе многие бактерии являются болезнетворными организмами.

Бактерии — возбудители заболеваний растений, животных, человека

Паразитические бактерии вызывают заболевания человека, животных и растений, называемые *бактериозами*. У растений широко распространены такие бактериальные заболевания, как кольцевая гниль и парша картофеля, бактериальный ожог, рак и увядание томатов и др., которые наносят значительный вред сельскому хозяйству.

Животные не менее растений подвержены бактериальным заболеваниям, например чуме, туляремии, сальмонеллезу, сибирской язве, бруцеллезу и др. Больные животные представляют опасность и для человека, так как при контакте с ними или через переносчика (блох, клещей, комаров и др.) может происходить инфицирование. Чаще всего источниками инфекции являются грызуны, домашний скот и птица. В связи с этим необходимо строго придерживаться гигиенических норм и правил при контакте с животными.

Заражение человека возбудителями бактериальных инфекций происходит через пищеварительную систему, органы дыхания, при укусах переносчиков, а также через слизистые оболочки

и повреждения кожи. В связи с этим бактериозы делят на *кишечные* (язва желудка, холера, дизентерия, сальмонеллез, брюшной тиф, ботулизм), *респираторные* (дифтерия, коклюш, туберкулез), *кровяные инфекции* (чума, сыпной тиф) и *инфекции наружных покровов* (сибирская язва, столбняк, сифилис и гонорея).

Механизм болезнетворного влияния бактерий в корне отличается от такового у вирусов, поскольку бактерии выделяют токсические вещества, оказывающие комплексное неблагоприятное воздействие на организм. При этом они могут даже не размножаться в тканях, как при столбняке и ботулизме. Последний вызывается ботулиническим токсином, который вырабатывается бактерией рода клостридиум в неправильно приготовленных и длительное время хранившихся консервах.

К категории особо опасных инфекций бактериальной природы относятся чума, бруцеллез, сибирская язва, сап и холера, так как их возбудители способны заразить почти каждого человека, протекают в тяжелой форме и вызывают как эпидемии, так и пандемии.

Несмотря на четкую организацию санитарно-эпидемиологической службы в Российской Федерации и других странах мира, постоянно сохраняется опасность возникновения эпидемий чумы и холеры, в последнее время вызывают также тревогу и темпы распространения туберкулеза.

Профилактика заболеваний, вызываемых бактериями

Основным средством профилактики бактериальных заболеваний у человека является повышение санитарной культуры населения, своевременное выявление и лечение больных, ношение марлевых повязок при контакте с больными, мытье рук, овощей и фруктов, протравливание мест обитания переносчиков соответствующих заболеваний, вакцинация и др. Например, если профилактика дифтерии заключается в периодической вакцинации, то от туберкулеза вакцины не существует, поэтому требуется своевременное выявление заболевших. Для этого в детском и подростковом возрасте делают пробу Манту, а взрослые обязаны ежегодно проходить флюорографическое исследование. При подозрении на туберкулез берутся дополнительные анализы, по результатам которых ставится окончательный диагноз. Поскольку туберкулезная палочка может поражать не только легкие, но и другие внутренние органы, а в последнее время наблюдается рост заболеваемости туберкулезом и выявлены чрезвычайно опасные его формы, требуется изоляция больных, соблюдение гигиенического режима и длительное лечение в специальных лечебницах и санаториях.

Для лечения бактериальных заболеваний чаще всего применяются антибиотики — сложные химические вещества, выделяемые микроорганизмами и способные подавлять развитие других микроорганизмов и раковых клеток или даже убивать их. Первый пригодный для клинического применения антибиотик — пенициллин — был получен в 1929 году А. Флемингом. Во время Великой Отечественной войны благодаря применению пенициллина были спасены жизни многих солдат. В настоящее время антибиотики применяют для лечения большого количества заболеваний человека, животных и растений, однако длительное применение приводит к появлению устойчивых к ним форм микроорганизмов. Поэтому во всем мире поднимается вопрос об отказе от антибиотиков как от лекарственного средства. Антибиотики применяются также в животноводстве для повышения продуктивности и для исследования тонких механизмов жизнедеятельности, поскольку они способны прерывать некоторые процессы, например образование клеточной стенки или синтез белка.

4.3. Царство грибов, строение, жизнедеятельность, размножение. Использование грибов для получения продуктов питания и лекарств. Распознавание съедобных и ядовитых грибов. Лишайники, их разнообразие, особенности строения и жизнедеятельности. Роль в природе грибов и лишайников

Царство 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.

Встречаются представители царства повсеместно, от экватора до льдов Арктики и Антарктиды, но особенно много их во влажных тропиках. Грибы освоили все среды обитания, даже водную и внутреннюю среду других организмов. Они живут на камнях, деревьях, почве и других субстратах.

Первые грибоподобные организмы, по-видимому, появились на Земле около 800 млн лет назад, однако широко распространились они только около 400–450 млн лет назад. Скорее всего, разные группы грибов произошли независимо друг от друга от различных предков.

В связи с тем, что грибам присущ целый ряд признаков, характерных для растений (неспособность к активному перемещению тела в пространстве, неограниченный рост, большая площадь поверхности и расчлененность тела, а также наличие клеточной стенки), их длительное время относили к царству растений. Однако гетеротрофность и отсутствие пластид, что сближает их с животными, послужили достаточным основанием для выделения в отдельное царство. В настоящее время описано уже более 100 000 видов грибов, к этому же царству относятся и лишайники. Изучением их строения, особенностей жизнедеятельности, биологического разнообразия и распространения занимается наука *микология*.

Строение грибов

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* (рис. 4.9). В отличие от низших, мицелий *высших грибов* является *клеточным* (рис. 4.10), 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.

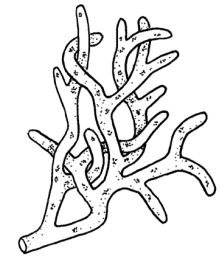


Рис. 4.9. Неклеточный мицелий

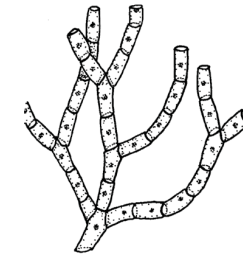


Рис. 4.10. Клеточный мицелий

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, и даже если у них возникают цепочки клеток в результате почкования, как у дрожжей, то такая структура называется *псевдомицелием*.

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, реже — жиры. 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. Однако наличие твердой клеточной стенки вынуждает грибы выделять в субстрат ферменты расщепления, а затем поглощать растворенные вещества всей поверхностью клетки. Такой способ питания называется *осмотрофным*. Он вынуждает гриб погружаться в субстрат как можно глубже, но это затрудняет его распространение, которое осуществляется при помощи спор. Споры выносятся на поверхность специальными выростами мицелия. Естественно, что тело грибов не может иметь таких крупных размеров, как тела животных и растений, однако протяженность их гиф намного превышает длину всех корней растений.

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

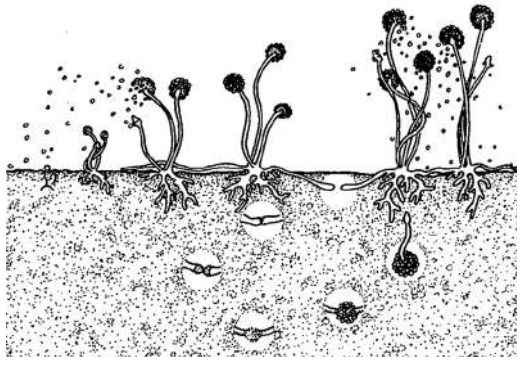


Рис. 4.11. Хлебная плесень — ризопус

Сапротрофные грибы осуществляют расщепление органических остатков растительного и животного происхождения до более простых соединений, зачастую неорганических. Тем самым они принимают участие в биогеохимических процессах круговорота веществ в биосфере, в том числе в циклах углерода, азота и др. К сапротрофным грибам относятся, например, плесневые грибы — пенициллл, мукор, ризопус, способные преобразовывать органические субстраты, на которых они поселяются. Многие из них портят продукты питания, например хлеб, овощи, фрукты и др. (рис. 4.11).

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. Кроме того, грибы производят биологически активные вещества, служащие растениям, переводят содержащиеся в почве соединения фосфора в более доступную для растений форму, защищают растения от проникновения паразитов и способствуют

транспорту веществ между растениями. Микоризными грибами являются белый гриб, трюфель и др. (рис. 4.12).

Многие растения и грибы образуют настолько устойчивые симбиозы, что без гриба растение не может даже прорастать, как это происходит в случае орхидей. Другим примером симбиоза гриба и растения являются лишайники, которые будут рассмотрены ниже.

Хищные грибы способны улавливать круглых червей и крупных одноклеточных, иногда даже образовывая сложные приспособления для захвата добычи.

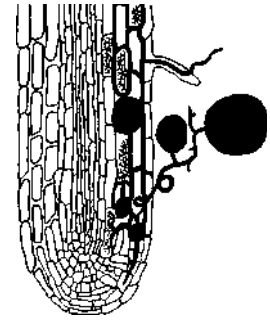


Рис. 4.12. Микориза

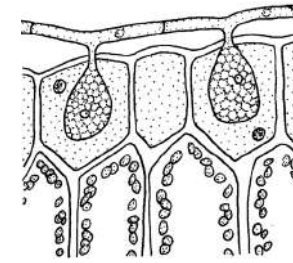


Рис. 4.13. Проникновение паразитического гриба в ткани растения

У грибов известны случаи сверхпаразитизма, когда они паразитируют на представителях своего же царства, однако наиболее существенный вред грибы-паразиты наносят растениям, животным и человеку, вызывая специфические заболевания — *микозы*. Особенно многочисленны заболевания, вызываемые грибами у растений. Чаще всего гриб проникает в тело растения через различные повреждения или естественные отверстия, например устьица, однако некоторые представители царства выделяют ферменты, которые делают проницаемыми для гиф гриба даже клеточные стенки (рис. 4.12). Специализированные гифы паразитических грибов называются *гаусториями*.

Размножение грибов

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. Количество спор гриба измеряется тысячами и миллионами, их можно встретить повсеместно, вплоть до 100 км над поверхностью планеты в атмосфере.

У грибов известны и половые процессы, однако они настолько разнообразны, что учитываются при классификации грибов. Но даже после полового процесса у них образуются споры (рис. 4.14, 4.15).

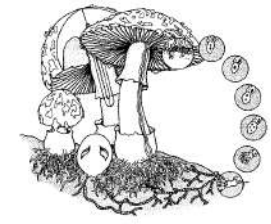


Рис. 4.14. Размножение грибов спорами

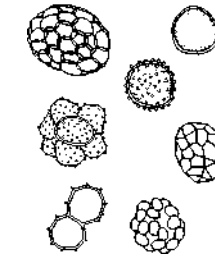


Рис. 4.15. Споры грибов

Систематика грибов

Несмотря на то что грибы известны человеку и тщательно изучаются им достаточно длительное время, классификация этого царства пока еще находится в стадии становления. 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, образующие 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*. Споры,

созревающие в сумках, называются *аскоспорами*. 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, мухоморы, бледная поганка, головня и др.

К грибам также относят и лишайники.

Использование грибов для получения продуктов питания и лекарств

Грибы с давних пор используются человеком в пищу, в последнее время широкое распространение получили искусственно выращенные шампиньоны, шиитаке, вешенка и др. Поскольку грибы нетребовательны к субстрату, грибоводство решает очень важную проблему утилизации отходов деревообрабатывающей, пищевой промышленностей и сельского хозяйства, так как их выращивают на опилках, подсолнечной шелухе или соломе.

В пищевой промышленности грибы используются при изготовлении молочнокислых продуктов, в хлебопечении, виноделии и пивоварении, при изготовлении мясных и колбасных изделий, получении лимонной кислоты. Например, получение знаменитых французских сыров Рокфор и Бри невозможно без плесневых грибов, тогда как в производстве кефира и хлеба применяются дрожжи, выделяющие в процессе брожения углекислый газ.

Не меньшее значение имеет и получение из грибов лекарственных препаратов — антибиотиков. Хотя в настоящее время большую часть этих биологически активных веществ получают из других микроорганизмов, именно грибные антибиотики — пенициллины и цефалоспорины обеспечивают выживание пациентов даже при таких тяжелых состояниях, как перитонит или сепсис. Недавно открытые антибиотики — циклоспорины — искусственно снижают иммунитет организма, что позволило поставить трансплантацию (пересадку) органов на новую основу.

Распознавание съедобных и ядовитых грибов

Основными причинами отравлений грибами являются неумение распознавать съедобные и ядовитые грибы, употребление в пищу старых и испорченных грибов, неправильное приготовление блюд из некоторых съедобных грибов, а также возможные мутации съедобных грибов и накопление ими токсических веществ, содержащихся в среде. Поэтому нельзя собирать незнакомые, старые и поврежденные грибы, и тем более съедобные экземпляры, растущие вблизи магистралей, промышленных предприятий, пробовать грибы на вкус и готовить их без предварительной проварки.

Грибы делятся на съедобные и условно съедобные. К хорошо различимым съедобным грибам относятся лисичка, белый гриб, подосиновик, подберезовик, масленок обыкновенный, опенок осенний, шампиньон обыкновенный и др.

Встречающаяся в хвойных и смешанных лесах с июня по октябрь *лисичка* имеет ярко-желтые упругие мясистые плодовые тела, с очень плотной, гладкой, постепенно утолщающейся и переходящей в шляпку ножкой. Сама шляпка плотная, мясистая, сначала выпуклая, с завернутым краем, а затем воронковидная. С нижней стороны пластинки с многочисленными перемычками, редкие, узкие, низко спускаются по ножке. Мякоть плотная, неломкая, имеет приятный запах и острый вкус. Лисичка — один из наиболее известных съедобных грибов, которые используются в свежем или консервированном виде. Плодовые тела лисички богаты витаминами РР и B_1, микроэлементами, в том числе цинком и медью.

Белый гриб, или *боровик*, имеет крупные, толстые, мясистые плодовые тела. Шляпка 6–20 см в диаметре, у молодых грибов полусферическая, у взрослых — выпукло-распростертая, коричневая различных оттенков, гладкая или слегка морщинистая, голая и сухая, в сырую погоду немного клейкая. Спороносный слой трубчатый, легко отделяется от мякоти шляпки. Ножка у бо-

ровика светлая (грязно-белая или сероватая), вверху с тонким белым сетчатым узором. Мякоть плотная, белая, на сломе не изменяет цвета, имеет приятный запах и вкус. Растет белый гриб в лиственных и хвойных лесах, образуя микоризу с дубом, буком, грабом, березой, орешником, сосной, елью. Обладает лекарственными свойствами, в том числе рекомендуется при стенокардии, туберкулезе, для профилактики онкологических заболеваний.

Подосиновик легко узнать по шляпке, окрашенной в красный или оранжевый цвет. Поверхность шляпки гладкая. Ножка белая, покрыта темными волокнистыми чешуйками. Мякоть с приятным запахом и вкусом, на сломе сначала становится розово-оливковой, затем темнеет. Растет подосиновик на почвах в лиственных и смешанных лесах, преимущественно под осинами, с которыми образует микоризу.

Подберезовик отличается от подосиновика коричневой шляпкой без красных оттенков, а также тем, что образует микоризу преимущественно с березой.

У *масленка обыкновенного* шляпка выпукло-распростертая, желто-коричнево-бурая, в сырую погоду покрытая слизью. Края шляпки соединены с нижней белой плотной пленкой, которая со временем разрывается, образуя около ножки кольцо. Ножка у масленка центральная, плотная, гладкая, желто-коричневая. Мякоть белая, на сломе не изменяет цвета и имеет приятный запах и вкус. Трубчатый слой шляпки желтый, при прикосновении не изменяет цвета. Растет масленок преимущественно на песчаных почвах в сосновых лесах и образует микоризу с сосной.

Опенок осенний имеет плодовые тела среднего размера, реже — большие, с частичным покрывалом. Шляпка полукруглая, позднее плоско-распростертая, иногда с горбиком в центре, с тонким краем, рыжевато-коричневая, с темными чешуйками. Кожица легко снимается. Пластинки густые, тонкие, беловатые, приросшие, иногда слегка спускаются на ножку. Ножка центральная, цилиндрическая или слегка утолщенная книзу, плотная, волокнистая, пластинчато-чешуйчатая, со временем почти голая, цвета шляпки или светлее, у основания желтоватая. Кольцо на ножке беловатое, со временем исчезает. Мякоть белая, с приятным грибным запахом. Опенок растет преимущественно большими группами в лиственных и хвойных лесах.

Шампиньон обыкновенный имеет плодовые тела с центральной ножкой и шляпкой. Сначала шляпка полукруглая, позднее выпукло- или плоскораспростертая, белая, голая или с малозаметными прижатыми чешуйками, блестящая, шелковистая. Пластинки с нижней стороны шляпки свободные, широкие, густые, у молодого гриба бледно-розовые, позднее темнеют и приобретают темно-бурый цвет, почти черный. Ножка гладкая, цилиндрическая, плотная или с полостью и с остатками частичного покрывала (кольцо на ножке). Мякоть белая, на сломе слегка краснеет, с приятным запахом и вкусом.

Значительная часть шляпочных грибов ядовита для человека, иногда смертельно. Симптомы отравления могут проявляться как через 2–3 часа после употребления гриба, так и через несколько суток. Наиболее известными ядовитыми грибами являются мухомор красный и бледная поганка.

Шляпка *мухомора красного* окрашена в различные оттенки кирпично-красного цвета. На ее поверхности в виде белых пластинок сохраняются остатки общего покрывала. Ножка у основания утолщена. Мухомор красный растет в лиственных и хвойных лесах, его плодовые тела содержат нейротоксин мускарин.

Бледная поганка, или *мухомор зеленый,* имеет зеленоватую, светло-оливковатую, цвета бронзы, более темную к центру шляпку. Пластинки гименофора у нее всегда белые, густые, тонкие. Беловатая ножка к основанию постепенно утолщается, у основания имеет клубневидное расширение. На ножке, в верхней части, всегда есть широкое желтоватое кольцо — остаток частичного покрывала. Мякоть гриба белая, сладкая, однако имеет неприятный запах. Растет бледная поганка на почве в лиственных, преимущественно дубовых, буковых с орешником и смешанных лесах, обычно группами. Является смертельно ядовитым грибом, который содержит аматоксины и фаллотоксины. Смертельной дозой для человека является 2–3 г плодового тела. Чаще всего отравление бледной поганкой происходит из-за того, что ее ошибочно принимают за съедобную зеленушку, хотя зеленушка отличается от бледной поганки отсутствием кольца и остатков пленки в нижней части ножки, а также желтовато-зеленым цветом пластинок.

Лишайники, их разнообразие, особенности строения и жизнедеятельности

Лишайники представляют собой особую форму симбиотических организмов, образованных грибами и водорослями. Фотосинтезирующий компонент лишайников — это чаще всего цианобактерии или зеленые водоросли (всего около 30 родов). Водоросль предоставляет грибу органические вещества, а гриб обеспечивает ее водой и минеральными солями, поглощаемыми из субстрата. Истинные взаимоотношения между компонентами этих организмов до конца не выяснены, поскольку существуют полярные мнения, что гриб и водоросль либо сосуществуют на взаимовыгодной основе (этот тип взаимоотношений называется мутуализмом), либо гриб паразитирует на водоросли, хотя некоторые водоросли и грибы лишайников не встречаются в свободном состоянии.

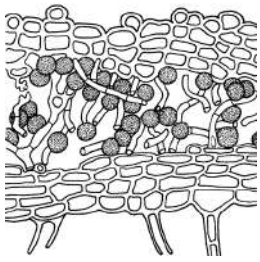


Рис. 4.16. Поперечный срез гетеромерного лишайника

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. На поперечном срезе заметно, что в одних лишайниках клетки водорослей равномерно рассеяны по слоевищу (гомеомерные лишайники), а в других сверху и снизу имеются корочки, образованные мицелием гриба, между которыми и располагается фотосинтезирующий компонент (гетеромерные лишайники) (рис. 4.16).

В зависимости от морфологии слоевища лишайники делят на *накипные*, *листоватые* и *кустистые* (рис. 4.17). Наиболее высокоорганизованными из них являются кустистые лишайники: так называемый олений мох, образующий сплошной ковер в тундре, и уснеи, свисающие с деревьев. Накипные лишайники покрывают камни, кору деревьев, заборы и т. д. К ним относится, например, графис, образующий на коре граба своеобразный узор, похожий на древние письмена.

Листоватые лишайники более заметны, чем вросшие в субстрат накипные, особенно бросается в глаза встречающаяся почти повсеместно стенная золотянка.

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.

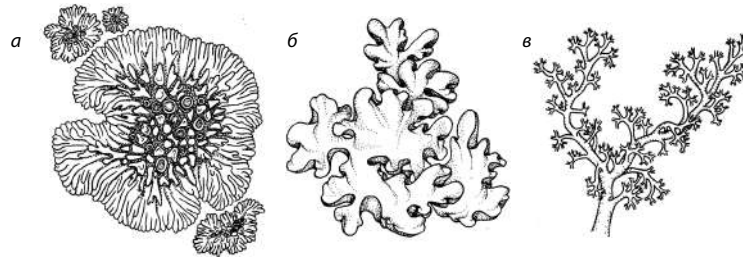


Рис. 4.17. Морфология слоевища лишайника: *а* — накипные; *б* — листоватые; *в* — кустистые

Систематическая принадлежность лишайников до конца неясна, так как одни авторы выделяют их в особый отдел царства грибов, а другие классифицируют по грибному компоненту, относя их к аскомицетам и базидиомицетам. Всего известно около 25 тыс. видов лишайников.

Роль в природе грибов и лишайников

Значение грибов в биосфере трудно переоценить, так как, кроме участия в биогеохимическом круговороте веществ, они обеспечивают процессы почвообразования, питания растений, и даже усиливают эволюционные процессы, способствуя обогащению экосистем новыми видами. С точки зрения экологии исчезновение грибов привело бы к быстрому накоплению органических остатков, остановке биогеохимических циклов, а также гибели всех растений и большинства животных вследствие отсутствия света, обеднения почв, затруднения передвижения и т. д.

Вместе с тем они наносят значительный ущерб человеку, делая продукты питания непригодными для употребления (дрожжи, плесневые грибы мукор, ризопус, пеницилл, аспергилл и др.), поражая древесные породы (трутовик, опенок) и предметы культуры — книги, ткани, картины, кожу (дрожжи).

Заражение важнейших сельскохозяйственных культур паразитическими грибами может существенно снизить их продуктивность либо вообще уничтожить урожай. К наиболее опасным из них относятся фитофтора картофеля, ржавчинные, головневые грибы и спорынья. Так, фитофтора в середине XIX века вызвала гибель более миллиона жителей Ирландии и эмиграцию еще полутора миллионов, погубив весь урожай картофеля. Развитие ржавчинных грибов приводит к образованию оранжевого налета на листьях и стеблях растений (рис. 4.18), а в результате жизнедеятельности головневых грибов колосья пшеницы выглядят как бы опаленными. Различные виды головни поражают цветки и зерновки злаков, что вызывает снижение урожайности. Спорынья пшеницы, помимо этого, может быть опасной для жизни и здоровья человека, поскольку употребление в пищу хлеба, намолоченного из пшеницы с ее сине-фиолетовыми «рожками» приводит к острому отравлению («злые корчи») и даже летальному исходу (рис. 4.19). Однако человек научился использовать свойства этих грибов, например из спорыньи получают лекарственные препараты.

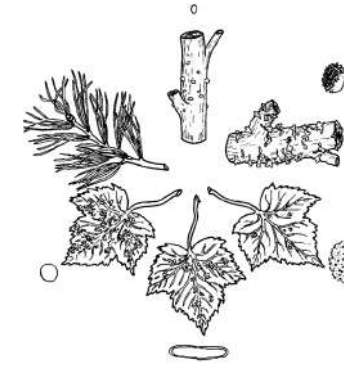


Рис. 4.18. Ржавчина сосны

Лишайники поселяются на непригодных для жизни других организмов субстратах, например стекле, камне, являясь одними из пионеров растительности. Возможность обитания, например на камнях, обусловлена особенностями обмена веществ: лишайники выделяют особые лишайниковые кислоты, способствующие выветриванию горных пород. В образованных трещинках и углублениях накапливаются различные частички, в том числе и органического вещества, образуемого лишайниками, тем самым они принимают непосредственное участие в процессах почвообразования.

Кустистые лишайники (собирательное название — «олений мох») в природе являются основным кормом для северных оленей в тундре. По-видимому, один из кустистых лишайников послужил также прообразом библейской манны небесной.

Лишайники используют в парфюмерной (фиксатор для духов) и химической (лакмус) промышленностях, медицине (для приготовления слизистых отваров и как средство от кашля), в экологических исследованиях как индикатор загрязнения атмосферы.

Рис. 4.19. Колос пшеницы, пораженный спорыньей

4.4. Царство растений. Строение (ткани, клетки, органы), жизнедеятельность и размножение растительного организма (на примере покрытосеменных растений). Распознавание (на рисунках) органов растений

Царство растений

Царство растений объединяет около 400 тыс. видов организмов, поражающих разнообразием форм, размеров, окраски и т. д. — от микроскопической одноклеточной водоросли хламидомонады до стометровых секвой и эвкалиптов. Характерными признаками растений являются автотрофный способ питания (фотоавтотрофный), преобладание процессов синтеза над процессами распада, сильное расчленение тела, прикрепленный способ жизни и открытый рост.

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 органы, а их органы бесполого и полового размножения представлены не одноклеточными, а многоклеточными образованиями. Высшими растениями являются семенные и споровые. Формирование тканей и органов явилось следствием выхода растений на сушу, так как водная среда не только обеспечивала растения водой и необходимыми веществами, но и поддерживала их тело, а в воздушной среде появилась необходимость в защите от высыхания, механическом поддержании тела растения, а также доставке воды и минеральных веществ из почвы.

Растения являются объектом науки *ботаники*, основы которой были заложены еще учеником Аристотеля Теофрастом (Феофрастом). В настоящее время ботаника представляет собой комплекс наук о растениях, в который входят анатомия, физиология, биохимия, генетика и систематика растений, а также частные ботанические науки, изучающие отдельные их группы, например *альгология* — наука о водорослях.

Строение (ткани, клетки, органы), жизнедеятельность и размножение растительного организма (на примере покрытосеменных растений)

Клетки растений

Растения относятся к эукариотическим организмам, следовательно, их клетки обязательно содержат ядро хотя бы на одном из этапов развития. Также в цитоплазме растительных клеток имеются разнообразные органоиды, однако их отличительным свойством является наличие пластид, в частности хлоропластов, а также крупных вакуолей, наполненных клеточным соком. Основное запасающее вещество растений — крахмал — откладывается в виде зерен в цитоплазме, особенно в запасающих органах. Еще одним существенным признаком растительных клеток является наличие целлюлозных клеточных оболочек. Следует отметить, что у растений клетками принято называть и образования, живое содержимое которых отмерло, а клеточные стенки остались. Нередко эти клеточные стенки пропитываются лигнином в процессе одревеснения или суберином при опробковении.

Ткани растений

В отличие от животных, у растений клетки склеены углеводной срединной пластинкой, между ними также могут быть межклетники, заполненные воздухом. В течение жизни ткани могут из-

менять свои функции, например клетки ксилемы вначале выполняют проводящую функцию, а затем — опорную. У растений насчитывают до 20–30 типов тканей, объединяющих около 80 видов клеток. 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: образовательные ткани верхушек побега и корня, а у некоторых растений — и междоузлий обеспечивают рост растений в длину, а камбий — в толщину. При повреждении растения из клеток, оказавшихся на поверхности, формируются раневые образовательные ткани, которые заполняют возникшие промежутки.

Постоянные ткани растений специализируются на выполнении определенных функций, что отражается на их строении. Они неспособны к делению, однако при определенных условиях могут вновь приобретать эту способность (за исключением мертвых тканей). 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.

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.

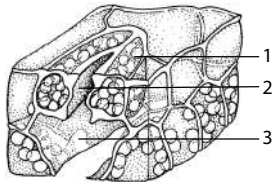


Рис. 4.20. Устьице в разрезе:
1 — замыкающая клетка;
2 — устьичная щель;
3 — пространство под устьицем

Устьица — это специальные образования, через которые происходит испарение воды — *транспирация*. В устьицах замыкающие клетки окружают устьичную щель, под ними располагается свободное пространство (рис. 4.20). Замыкающие клетки устьиц чаще всего имеют бобовидную форму, в них встречаются хлоропласты и зерна крахмала. Внутренние стенки 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. Через устьица происходит не только испарение воды, но и газообмен в целом — поступление и удаление кислорода и углекислого газа, которые проникают далее по межклетникам и потребляются клетками в процессе фотосинтеза, дыхания и т. д.

Клетки *пробки*, которая в основном покрывает одревесневшие побеги, пропитываются жироподобным веществом суберином, что, с одной стороны, вызывает гибель клеток, а с другой — предотвращает испарение с поверхности растения, обеспечивая тем самым термическую и механическую защиту. В пробке, как и в кожице, имеются специальные образования для проветривания — *чечевички*. Клетки пробки образуются в результате деления пробкового камбия, подстилающего ее.

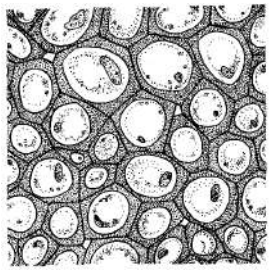


Рис. 4.21. Механическая ткань

Механические ткани растений выполняют опорную и защитную функции (рис. 4.21). 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 дела, от клеток склеренхимы остаются только утолщенные и одревесневшие клеточные стенки, что как нельзя лучше способствует выполнению ими соответствующих функций. Клетки механической ткани чаще всего 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.

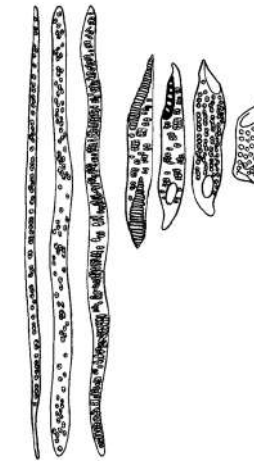


Рис. 4.22. Проводящие элементы ксилемы

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. 4.22). 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.

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. Клетки располагаются одна над другой, клеточные стенки между ними имеют многочисленные отверстия, что делает их похожими на сито, из-за чего клетки называют *ситовидными* (рис. 4.23). По флоэме транспортируются вода и растворенные в ней органические вещества из надземной части растения в корень и другие органы растения. Загрузку и разгрузку ситовидных трубок обеспечивают прилегающие к ним *клетки-спутницы*.

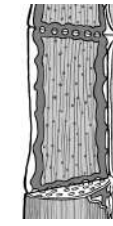


Рис. 4.23. Ситовидная клетка

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, т. е. они имеют почти одинаковые линейные размеры: длину, ширину и высоту (рис. 4.24). Основные ткани расположены в листьях, молодых стеблях, плодах, семенах и других запасающих органах. Некоторые виды основной ткани способны выполнять всасывающую функцию, как, например, клетки волосконосного слоя корня.

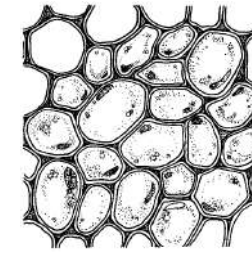


Рис. 4.24. Основная ткань

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 др. вещества. У водных растений возможно разрастание межклетников основной ткани, вследствие чего образуются крупные полости, с помощью которых осуществляется проветривание.

Органы растений

Вегетативные и генеративные органы

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.

Корень

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

Морфология корня. Корень имеет четыре зоны: роста, всасывания, проведения и корневой чехлик (рис. 4.25). *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.

В *зоне проведения*, или *боковых корней*, вещества транспортируются из корня в побег, а также происходит ветвление корня, т. е. образование боковых корней, что способствует заякориванию растения. Кроме того, в данной зоне возможно запасание веществ и закладывание почек, с помощью которых может происходить вегетативное размножение.

Внутреннее строение корня. На поперечном срезе в зоне всасывания корня видны покровная ткань, первичная кора и центральный цилиндр (рис. 4.26). 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. 4.27). *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, такая корневая система называется *мочковатой* (рис. 4.28). Первая характерна для двудольных растений, а вторая — для однодольных.

Для формирования более мощной корневой системы в растениеводстве используют как минимум два приема: пикирование и окучивание. *Пикированием* называют удаление точки роста главного корня с целью стимуляции роста боковых, расположенных в более плодородных верх-

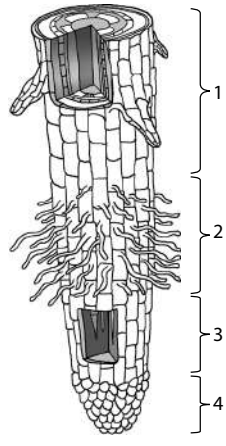


Рис. 4.25. Строение корня:
1 — зона проведения;
2 — зона всасывания;
3 — зона роста;
4 — корневой чехлик

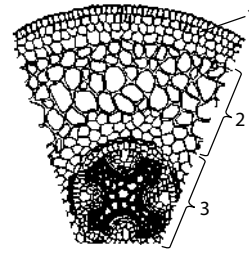


Рис. 4.26. Поперечный срез корня двудольного растения:
1 — покровная ткань;
2 — первичная кора;
3 — центральный цилиндр

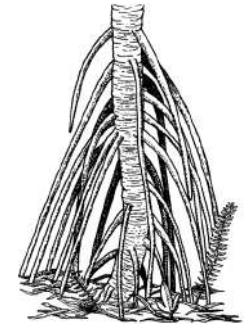


Рис. 4.27. Придаточные корни пандануса

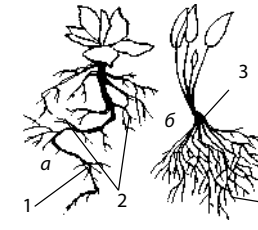


Рис. 4.28. Корневые системы:
а — стержневая;
б — мочковатая;
1 — главный корень;
2 — боковые корни;
3 — придаточный корень

них слоях почвы. Окучивание также способствует развитию корневой системы, однако в большей степени за счет придаточных корней, образующихся на стебле вследствие поднятия уровня почвы.

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 (рис. 4.29). *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 (рис. 4.30). *Дыхательные корни* присущи растениям, произрастающим в чрезмерно увлажненной почве, они помогают растениям в обеспечении кислородом для дыхания (рис. 4.31). 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. *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.

Рис. 4.29. Корнеплод свеклы

Рис. 4.30. Цепляющиеся корни винограда

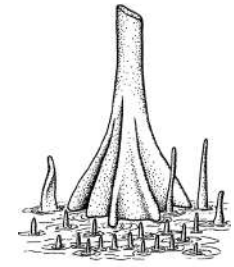


Рис. 4.31. Дыхательные корни

Рис. 4.32. Клубеньки на корнях бобовых

Корневые симбиозы. Почвы достаточно часто содержат недостаточное количество минеральных солей, что вынуждает растения искать другие способы их получения. Одни из них приспособились получать азот в результате питания насекомыми (насекомоядные растения), а другие образовали симбиозы с грибами и бактериями (рис. 4.32).

Симбиоз корней растения с грибами называют *микоризой*. Некоторые растения настолько «сжились» с грибами, что вообще перешли к паразитированию на своем грибе-сожителе и не осуществляют фотосинтеза, как орхидея гнездовка.

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.

Побег

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*.

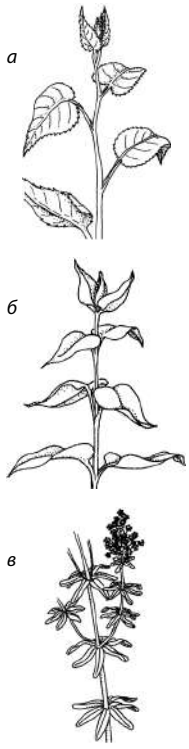


Рис. 4.33. Листорасположение:
а — очередное;
б — супротивное;
в — мутовчатое

Порядок размещения листьев на стебле называют *листорасположением* (рис. 4.33). 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).

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. У *травянистых* растений побег никогда не одревеснеет, хотя продолжительность их жизни может составлять сотни лет. По продолжительности жизненного цикла травянистые растения делят на однолетние, двулетние и многолетние. *Однолетние* растения завершают свой жизненный цикл и дают плоды в течение одного года (горчица, тыква), тогда как *двулетние* чаще всего в первый год вегетируют, а дают плоды и погибают на второй год (морковь, редис), *многолетние* же цветут и дают плоды в течение длительного времени (земляника, пырей).

Кустарники характеризуются наличием нескольких одревесневших в той или иной степени побегов-стволиков, постепенно сменяющихся в течение жизни растения. К ним относятся сирень, красная смородина, крыжовник, терен и др.

У *деревьев* побег также одревеснеет, однако он сохраняется всю жизнь и называется *стволом*. Ствол несет на себе все остальные ветви дерева — *крону*. Примерами древесных растений являются дуб, сосна и береза.

Почка

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. 4.34). Генеративные почки обычно более крупные и округлые, в сравнении с вегетативными, и чаще располагаются на концах побегов.

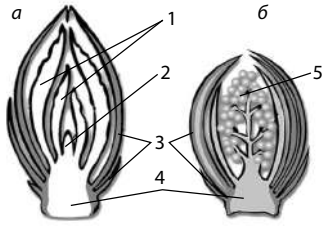


Рис. 4.34. Строение почки:
а — вегетативная;
б — генеративная:
1 — зачаточные листочки;
2 — зачаточная почка;
3 — почечные чешуи;
4 — зачаточный стебель;
5 — зачаточные цветки

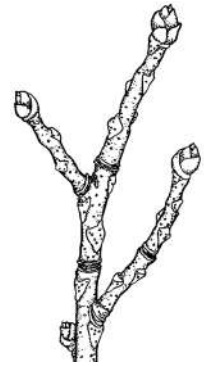


Рис. 4.35. Расположение почек на побеге

В зависимости от расположения на побеге почки делят на верхушечные и боковые. *Верхушечные* почки располагаются в точках роста побега, а *боковые* — во всех остальных местах. *Боковые* почки, расположенные в пазухах листьев, называются *пазушными*, а разбросанные вне пазух почки относят к *придаточным* (рис. 4.35). Например, у бриофиллума они размещаются по краям листьев и со временем превращаются в «детки», осу-

ществляющие вегетативное размножение. 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

Стебель — 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.

Молодые зеленые стебли и стебли кактусов также способны осуществлять функцию фотосинтеза. На поперечном срезе стебли могут иметь округлую, четырехугольную, трехугольную, ребристую и другие формы.

Внутреннее строение стебля. Независимо от формы поперечного сечения и степени одревеснения внутреннее строение побега имеет единый план: снаружи они покрыты 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 (рис. 4.36), тогда как у одревесневающих она со временем заменяется пробкой (рис. 4.37).

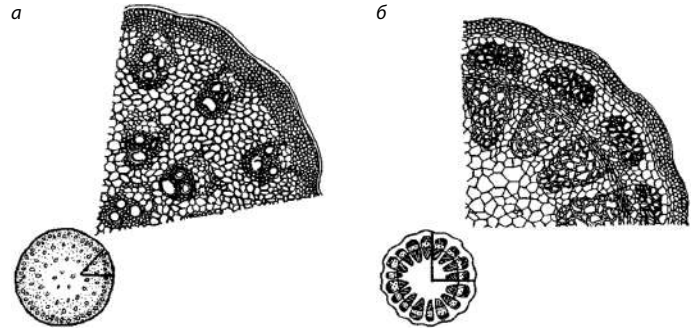


Рис. 4.36. Поперечные срезы травянистых растений: *а* — однодольное растение; *б* — двудольное растение

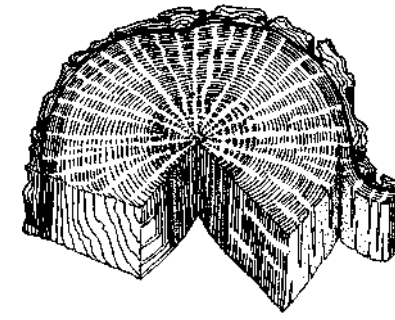


Рис. 4.37. Строение стебля древесного растения

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

Центральный цилиндр содержит *луб*, или флоэму, и *древесину*, или ксилему, а также сердцевину. По ситовидным трубкам флоэмы осуществляется нисходящий транспорт воды и растворенных в ней органических веществ из листьев в другие органы растения. У древесных растений он может функционировать несколько лет, а затем сплющиваться. В умеренном климате на зиму луб закупоривается во избежание замерзания.

Функцией ксилемы является восходящий транспорт воды и минеральных солей из корня в побег. Ее проводящие элементы также могут функционировать несколько лет, однако позднее они утрачивают проводящую функцию и превращаются в опорные элементы. Между древесиной и лубом у двудольных растений 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 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. Характер прохождения пучков у цветковых растений является одним из диагностических признаков: если пучки расположены по кругу, то это двудольное растение, а если беспорядочно — однодольное.

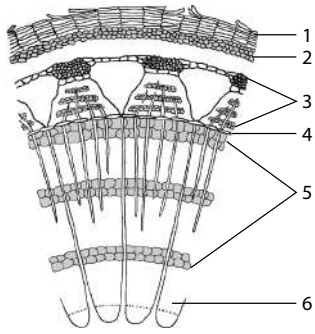


Рис. 4.38. Схема внутреннего строения ветки липы:
1 — пробка;
2 — первичная кора;
3 — луб;
4 — камбий;
5 — древесина;
6 — сердцевина

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. 4.38). 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 условия 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. Во многих случаях сердцевина разрушается под действием бактерий и грибов, но у некоторых растений она исчезает как следствие расхождения клеток. Например, в соломине злаков все междоузлия полые, тогда как в узлах сохраняются тоненькие пленки. Такое строение стебля помогает злакам поддерживать колос, который может быть в десятки раз тяжелее самой соломины.

Лист

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. 4.39). *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.

Черешок служит для соединения листа со стеблем. Листья делятся на черешковые и сидячие. Если лист имеет черешок, он называется *черешковым*, если таковой отсутствует — *сидячим*.

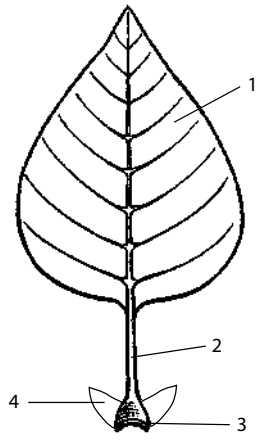


Рис. 4.39. Строение листа:
1 — листовая пластинка;
2 — черешок;
3 — основание листа;
4 — прилистник

Прилистники — это парные боковые выросты по бокам основания листа. Обычно они развиваются раньше листовой пластинки и защищают молодой лист, а затем опадают, однако у ряда видов они сохраняются и даже разрастаются настолько, что по размерам превышают сами листовые пластинки. В этом случае они берут на себя фотосинтетическую функцию.

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. К ним относят пальчатые, непарноперистосложные и парноперистосложные листья. У *пальчатых* листьев все листовые пластинки отходят от одной точки общего черешка, а у *перистосложных* — из разных точек, у *непарноперистосложных* листьев этот черешок заканчивается непарным листочком, тогда как у *парноперистосложных* он отсутствует (рис. 4.40).

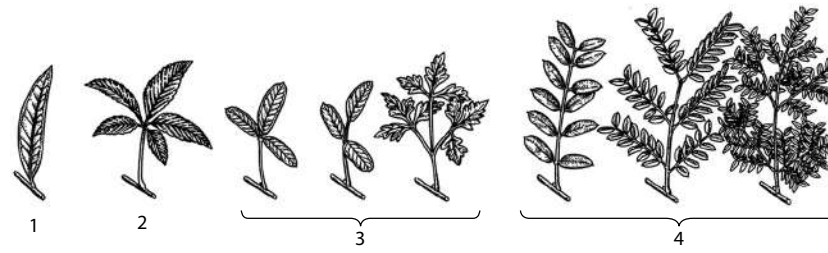


Рис. 4.40. Простые и сложные листья:
1 — простой лист; 2 — пальчатый лист; 3 — тройчатый лист; 4 — парноперистосложный лист

Формы листовых пластинок поражают своим разнообразием, среди них есть игловидные, ланцетные, стреловидные, копьевидные, щитовидные, сердцевидные, почковидные, яйцевидные, овальные и т. д. (рис. 4.41). 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.

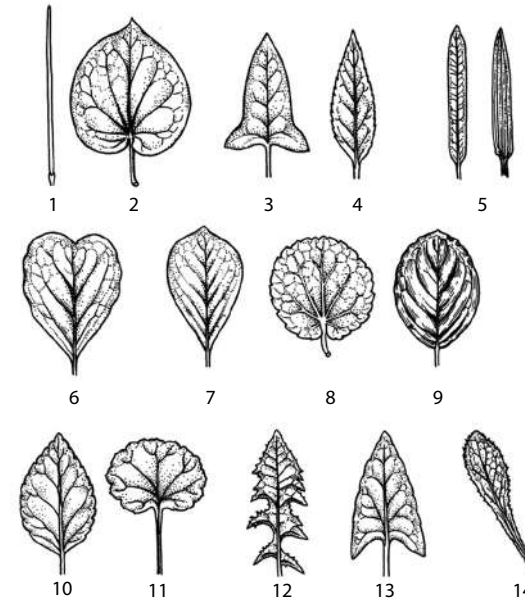


Рис. 4.41. Формы листовых пластинок:
1 — игловидная; 2 — сердцевидная; 3 — стреловидная; 4 — ланцетная; 5 — линейная; 6 — обратносердцевидная; 7 — обратнояйцевидная; 8 — округлая; 9 — овальная; 10 — яйцевидная; 11 — почковидная; 12 — струговидная; 13 — копьевидная; 14 — лопатовидная

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. 4.42). Они имеют существенное значение в определении принадлежности растений к классам покрытосеменных (двудольных и однодольных). От основных жилок листа берут начало более мелкие жилки, соединяющиеся между собой тонкими перемычками.

Окраска, консистенция и другие характеристики листа также существенно варьируют. Если у алоэ лист мясистый, сизоватый, то у кувшинки он тонкий и имеет темно-зеленый цвет. Некоторые листья покрыты опушением, что служит защитой их от избыточного испарения.

Листья бывают крошечными, как у вольфии бескорневой, так и гигантскими многометровыми, как у пальм или виктории амазонской, способной выдерживать массу до 40 кг.

Рис. 4.42. Жилкование листьев:
а — сетчатое;
б — параллельное

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. 4.43).

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

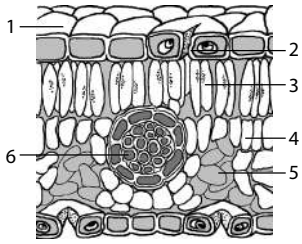


Рис. 4.43. Внутреннее строение листа:
1 — кожица;
2 — устьице;
3 — столбчатые клетки;
4 — губчатые клетки;
5 — межклетники;
6 — жилка

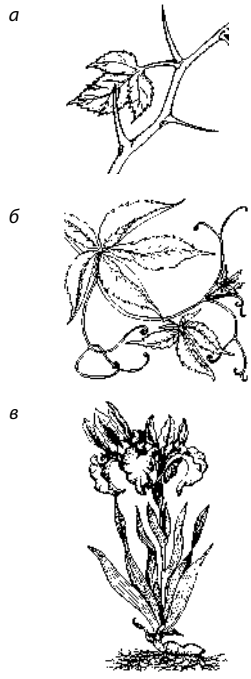


Рис. 4.44. Видоизменения побега:
а — колючки;
б — усики;
в — корневище

функцию фотосинтеза. *Губчатая*, или *рыхлая паренхима*, образует нижнюю часть листа и имеет большие межклетники. Она обеспечивает не только фотосинтез, но и газообмен в листе, в том числе процесс транспирации. По ней также осуществляется транспорт веществ из палисадной паренхимы.

Паренхима пронизана проводящими пучками — *жилками*. По проводящим элементам ксилемы в лист поступают вода и растворенные в ней минеральные соли, а по флоэме происходит отток синтезированных в нем органических веществ в молодые растущие и запасающие органы. Механические элементы придают прочность и упругость листовой пластинке. Таким образом, жилки 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. (рис. 4.44).

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.

Цветок состоит из цветоножки, цветоложа, околоцветника, тычинок и пестиков (рис. 4.45). При этом цветоножка и цветоложе — это видоизмененный стебель, тогда как остальные части цветка — видоизмененные листья.

В зависимости от размещения на побеге цветки делятся на верхушечные и боковые. *Верхушечными* называют цветки, располагающиеся на верхушке побега, а *боковыми* — находящиеся в пазухе листа.

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 прикрепления всех частей цветка, в некоторых случаях оно впоследствии разрастается и образует особую структуру, в которой располагаются плоды, как, например, у шиповника.

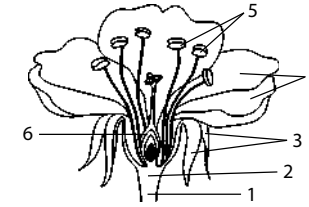


Рис. 4.45. Строение цветка:
1 — цветоножка;
2 — цветоложе;
3 — чашелистики;
4 — лепестки;
5 — тычинки;
6 — пестик

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 (*свободно-* или *раздельнолистная чашечка*) и сросшимися (*сростнолистная чашечка*).

Венчик образован лепестками, как правило ярко окрашен и обеспечивает привлечение опылителей. Если лепестки венчика срослись, то венчик называется *сростно-* или *спайнолепестным*, в противном же случае — *раздельнолепестным*.

Околоцветник, имеющий и чашечку, и венчик, называется *двойным*, а образованный только чашечкой или венчиком — *простым*. Простой околоцветник, представленный зелеными листочками, называется *чашечковидным*, 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.

В зависимости от формы венчики делят на двугубые, мотыльковые, колокольчатые, воронковидные, колесовидные, гвоздевидные, язычковые, трубчатые и др. (рис. 4.46).

В цветках могут быть также специальные железки, волоски и нектарники, выделяющие пахучие вещества — эфирные масла и сладковатую жидкость — нектар, служащие для привлечения опылителей.

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. Повышение влажности приводит к растрескиванию этой оболочки, поэтому большинство растений имеет приспособления для защиты пыльцы в цветке от дождя, как, например, поникание цветка или самих тычинок.

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 со-

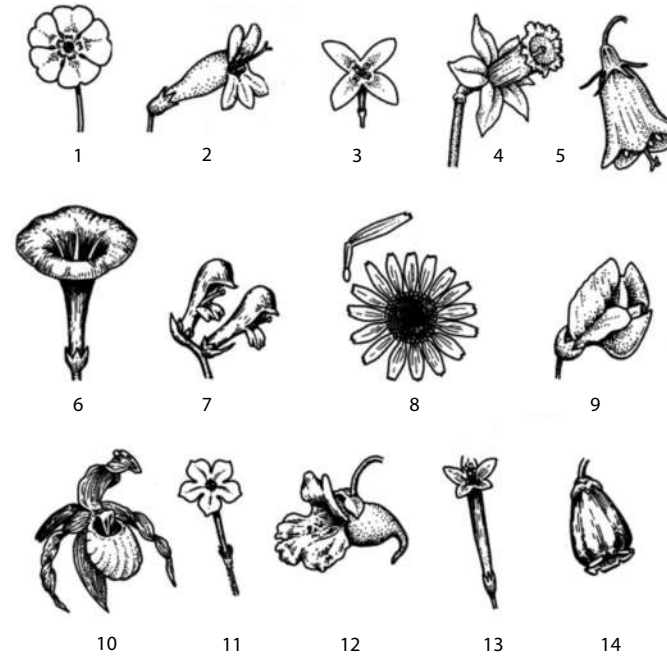


Рис. 4.46. Формы околоцветника (венчика):
1 — колесовидный; 2 — двугубый; 3 — крестовидный; 4 — корончатый;
5 — колокольчатый; 6 — воронковидный; 7 — шлемовидный;
8 — язычковый; 9 — мотыльковый; 10 — мешковидный; 11 — гвоздевидный;
12 — шпорцевый; 13 — трубчатый; 14 — кувшинчатый

держать один или несколько семязачатков, поэтому ее называют одно- или многогнездной. Совокупность пестиков в цветке называется *гинецеем*.

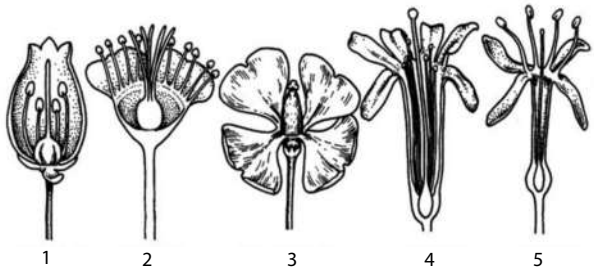


Рис. 4.47. Положение завязи:
1, 2 — верхняя; 3 — полунижняя; 4, 5 — нижняя

Если завязь не срастается с окружающими стерильными частями цветка, а возвышается над цветоложем, ее называют *верхней* (рис. 4.47). Такая завязь присуща бобовым, пасленовым и др. Если происходит полное обрастание завязи элементами околоцветника или цветоложем, что встречается значительно реже, она называется *нижней*, как у тыквенных. Между этими двумя вариантами наблюдается огромное количество промежуточных, которые все вместе получили название *полунижней завязи* (земляника).

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*.

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.

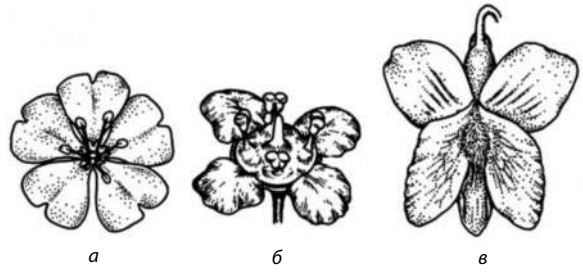


Рис. 4.48. Симметричность цветков:
а, б — правильные; *в* — неправильный

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. Если их можно провести несколько, то цветок называется *правильным*, или *актиноморфным* (капуста, гвоздика, примула), если только одну — это *неправильный*, или *зигоморфный цветок* (горох, соя), а если вообще ни одной — *асимметричный* (валериана лекарственная) (рис. 4.48).

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, ↑ — актиноморфный, ↓ — зигоморфный, ⚡ — асимметричный цветок. 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 генеративного органа (рис. 4.49). Ось соцветия в диаграмме обозначают маленьким кружком сверху, а кроющий лист — серповидной дугой с килем внизу. У верхушечных цветков ось не обозначают. Так же, как и кроющий лист, обозначают прицветники и чашелистики, а лепестки венчика — серповидными дугами, но без киля. Символом тычинок в диаграмме является фигура, напоминающая пыльник или тычиночную нить, а плодолистика — завязь (кроме того, в завязи могут быть обозначены семязачатки). В случае срастания между собой фигуры, обозначающих их на диаграмме, соединяют дугами.

$Ч_5Л_5Т_5П_1$

Рис. 4.49. Диаграмма и формула цветка

Соцветия

Только у немногих растений встречаются одиночные цветки (тюльпан, магнолия, мак), чаще они собраны группами, образующими соцветия (рис. 4.50). *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. Кроме того, цветки в соцветии распускаются не одновременно, что еще больше увеличивает шансы на оплодотворение. Количество цветков в соцветии колеблется от 1–3 (горох) до 6 000 000 (пальма корифа). Длина соцветий может достигать 12 м (пальма калафус).

Соцветия делят на простые и сложные. *Простым* соцветиям свойственна только одна ось соцветия, которая может быть удлиненной или укороченной. К простым соцветиям относят простой колос, початок, кисть, корзинку, щиток, головку, зонтик и др. В простом колосе подорожника многочисленные цветки с едва заметными цветоножками сидят на длинном стебле. В отличие от колоса, в *початке* кукурузы ось соцветия сильно утолщена, а в головке клевера имеет округлые очертания. В *кисти* ландыша майского и капусты огородной цветки расположены на хорошо заметных цветоножках, отходящих от длинного стебля. *Щиток*, характерный для яблони, похож на кисть, однако все его цветки расположены в одной плоскости, хотя цветоножки отходят от оси соцветия в разных местах. *Простой зонтик* лука, первоцвета домашнего действительно похож на зонтик, «спицы»-цветоножки цветков которого расходятся от верхушки побега. *Корзинка* подсолнечника и одуванчика лекарственного похожа на один большой цветок. В ней мелкие цветки располагаются по центру утолщенной и расширенной оси соцветия, и защищены зелеными листьями — *обверткой*.

Рис. 4.50. Типы соцветий

Сложные соцветия образуются из простых вследствие разветвления главной оси соцветия. Из сложных соцветий чаще всего встречаются сложный колос, сложный зонтик, метелка и сережка. В *сложном колосе* пшеницы мягкой и ржи посевной на оси соцветия сидят небольшие простые колоски, состоящие из нескольких цветков. Соцветие *сложный зонтик*, характерное для моркови посевной, укропа огородного и петрушки огородной, образовано несколькими простыми зонтиками, сидящими на укороченной главной оси. *Метелка* отличается обильным ветвлением и более сильным ветвлением нижних соцветий, вследствие чего сложное соцветие приобретает пирамидальную форму (сирень, мятлик, овес). Она может быть образована такими простыми соцветиями, как простой колос, корзинка и т. д.

Вместе с тем имеются и некоторые соцветия, которые могут быть отнесены как к простым, так и к сложным соцветиям. Например, сережка березы рассматривается как среди первых, так и среди вторых. Как простое соцветие сережка определяется как повислый колос с мягкой осью. Она обычно образована однополыми цветками и после цветения опадает (береза, тополь). Нередко встречаются соцветия со столь сложным строением, что бывает порой даже трудно определить, к какому типу его отнести.

Наиболее древним типом соцветия считают кисть, от которой происходят все остальные типы соцветий.

Семя

Семя — генеративный орган растений, служащий для распространения семенных растений; развивается из семязачатка в результате оплодотворения. Размер, форма и окраска зрелых семян различных цветковых растений поражают своим разнообразием. Наиболее крупные семена имеет сейшельская пальма (до 17 кг), а самые мелкие — грушанки, которые по этому параметру опережают даже орхидей. Чаще всего семена имеют округлую форму, реже встречаются вытянутые или уплощенные.

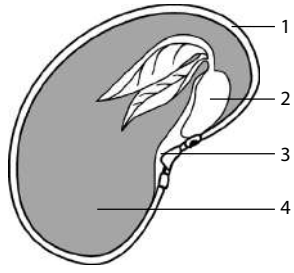


Рис. 4.51. Строение семени бобовых (двудольные):
1 — семенная кожура;
2 — зародышевый стебелек;
3 — зародышевый корешок;
4 — семядоля

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.

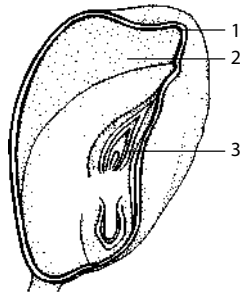


Рис. 4.52. Строение семени злаков (однодольные):
1 — семенная кожура, сросшаяся с околоплодником;
2 — эндосперм;
3 — зародыш

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. 4.51). 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. 4.52). Семядоля зародыша злаков называется *щитком*. Он отделяет зародыш от эндосперма, и в ходе прорастания всасывает из эндосперма питательные вещества, обеспечивая ими зародыш.

Плод

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. 4.53). 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. Так, у пшеницы только один семязачаток и одно семя, у мака — более 1000, а у орхидей — до 1 млн. Масса плодов может быть различной: от менее чем 1 г у пшеницы до 500 и более килограммов у тыквы.

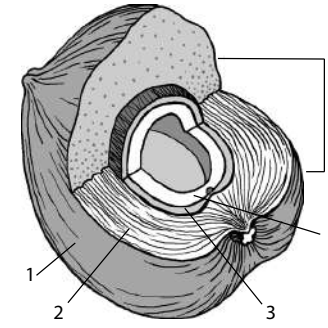


Рис. 4.53. Строение плода:
1 — наружный слой;
2 — средний слой;
3 — внутренний слой;
4 — околоплодник;
5 — семя

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. 4.54).

К сухим относят плоды, все слои околоплодника которых кожистые или деревянистые и плотно срастаются между собой. Они бывают как многосемянными, так и односемянными. В отличие от односемянных плодов, многосемянные сухие плоды как правило являются вскрывающимися. Многосемянными плодами являются листовка, боб, стручок, стручочек и коробочка.

Листовка — это плод, вскрывающийся с одной стороны. Когда он вскрывается, то становится похожим на лист, отсюда и его название. Он характерен для живокости, аконита, калужницы, магнолии и др.

Боб — сухой одно- или многосемянный плод, который одновременно вскрывается и со спинной, и с брюшной стороны, благодаря чему его створки еще и закручиваются, разбрасывая семена, прикрепленные к створкам, в разные стороны, способствуя тем самым их распространению. Такие плоды характерны для семейства бобовых.

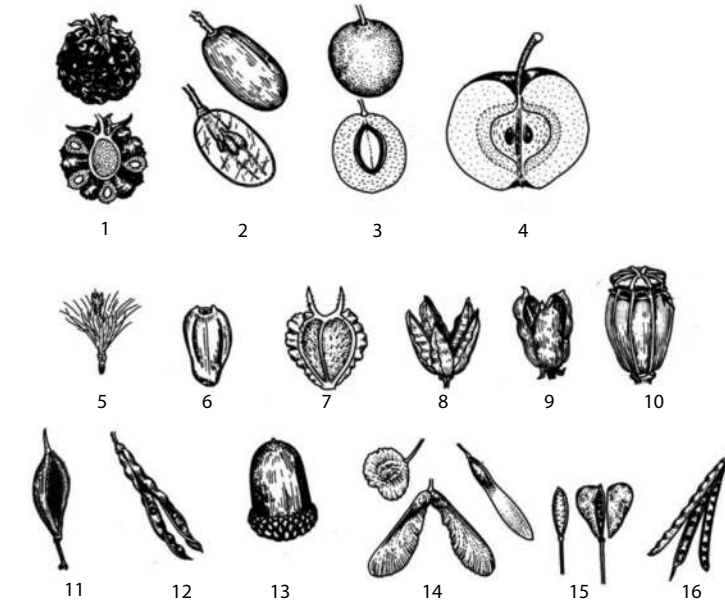


Рис. 4.54. Типы плодов:
1 — многокостянка;
2 — ягода;
3 — костянка;
4 — яблоко;
5–7 — семянки;
8–10 — коробочки;
11 — листовка;
12 — боб;
13 — желудь;
14 — крылатка;
15 — стручочек;
16 — стручок

Стручок — сухой многосемянный плод, внешне похожий на боб, и вскрывающийся также с двух сторон, но имеющий при этом в середине плода перегородку, к которой и прикрепляются семена. Разновидностью стручка является стручочек, отличающийся только пропорциями. Стручок характерен для капусты, редьки, горчицы, маттиолы и др., а стручочек — для пастушьей сумки, ярутки и др.

Коробочка — это сухой одно-, двух- или многогнездный плод, вскрывающийся вследствие неодновременного высыхания клеток стенки плода в процессе его созревания. Вскрытие происходит различными способами, начиная от крышечки и заканчивая полным растрескиванием коробочки. Плод данного типа характерен для мака, белены, гвоздичных, фиалки и др.

Сухие односемянные плоды обычно не вскрываются, к ним относятся орех, орешек, желудь, семянка, зерновка, крылатка.

Орех — это односемянный плод с жестким деревянистым околоплодником, не сросшимся с семенем. Такие плоды у лещины. Мелкие орехи называют орешками, как у гречихи.

Желудь отличается от ореха менее жестким околоплодником, который окружен у основания чашевидной плюской, как у дуба.

Семянка — это односемянный плод с кожистым околоплодником, не прирастающим к семени, например у подсолнечника.

Крылатка — плод, похожий на семянку по плотности околоплодника, но имеющий тонкий крыловидный вырост, способствующий распространению плода. Крылатки характерны для вяза, клена и ясеня.

Зерновка — односемянный плод, околоплодник которого срастается с семенной кожурой, что характерно для злаков.

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.

В *костянке* наружный слой околоплодника тонкий и кожистый, средний — мясистый и сочный, а внутренний — деревянистый, образующий косточку (вишня, слива). Иногда костянки бывают сухими (миндаль, грецкий орех, кокосовая пальма). Костянки односемянны, тогда как многосемянные костянки относятся к сборным плодам.

В *ягодах*, в отличие от костянок, не образуется косточек: многочисленные семена погружены в мясистые средний и внутренний слои околоплодника (крыжовник, смородина, виноград, баклажан).

Тыквина — разновидность ягоды, имеет жесткий наружный слой околоплодника, мясистый средний и сочный внутренний (огурец, тыква, арбуз, дыня).

Яблоко — тип плода, в образовании которого, помимо завязи, принимают участие цветоложе, а также основания чашелистиков, лепестков и нижние части тычинок. Плод имеет сочный и мясистый средний слой околоплодника, тогда как внутренний — твердый и кожистый (яблоня, груша, айва, рябина и др.)

Померанец — многогнездный многосемянный ягодоподобный плод, наружный слой околоплодника которого ярко окрашен и содержит много эфирных масел. Средний слой околоплодника померанца сухой, губчатый и имеет белый цвет. Срастаясь с наружным слоем, он образует кожуру плода, тогда как внутренний слой становится мясистым и сочным (апельсин, лимон, мандарин, грейпфрут, лайм).

Земляничина — это сочный плод, образованный сильно разросшимся цветоложем, на котором располагаются сухие орешки (клубника, земляника).

Сборные плоды формируются из нескольких свободных пестиков одного цветка. К ним относятся сборные костянки малины и ежевики, многоорешки лютика, лапчатки, липы, цинародий розы, в котором отдельные орешки располагаются на внутренней стороне разросшегося цветоложа.

Соплодие представляет собой сросшиеся в единое целое несколько или много плодов, сохранивших структуру соцветия. К ним относятся соплодия свеклы, ананаса, инжира и др.

Основные процессы жизнедеятельности растений

Растениям свойственны все признаки живых организмов, в том числе особенности химического состава, обмен веществ и превращение энергии, гомеостаз, раздражимость, воспроизведение и развитие. Особенности химического состава этих организмов были рассмотрены ранее. К основным процессам обмена веществ и превращения энергии у растений относятся фотосинтез, почвенное (корневое) питание, дыхание и водный обмен.

Фотосинтез

Фотосинтез — это процесс преобразования энергии солнечного света в энергию химических связей органических соединений с помощью хлорофилла. Основным органом фотосинтеза является лист, поэтому его структура наиболее полно должна удовлетворять требованиям этого процесса. Кожица листа прозрачна и пропускает максимальное количество света вовнутрь, а сам орган плоский, что обеспечивает увеличение поверхности улавливания солнечных лучей. Основная ткань листа делится на два слоя: столбчатую и губчатую паренхиму. Именно в столбчатой паренхиме, расположенной сверху, и происходит процесс фотосинтеза, тогда как губчатая паренхима содержит большие межклетники, что способствует процессу газообмена. Углекислый газ проникает в лист через устьица и по межклетникам проникает к фотосинтезирующим клеткам. Вода поступает в лист по проводящим пучкам, которые, разветвляясь, образуют сеть жилок, при этом каждая клетка находится на расстоянии не более чем двух-трех клеток от ближайшей жилки.

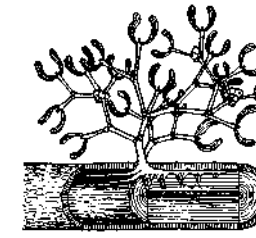


Рис. 4.55. Омела белая

Конечные продукты фотосинтеза — крахмал и сахароза в течение светового дня накапливаются в листе, а ночью переходят в растворимую форму и по флоэме направляются в запасающие органы и к растущим частям растения. Кислород, образовавшийся в процессе фотосинтеза, удаляется через устьица либо используется растением в процессе дыхания.

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 (рис. 4.55). Тем не менее вред, наносимый данными растениями, достаточно велик, поскольку они снижают продуктивность растений-хозяев, например погремок называют молочным вором из-за ухудшения качества травы на пастбище.

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. Как и полупаразиты, для поглощения органических веществ растения-хозяина они проникают в его ткани, особенно проводящую систему, с помощью видоизмененных корней — гаусторий.

Почвенное питание

Растения поглощают воду и минеральные соли из почвы с помощью корня. Совокупность этих процессов носит название *почвенного питания*. Структура корня наилучшим образом приспособлена для осуществления всасывающей функции, поскольку разветвленная корневая система сама по себе имеет достаточно большую протяженность и площадь, и еще больше увеличивается за счет корневых волосков зоны всасывания. Вследствие этого корень может получать минеральные соли со значительной площади.

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 ды-

хания 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.

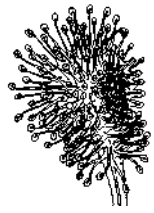


Рис. 4.56. Лист росянки

Растения решают проблему недоступности или полного отсутствия элементов минерального питания различными способами. Одни из них используют для этого симбиоз с грибами — микоризу, другие — с клубеньковыми бактериями или получают их, питаясь насекомыми, как, например, росянка (рис. 4.56) и венерина мухоловка (рис. 4.57).

Росянка — небольшое болотное растение с круглыми листочками, утыканными многочисленными железистыми волосками, на концах которых сверкают капельки выделений. Привлеченное игрой света в капельках насекомое садится на листочек и тут же прилипает к нему. Листочек росянки немедленно сворачивается и выделяемые растением ферменты переваривают жертву, а высвобожденный при этом азот поглощается. Когда листочек разворачивается, ветер сдувает с него только хитиновый панцирь насекомого.

Рис. 4.57. Венерина мухоловка

Химические элементы необходимы растению в различных количествах, поэтому их делят на макроэлементы и микроэлементы. К макроэлементам относятся азот, фосфор, серу, калий, кальций, магний и железо, а микроэлементами являются марганец, бор и другие.

С целью улучшения урожайности сельскохозяйственных культур, которые в немалой степени истощают почву, в нее вносятся минеральные, органические и бактериальные удобрения. Минеральные удобрения содержат только неорганические соединения. По элементам, входящим в их состав, минеральные удобрения делят на азотные, калийные, фосфорные и т. д. Чаще всего в сельском хозяйстве применяются калийная и аммиачная селитры, суперфосфат, аммофос, нитрофоска и др.

При внесении минеральных удобрений следует соблюдать меру, так как их передозировка может привести не только к гибели растений, но и к пищевому отравлению человека, как это случается, например, при превышении содержания нитратов в ранних овощах и арбузах. Во многих странах, например Австралии и Португалии, в настоящее время популярно так называемое «экологическое земледелие», при котором для выращивания сельскохозяйственных культур не применяются минеральные удобрения, гербициды и пестициды. Естественно, что урожайность таких растений несколько ниже, чем у выращенных с подкормкой, и стоят они дороже, но все равно пользуются популярностью, так как не вредны для здоровья человека.

Для нормального роста корня необходимо, чтобы почва была не только питательной, но и имела соответствующую структуру, то есть в ней должны быть промежутки между частицами, по которым легко проникают вода и воздух, обеспечивающий дыхание корня. Почва в основном состоит из минеральных частиц — песка, глины и др., а также компонента органического происхождения — гумуса, который представляет собой переработанные различными организмами растительные остатки. Гумус способствует склеиванию минеральных частиц в гранулы, между которыми есть промежутки. Для улучшения структуры почвы следует вносить в него органические удобрения (навоз, перегной, торф и др.), которые в некоторой степени способствуют возврату части изъятых минеральных солей. Почву также следует регулярно вспушивать.

Изучение жизнедеятельности растений дало человеку возможность разработать технологии выращивания растений без почвы: гидропонику и аэропонику. У *гидропонных культур* корни растений погружены в питательный раствор, в котором может и не быть искусственной почвы в виде синтетических камешков или волокон, однако при этом все равно раствор продувается воздухом для обеспечения дыхания. Наибольшим растением, выращенным на гидропонной культуре, был куст помидора, несущий несколько сотен плодов (Япония).

Аэропоника — это способ выращивания растений в воздухе, когда корни периодически опрыскиваются питательным раствором. Так выращивают салат, капусту и некоторые другие овощные культуры в Южной Корее и Японии, где существует дефицит земли.

Дыхание

Дыхание является характерным для всех живых организмов процессом высвобождения энергии химических связей органических соединений, при котором происходит их окисление до углекислого газа и воды. Несмотря на способность к фотосинтезу, растения не составляют исключения из общего правила, и 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. Для нормального протекания этого процесса кислород должен проникать между частичками почвы, поэтому на излишне утрамбованных или залитых водой участках растения испытывают недостаток кислорода, хуже растут и даже погибают.

Поскольку у растений, в отличие от животных, отсутствует система активной вентиляции организма (дыхательная система), кислород к органам поступает по системе межклетников. В листья и другие фотосинтезирующие органы растения он проникает через открытые устьица, а в покрытые пробкой органы — через чечевички.

У водных и околоводных растений в связи с недостатком кислорода межклетники увеличиваются и образуют специальную воздухоносную ткань, как в стеблях хвощей, черешках и листовых пластинках кувшинок (рис. 4.58).

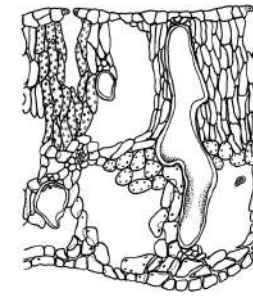


Рис. 4.58. Лист кувшинки

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. Например, скромная среднеазиатская фисташка за вегетационный сезон использует приблизительно железнодорожную цистерну воды, не слишком отстает от нее и наша береза, испаряющая около 30 т воды. Тем не менее, эта вода не задерживается в растении, она проходит через него, поглощаемая корнем и испаряемая в основном листьями.

Вода поглощается большей частью корневыми волосками и через первичную кору корня поступает в центральный цилиндр, клетки которого содержат соли в более высокой концентрации, чем в окружающей среде. В результате давление клеточного раствора в них выше, и поток воды направлен к ним. Эти клетки постоянно выдавливают воду в сосуды ксилемы, поднимая ее уровень. Данное явление называется *корневым давлением*. Его можно продемонстрировать, если ранним утром срезать какое-либо травянистое растение, например крапиву, и надеть на него трубку, в которой со временем поднимется столб жидкости.

Корневое давление способно поднять столб жидкости на несколько метров, но не на такую высоту, как требуется стометровым эвкалиптам и секвойям. Дальнейшее движение воды по растению осуществляется благодаря ее испарению листьями через устьица — *транспирации*, так как при этом образуется разрежение и вода как бы подсасывается. Обнаружить транспирацию можно, если накрыть растение холодным стеклянным колпаком — он быстро запотеет.

Водный обмен тесно связан с фотосинтезом, почвенным питанием, дыханием и другими процессами жизнедеятельности, поскольку вода необходима для фотосинтеза, с током воды передвигаются по ксилеме растворенные минеральные соли, а по флоэме — растворенные органические вещества. Если восходящий ток воды и минеральных солей обеспечивают корневое давление и транспирация, то нисходящий ток органических веществ — сила земного тяготения. Загружа-

ются органические вещества в ситовидные трубки флоэмы с помощью клеток-спутниц. Транспорт веществ в радиальном направлении осуществляется паренхимными клетками сердцевинных лучей, обеспечивая тем самым надежное соединение между частями стебля.

Естественно, что дефицит воды приводит сначала к подавлению этих процессов, 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. Способность растений восстанавливать весь организм из его части называется *регенерацией*. В настоящее время различают естественное и искусственное вегетативное размножения.

Естественное вегетативное размножение осуществляется с помощью корневищ, луковиц, клубней, корневых отпрысков, усов, выводковых почек и луковичек, а также черенками. Так, у пырея ползучего на корневищах образуется до 25 млн почек на 1 га, что делает его в принципе неистребимым сорняком. С помощью усов, или столонов, размножается земляника (рис. 4.59), а у бриофиллума есть даже специализированные органы вегетативного размножения — выводковые почки по краям листа, которые развиваются в маленькие растеньица с листочками и корешками прямо на материнском организме (рис. 4.60). Похожие приспособления, но только в виде луковичек имеются у мятлика луковичного и лилии тигровой.

В практике растениеводства широко распространено *искусственное* вегетативное размножение, позволяющее сохранить у потомков хозяйственно ценные признаки, которые могли бы быть утрачены при семенном размножении. К тому же оно дает возможность существенно сократить сроки получения искомого результата, например, при семенном размножении цитрусовые начинают плодоносить через 15–20 лет, а при черенковании — уже через 3 года. 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).

Рис. 4.59. Вегетативное размножение земляники

Рис. 4.60. Выводковые почки бриофиллума

Рис. 4.61. Прививка в расщеп

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. 4.61), прививка в приклад, окулировка, копулировка и др. Многие сорта бессемянных растений размножаются исключительно таким способом (мандарин, апельсин, инжир и др.).

В растениеводстве для искусственного размножения также используют видоизменения побегов и корней, например корневища ириса и ландыша, клубни картофеля, луковицы тюльпана и лука репчатого, усы земляники, корневые клубни георгина.

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. Успехи этого вида искусственного размножения связаны, прежде всего, с развитием биотехнологии и возможностью выращивания целостного организма на искусственной питательной среде в культуре клеток и тканей.

Половое размножение

Половое размножение происходит с образованием половых клеток — гамет — и последующим оплодотворением. Пыльцевое зерно у цветковых растений представляет собой сильно редуцированный мужской гаметофит, содержащий две клетки: *вегетативную* и *генеративную*. Генеративная клетка после созревания пыльцевого зерна делится на две мужские половые клетки — *спермия*. Особенностью спермиев цветковых и голосеменных растений является их неспособность к активному передвижению.

Женские половые клетки растений — *яйцеклетки* — формируются внутри семязачатков. *Семязачаток* — это многоклеточное образование семенных растений, из которого затем сформируется семя. Он покрыт плотными покровами — *интегументом* — со специальным отверстием — *пыльцевходом*, или *микропиле*. В семязачатке формируется редуцированный женский гаметофит — *зародышевый мешок*, образованный шестью гаплоидными (яйцеклеткой, синергидами и антиподами) и одной диплоидной (центральной) клетками. Прямо у пыльцевхода обычно лежат *яйцеклетка* и сопровождающие ее две *синергиды*. Функция синергид состоит в том, чтобы выделять химические вещества, на которые ориентируется прорастающая пыльцевая трубка. На противоположном полюсе зародышевого мешка располагаются три *антипода*, тогда как *центральная клетка* находится посередине клетки.

Опыление

Оплодотворению у цветковых растений предшествует *опыление* — процесс переноса пыльцы с пыльников на рыльце пестика. 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 может происходить как в открытых цветках, так и в закрытых. Оно имеет важное биологическое значение, поскольку в таком случае оплодотворение гарантировано, и, к тому же, формируются генетически однородные популяции растений, которые могут успешно расселяться. Самоопыление широко используется в селекции культурных растений. Однако самоопыление часто ограничивает приспособляемость растений к условиям окружающей среды и поэтому не способствует процветанию вида. В связи с этим у многих растений существуют препятствия для самоопыления, которые заключаются в разновременности созревания тычинок и пестиков, их различной длине и наличии механизмов самонесовместимости, когда собственная пыльца не прорастает на рыльце пестика. Однако самым надежным механизмом ограничения самоопыления является двудомность.

При *перекрестном* опылении новый организм обогащается наследственной информацией отцовского организма, что, безусловно, благоприятно сказывается на его приспособляемости к усло-

виям окружающей среды. Перекрестное опыление может осуществляться как с помощью факторов неживой природы, так и живыми организмами.

Перенос пыльцы происходит при помощи ветра (анемогамия, анемофилия) и воды (гидрогамия, гидрофилия). Ветроопыляемых растений среди покрытосеменных немало. Ветром опыляются почти все 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. Так, в одной сережке орешника может быть около 4 млн пылинок, а в соцветии кукурузы — еще больше. Многие ветроопыляемые растения цветут вообще до появления листьев, как, например, береза и орешник. Гидрофилия в основном присуща растениям, целиком погруженным в воду (роголистник, стрелолист и др.). Их цветки имеют длинные нитевидные пыльники, а их пыльца лишена оболочки, защищающей от высыхания (рис. 4.62).

Рис. 4.62. Ветроопыляемые цветки

Опыление при помощи животных в основном производится муравьями (мирмекофилия, мирмекогамия), другими насекомыми (энтомофилия, энтомогамия), птицами (орнитофилия, орнитогамия) и т. д. Однако в основном пыльцу переносят все же насекомые (до 70 % покрытосеменных растений) (рис. 4.63). Отличительным признаком цветков, опыляемых насекомыми и птицами, являются ярко окрашенные околоцветники, благодаря которым они еще издали заметны для опылителей, но и зачастую выделяют нектар, привлекающий их. У многих растений этой группы цветки собраны в соцветия. Приспособление к опылению насекомыми зашло у многих растений настолько далеко, что они не способны даже плодоносить без опыления. Например, в Австралии, куда завезли клевер, не было таких насекомых, которые могли бы опылять его, и только завоз шмелей из Европы способствовал выращиванию этой культуры. Пчелы превращают собранный нектар в запасное вещество — мед, который используется в качестве лечебного средства. Чтобы собрать 1 г меда, пчела должна посетить свыше 7 млн цветков. Важными медоносными растениями в Украине являются белая акация, липа, гречиха. Опыление птицами свойственно растениям тропиков. Это большей частью ярко окрашенные орхидеи, канны, фуксии и др., образующие много нектара. К ним за нектаром прилетают колибри, нектарницы, медососы и другие птицы, которые не садятся на цветок, а парят возле него, высасывая нектар. При этом пыльца приклеивается к их головкам.

Рис. 4.63. Насекомоопыляемый цветок

Кроме естественных способов опыления существует также и искусственное опыление, которое применяется человеком для выведения новых сортов культурных растений и повышения урожайности перекрестноопыляемых растений. Например, ранее в посевах подсолнечника ходили люди в специальных рукавицах, которыми слегка хлопали по раскрывшимся корзинкам. Особую роль искусственное опыление играет при неблагоприятных погодных условиях (пониженные температуры, высокая влажность), когда естественное опыление насекомыми или ветром затруднено.

Двойное оплодотворение

Оплодотворение у покрытосеменных отличается от всех остальных растений, так как оно является двойным. Этот процесс был открыт в 1898 году русским ученым С. Г. Навашиным, работавшим в Киевском императорском университете Св. Владимира.

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. 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. 4.64).

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. В некоторых случаях питательные вещества полностью расходуются в процессе образования семени и поэтому семя лишено их, как, например, у многих орхидей. В таких случаях для прорастания семени необходимо наличие гиф симбиотического гриба.

Превращение семязачатка в семя происходит на материнском растении за счет его питательных веществ. Созревшие семена, содержащие в себе зародыши и запасы питательных веществ для их развития, могут долгое время находиться в состоянии покоя, то есть не прорастать в течение ряда лет. Рекорд хранения семян принадлежит семенам лотоса, пролежавшим на дне болота более 10 тыс. лет, а также еще более древним семенам люпина, найденным в Канаде. Это дает им существенное преимущество перед спорами, которые должны прорастать сразу после высыпания, и гибнут, если условия для их развития неблагоприятны. Покой семян может быть глубоким или неглубоким.

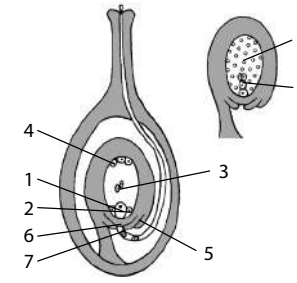


Рис. 4.64. Двойное оплодотворение:
1 — яйцеклетка;
2 — синергида;
3 — центральная клетка;
4 — антиподы;
5 — интегументы;
6 — пыльцевход;
7 — пыльцевая трубка со спермиями;
8 — зародыш;
9 — вторичный эндосперм

Однако есть некоторые растения, у которых семена прорастают прямо на материнском растении, что зачастую имеет приспособительное значение. Это происходит, например, у растения мангровых зарослей — ризофоры, вследствие чего опадающий плод втыкается корнем в ил под деревом и закрепляется, не будучи подхваченным приливом. Но у культурных растений такое прорастание считается существенным недостатком, так как портит урожай. Ранее такое случалось с рожью в дождливые и теплые годы, что грозило голодом. В наше время это бывает у некоторых сортов кукурузы.

Распространение семян и плодов

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.

Способность растений самостоятельно распространять плоды и семена называется *автохорией*. К автохорным относятся те растения, плоды которых, вскрываясь, разбрасывают семена на значительное расстояние (желтая акация, недотрога, люпин, герань, фиалка, бешеный огурец).

Распространение плодов и семян ветром называется *анемохорией*. Это наиболее распространенный способ расселения растений. У анемохорных растений плоды и семена имеют специальные приспособления для распространения: хохолки, волоски, парашютики и др. (рис. 4.65). Кроме того, сами семена и плоды этих растений очень легкие (береза, ива, тополь, вяз, клен и др.).

Гидрохория — это распространение семян и плодов при помощи воды. Она свойственна в основном водно-болотным растениям, в том числе камышам, осокам, кувшинкам, роголистникам и др.

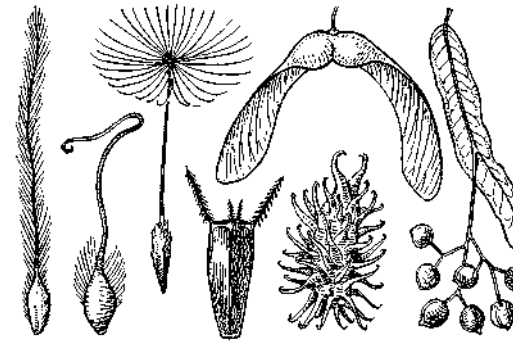


Рис. 4.65. Приспособления семян для распространения их ветром

Довольно часто в природе встречаются *орнитохория* (распространение плодов и семян птицами) и *зоохория* (распространение плодов и семян другими животными). Она в основном характерна для растений с сочными плодами, например, омелы белой, рябины, вишни. Нередко таким способом распространяются и растения, плоды которых имеют крючки, прицепки, липкие вещества, как у череды, лопуха, дурнишника.

В XX веке значительное влияние на расселение растений стал оказывать человек. Такой способ расселения растений называется *антропохорией*. Плоды и семена многих растений преодолевают значительные расстояния вместе с транспортом, товарами и продуктами, перевозимыми человеком, часто с одного континента на другой. Если на новом месте условия благоприятны для развития растений, то они могут становиться злостными сорняками, такими как галинсога, портулак и др. Но есть среди них и такие, которые не являются сорняками, а наоборот, приносят ощутимую пользу (аир).

Развитие растительного организма

Процесс индивидуального развития — *онтогенез* — у цветковых растений делится на четыре периода: эмбриональный, вегетативный, генеративный и период старения (рис. 4.66). *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 не способны 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 понижен-

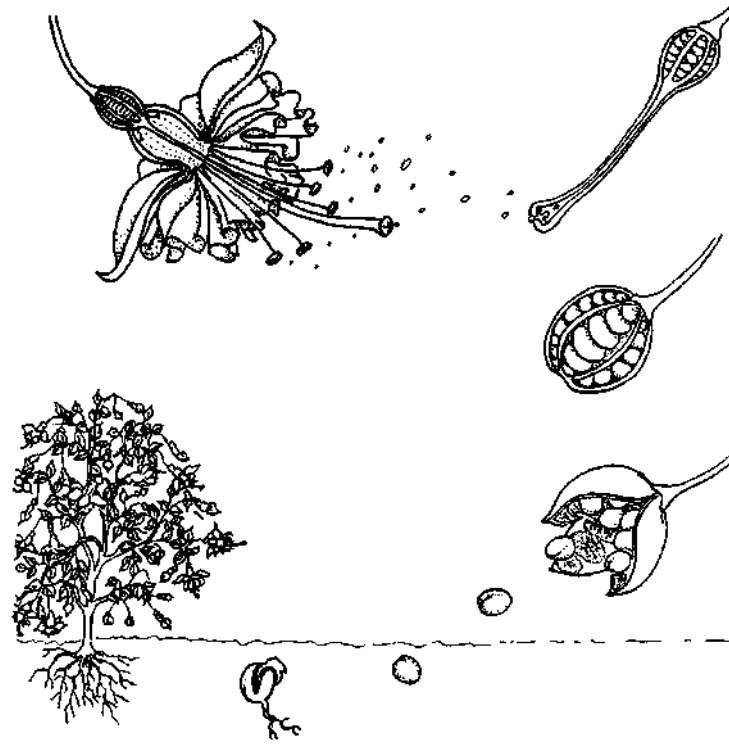


Рис. 4.66. Жизненный цикл типичного двудольного растения

ной 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 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. 4.67), а другие оставляют их под землей (рис. 4.68). Двудольные выходят на поверхность петелькой зародышевого стебелька, а злаки пробивают толщу земли первичным листочком — *колеоптилем*.

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.

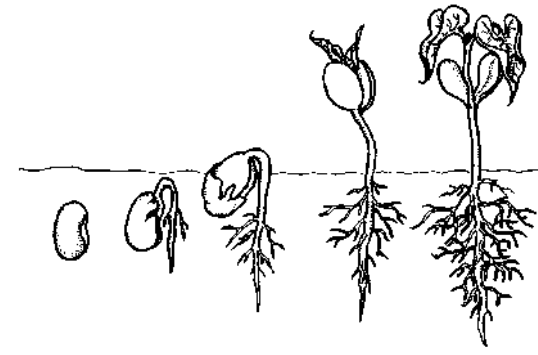


Рис. 4.67. Прорастание семени фасоли

В дальнейшем происходит 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. Растения северных широт в основном являются длиннодневными (овес, ячмень, горчица), а южные — короткодневными (хризантема, астра, соя), хотя встречаются и нейтральнодневные растения.

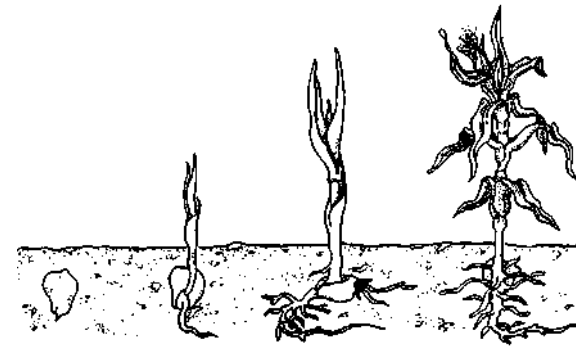


Рис. 4.68. Прорастание семени кукурузы

Переход растений к цветению вследствие действия пониженной температуры называется *яровизацией*. Пониженная температура необходима многим растениям умеренного климата, в том числе и озимой пшенице, которую сеют под зиму для того, чтобы она прошла процесс яровизации.

При благоприятных условиях у растений закладываются цветочные почки, и они переходят к цветению и плодоношению. Однолетние и двулетние растения в основном плодоносят только один раз, а многолетние чаще всего способны делать это неоднократно.

Период старения начинается после того, как растение завершило последнее плодоношение и уже не способно 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.

Наряду с закономерными процессами старения целостного организма часть клеток и органов растений обновляется постоянно, что связано как с процессами нормального функционирования этих органов, так и с действием внешних факторов (формирование проводящих и механических тканей, листопад). Часть клеток растений — мертвые (клетки ксилемы, склеренхимы) или утрачивают часть органелл для выполнения своих нормальных функций (флоэма).

Интенсивные процессы жизнедеятельности, постоянно протекающие в листьях, приводят к их быстрому старению и отмиранию. В умеренном климате листья живут в основном один сезон, тогда как в тропиках, субтропиках и на экваторе лист может оставаться на растении до 25 лет, а иногда и всю жизнь, как у вельвичии удивительной. Перед отмиранием из листа оттекают все органические и минеральные вещества, которые можно изъять, разрушается хлорофилл, и становятся заметными каротиноиды или антоцианы, вследствие чего лист приобретает желтую или красную окраску. В клетках основания листа запускаются процессы клеточной смерти, образуется так называемый отделительный слой, клетки которого отделяются друг от друга и лист как бы повисает только на проводящем пучке. Под собственным весом или при порыве ветра лист обламывается, и в узле остается только листовой след. Опадание листьев у растений умеренного пояса имеет и приспособительное значение, так как защищает организм от избыточного испарения в зимний период.

Раздражимость

Способность воспринимать изменения в окружающей среде является неотъемлемым свойством живых организмов, поскольку позволяет своевременно реагировать на эти изменения полезными для себя действиями. Если животные могут избежать действия неблагоприятных факторов благодаря способности к активному передвижению, то большинство растений лишены этой возможности вследствие прикрепленного способа жизни. Тем не менее они также реагируют на изменения в окружающей среде, но эта реакция заключается в основном в защитной перестройке обмена веществ и в ростовых движениях.

Сильнодействующие факторы среды вызывают у растений угнетение фотосинтеза и других синтетических процессов, быстро закрываются устьица для предотвращения потери воды, подавляется поглощение элементов минерального питания и их передвижение по растению, прекращаются рост и развитие растения. Сложные органические соединения распадаются до более простых для удержания воды в клетках, на короткое время усиливаются процессы распада, для обеспечения организма энергией в этот сложный период активируется дыхание. Однако данный период продолжается недолго и вскоре растение впадает как бы в оцепенение, выжидая наступления более благоприятных условий. Если же изменения в окружающей среде не наступают или действие фактора, вызвавшего столь острую реакцию растения, ослабевает, организм начинает приспосабливаться к новой для себя ситуации, постепенно восстанавливая нормальную жизнедеятельность. Вся совокупность ответных реакций растения на изменение условий среды, как и у животных, называется *стрессом*. Лишь очень жесткие и длительно действующие факторы способны привести к гибели чрезвычайно выносливых растительных организмов.

Рис. 4.69. Фототропизм

Растения способны реагировать и на менее слабые, 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 реак-

ция 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. 4.69). Изменение освещенности вызывает открывание и закрывание цветков некоторых растений (картофеля) и изменение положения листьев (белая акация, кислица).

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. 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.

Усики цепляющихся растений (винограда, тыквенных, гороха) демонстрируют удивительную способность реагировать на малейшее прикосновение — они тут же начинают обвивать даже самую непрочную опору. На прикосновение реагирует и мимоза стыдливая (рис. 4.70), мгновенно опускающая и складывающая листочки. Не меньшей чувствительностью обладают насекомоядные растения, захлопывающие листья, как только на них сядет микроскопическое насекомое.

Рис. 4.70. Мимоза стыдливая

Большая часть описанных движений растений являются ростовыми, поскольку изменение направления роста части растения, открывание-закрывание цветков и опускание-поднимание листьев — это следствие более быстрого удлинения верхней или нижней, правой или левой стороны стебля, листа, корня растения.

Целостность растительного организма

Каждый орган растения выполняет строго определенные функции, однако нуждается при этом и в получении от других органов определенных веществ. Например, корень обеспечивает остальные части растения водой и минеральными солями, а побег — органическими веществами. Сложность процессов, происходящих в растительном организме, требует тонкой координации. Она осуществляется благодаря возникновению и передаче биоэлектрических импульсов, функционированию фитогормональной системы.

При освещении растения, прикосновении к листу мимозы стыдливой, посадке на лист насекомоядного растения новой жертвы в растении возникает электрический ток, похожий на нервный импульс у животных. Он быстро передается во все части растения по паренхиме проводящих пучков, вследствие чего в организме запускаются первичные защитные механизмы и подключается гормональная система.

Фитогормоны — это биологически активные вещества, способные вызывать ответные реакции в крайне малых концентрациях. В отличие от гормонов животных, они синтезируются не в специализированных эндокринных железах, а в различных частях растения, например, в точках роста корня и побега, и способны передвигаться по организму. Фитогормоны оказывают влияние на все процессы жизнедеятельности растительного организма, в том числе на фотосинтез, синтез белка, дыхание и т. д. Под действием факторов окружающей среды их концентрация в тканях растения может существенно изменяться, что приводит к запуску или приостановке каких-либо процессов.

У растений существуют и иные способы регуляции процессов жизнедеятельности, обеспечивающие их функционирование как целостных организмов.

4.5. Многообразие растений. Основные отделы растений. Классы покрытосеменных, роль растений в природе и жизни человека

Многообразие растений

Растения распространены на Земле повсеместно, от экватора до Арктики и Антарктиды. Их можно встретить на глубине 300 м в водах Мирового океана и на высоте до 5000 м и выше. Они способны жить во льдах при отрицательных температурах, как хламидомонада снежная, и в водах кипящих гейзеров. В настоящее время к царству растений относят около 400 тыс. видов организмов, поражающих своим разнообразием: помимо привычных зеленых растений, к ним принадлежат бесцветное цветковое растение-паразит подъельник и почти черная водоросль батрахоспермум, микроскопические хлореллы и гигантские секвойи. Даже по размерам цветков в растительном мире нет единообразия: к ним относятся вольфии с цветком размером с булавочную головку и раффлезии, диаметр цветков которых достигает 1 м.

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. 4.71.

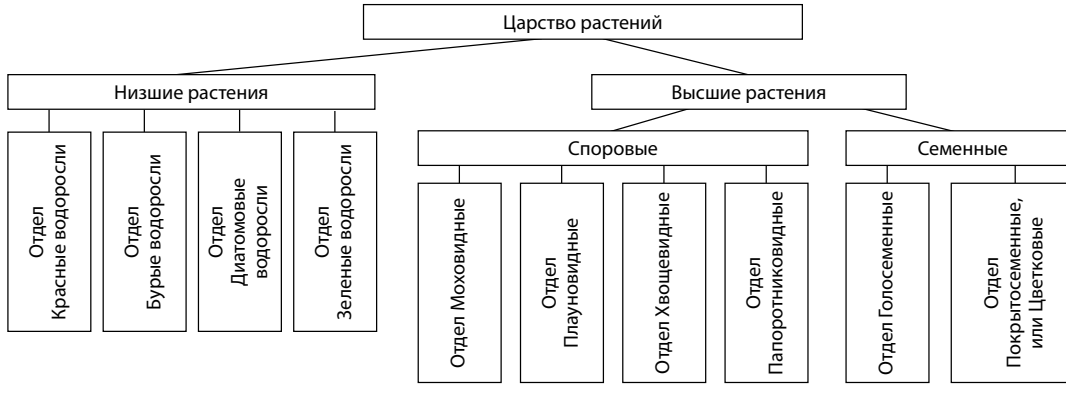


Рис. 4.71. Классификация растений

Основные отделы растений

Низшие растения

Низшие растения являются наиболее древней группой растений на Земле, объединяющей как одно-, так и многоклеточные водоросли. Слово «водоросль» подразумевает, что растение растет в воде, однако не всякое водное растение является водорослью. Например, хорошо известные кувшинки, роголистник и другие — это высшие растения, освоившие водную среду. 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. Если к *планктону* относят живые существа, обитающие в толще воды, то *бентос* представляет собой совокупность живых организмов, живущих на дне водоемов или на значительной глубине.

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). Все водоросли содержат хлорофилл, но у многих он маскируется другими пигментами, например каротиноидами или фикобилинами, которые и придают телу водоросли специфическую окраску. Хлорофилл находится у водорослей в хлоропластах, которые отличаются как по форме, так и количеством. Клеточная оболочка у них целлюлозная, но у некоторых представителей покрывается слизью или минерализуется, то есть в ней откладываются минеральные соли. По строению таллом бывает одноклеточным, колониальным или многоклеточным. Многоклеточные талломы бывают нитчатыми, кустистыми и пластинчатыми.

Размножаются водоросли бесполым, вегетативным и половым способами. При *бесполом* размножении 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. Споры образуются в клетках, не отличающихся по форме от других клеток, или в особых клетках-спорангиях, которые могут иметь иную форму и величину, чем вегетативные.

При *вегетативном* размножении новые особи возникают из обрывков нитей и кусков слоевищ многоклеточных водорослей, а также при распаде колоний и делении одноклеточных представителей надвое. Иногда для такого размножения существуют специальные образования.

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*.

Следует отметить, что у одних водорослей споры и гаметы образуются на одном растении, тогда как у других органы бесполого и полового размножения развиваются у особей разных поколений.

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 водных растений, наиболее изученными из которых являются красные, бурые, зеленые и диатомовые водоросли.

Отдел Красные водоросли, или Багрянки

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, так как они были обнаружены на глубине 268 м в районе Багамских островов, где освещенность составляет около 0,0005 % ее значения у поверхности моря. Основное запасное вещество красных водорослей — багрянковый крахмал. Размножаются багрянки бесполым, вегетативным и половым способами, при этом даже 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.

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 йод, бром, заменители крови и лекарственные препараты, препятствующие свертыванию крови. Огромное значение имеют родимения и порфира, служащие источниками агар-агара, используемого в микробиологической промышленности и биотехнологии для изготовления питательных сред, а также в пищевой, бумажной и текстильной промышленностях. В Японии, Украине и других странах порфиру даже культивируют.

Отдел Бурые водоросли

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.

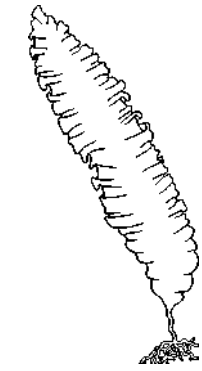


Рис. 4.72. Ламинария

К данному отделу принадлежат ламинария (рис. 4.72), фукус пузырчатый (рис. 4.73), саргассум и макроцистис (рис. 4.74).

Ламинария, или «морская капуста» — бурая водоросль с талломом, на котором пластинчатые «листья» прикрепляются к простому или разветвленному «стволу». Длина некоторых ламинарий может достигать до 20 м. Она накапливает значительное количество питательных веществ и йода, поэтому во многих странах ее употребляют в пищу и даже разводят искусственно.

Рис. 4.73. Фукус

Фукус пузырчатый — крупная бурая водоросль до 70 см в длину, заросли которой покрывают сплошным ковром дно в прибрежной зоне северных морей (Белого, Баренцева, Охотского). На концах слоевища заметны своеобразные вздутия, которые помогают ему удерживаться на плаву. Эти вздутия лопаются под ногами, если идти по ним во время отлива.

Саргассум — род многолетних морских водорослей длиной до 1 м, которые, отрываясь от субстрата в Мексиканском заливе, образуют сплошные скопления в Саргассовом море, названном в их честь.

Бурые водоросли играют крайне важную роль в морских экосистемах, так как являются важнейшим поставщиком органического вещества и дают приют настолько многим видам организмов, что великий английский биолог Ч. Дарвин сравнивал подводные леса Южного полушария с наземными лесами тропических областей и считал, что уничтожение леса в какой-либо стране привело бы к гибели значительно меньшего числа видов животных, чем уничтожение водорослей. Бурые водоросли широко используются в пищу, для изготовления лекарственных препаратов, получения йода и т. д.

Рис. 4.74. Макроцистис

Отдел Диатомовые водоросли

Отдел Диатомовые водоросли объединяет около 20 тыс. видов одноклеточных и колониальных организмов, имеющих кремнеземный панцирь. Размеры тела диатомовых водорослей крайне не-

значительны — в среднем около 0,02–0,05 мм. Панцирь имеет две створки: верхнюю и нижнюю. Окраска их обычно грязно-желтая, что обусловлено наличием дополнительных пигментов фотосинтеза — каротиноидов, маскирующих хлорофилл. Основным запасным веществом диатомовых водорослей являются полисахариды хризоламинарин и волютин, 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.

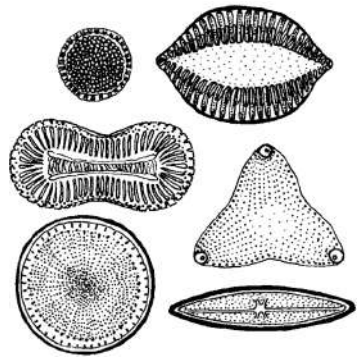


Рис. 4.75. Типы панцирей диатомовых водорослей

Диатомовые водоросли играют важную роль в водных экосистемах, поскольку служат основным кормом для значительного количества водных организмов, в том числе молодняка многих рыб. По питательной ценности они не уступают пищевым растениям. Отмирая, эти водоросли опускаются на дно и служат пищей для бактерий и простейших. Они также имеют исключительное значение в осадконакоплении, образуя диатомовые илы. Так, осадочная порода диатомит состоит на 50–80 % из их панцирей, что способствует ее использованию в качестве абразивного и поглощающего материала, а также фильтра (рис. 4.75). Панцири диатомовых водорослей 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

К отделу Зеленые водоросли относят 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 заселили все возможные экологические ниши: соленые и пресные водоемы, почву, камни, ледники, гейзеры и пр.

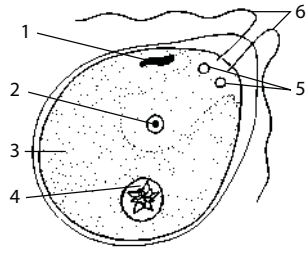


Рис. 4.76. Хламидомонада:
1 — «глазок»;
2 — ядро;
3 — хлоропласт;
4 — пиреноид;
5 — сократительные вакуоли;
6 — жгутики

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. 4.76). 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. При бесполом размножении в результате двух митотических делений клетки образуются четыре подвижные зооспоры, служащие для расселения (рис. 4.77). Половое

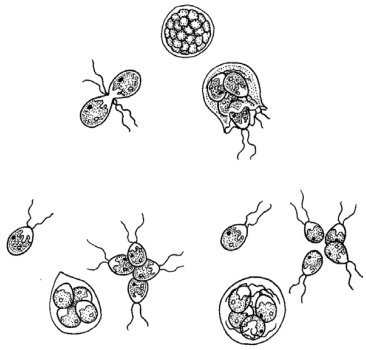


Рис. 4.77. Жизненный цикл хламидомонады

размножение сопровождается формированием в материнских клетках похожих на зооспоры гамет со жгутиками, которые затем сливаются. Из зиготы хламидомонад в результате мейоза образуется сразу четыре гаплоидных дочерних особи. Хламидомонады широко используются в лабораторных исследованиях.

Вольвокс — колониальная зеленая водоросль сферической формы (рис. 4.78). Ее клетки расположены в один слой, а внутреннее пространство колонии заполнено слизью. Клетки вольвокса соединены между собой цитоплазматическими мостиками и делятся на две группы: вегетативные и генеративные. Вегетативные клетки похожи по строению на клетки хламидомонады, они осуществляют процесс фотосинтеза, но не могут принимать участия в размножении, тогда как генеративные клетки выполняют только эту функцию. Вольвоксы размножаются вегетативным и половым способами. При вегетативном размножении генеративная клетка делится несколько раз с образованием дочерней колонии, которая затем выпадает вовнутрь материнской и освобождается только после ее гибели. При половом размножении в других генеративных клетках формируются гаметы, сливающиеся с образованием зиготы. В зиготе образуется одна зооспора, которая после многократных делений превращается в новую колонию. Обитает вольвокс в пресных водоемах.

Хлорелла — одноклеточная пресноводная водоросль, клетка которой имеет сферическую форму. Хлореллы встречаются в пресных и морских водоемах, на коре деревьев, в почве и других влажных местах обитания. Размножение хлорелл осуществляется бесполым способом. Благодаря высокой эффективности использования солнечного света (до 12 %), накоплению белка и быстрому росту культуры они используются в лабораторных исследованиях и для обеспечения жизнедеятельности экипажей космических станций и подводных лодок.

Спирогира — многоклеточная нитчатая пресноводная водоросль, спирально уложенные хлоропласты которой имеют лентовидную форму (рис. 4.79). Размножается спирогира вегетативно и половым способом. Вегетативное размножение осуществляется путем разрыва нитей; половой процесс называется конъюгацией. 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. 4.80). Прорастание зиготы сопровождается последовательными делениями, в результате которых развивается новая особь.

Улотрикс — небольшая (до 10 см) многоклеточная нитчатая водоросль, образующая сплошные дерновины на подводных предметах в реках и ручьях. Неразветвленные слоевища улотрикса прикрепляются к субстрату с помощью вытянутой клетки — ризоида. Хлоропласты водоросли имеют подковообразную форму. Улотрикс размножается вегетативно, бесполым или половым способами (рис. 4.81). При вегетативном размножении нить улотрикса распадается на несколько частей, каждая из которых дает начало новому организму. Бесполое размножение осуществляется с помощью зооспор. При половом размножении в клетках слоевища образуются гаметы, снабженные жгутиками.

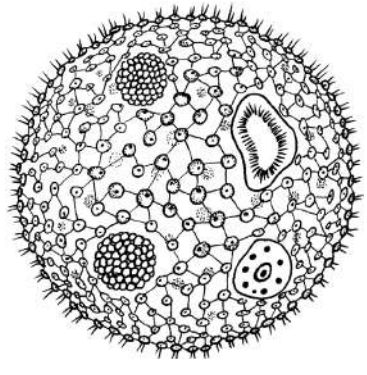


Рис. 4.78. Вольвокс

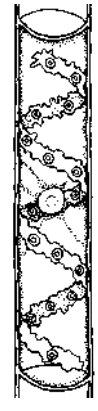


Рис. 4.79. Спирогира

Рис. 4.80. Конъюгация у спирогиры

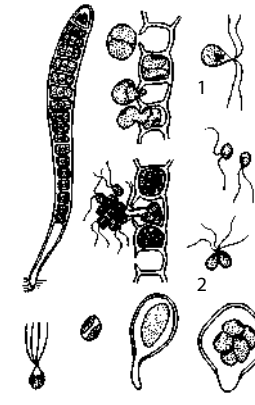


Рис. 4.81. Размножение улотрикса:
1 — бесполое размножение;
2 — половое размножение

Они сливаются с другими гаметами собственного таллома или других нитей и образуют зиготу, которая вскоре оседает на дно и переходит в состояние покоя. Прорастание зиготы сопровождается ее делением с образованием 4–8 зооспор, дающих начало новым особям.

Ульва — многоклеточная пластинчатая морская водоросль, в жизненном цикле которой происходит чередование полового и бесполого поколений (рис. 4.82). Ульву, или «морской салат», человек активно употребляет в пищу.

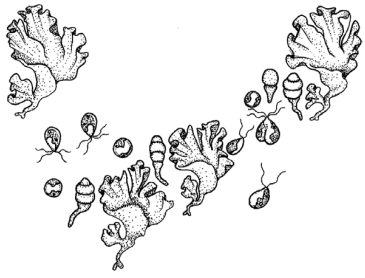


Рис. 4.82. Жизненный цикл ульвы

Значение зеленых водорослей в природе и жизни человека трудно переоценить, поскольку они обеспечивают приток органического вещества в водных и других экосистемах, образуют значительное количество кислорода, поступающего в атмосферу, принимают участие в круговороте веществ в природе и т. д. Некоторые зеленые водоросли употребляет в пищу человек, их используют на корм скоту, как удобрение, как индикаторы загрязнения окружающей среды и т. д. Вместе с тем они могут вызывать «цветение» воды, приводящее к замору рыбы и других водных животных.

Высшие споровые растения

Выход растений на сушу более 400 млн лет назад был сопряжен с формированием тканей и органов, строение которых постепенно усложнялось в процессе эволюции. Прогрессивному усложнению морфологии и анатомии растений соответствовали изменения и в их онтогенезе: в жизненном цикле наземных растений происходит правильное чередование бесполого и полового размножений и связанное с этим чередование бесполого и полового поколений (рис. 4.83). 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. Современные высшие споровые растения представлены отделами Моховидные, Плауновидные, Хвощевидные и Папоротниковидные.

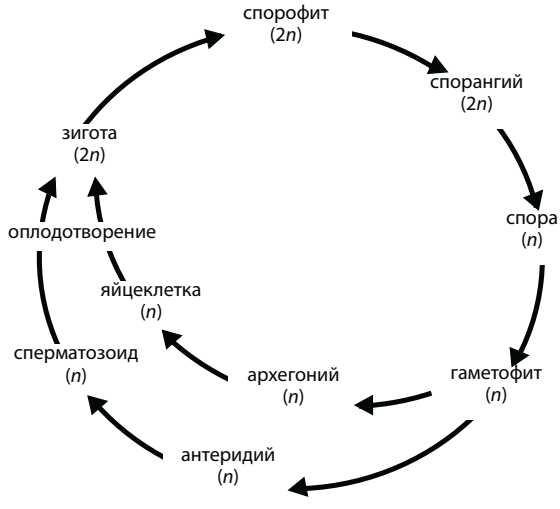


Рис. 4.83. Жизненный цикл высших споровых растений

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

Современные 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. 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).

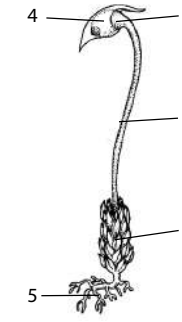


Рис. 4.84. Кукушкин лен:
1 — гаметофит;
2 — ножка спорофита;
3 — коробочка;
4 — колпачок;
5 — ризоиды

Наибольшее число представителей отдела насчитывают два класса: Печеночники и Листостебельные мхи. Характерными представителями печеночников являются маршанция и риччия, а листостебельных — политрихум и сфагнум.

Характерным представителем листостебельных мхов является *политрихум*, или *кукушкин лен* (рис. 4.84), зачастую образующий сплошной покров на сырой почве в лесах, на лугах и болотах. Гаметофит кукушкина льна 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.

Гаметофиты кукушкина льна раздельнополые. На верхушках женских гаметофитов развиваются архегонии с яйцеклетками, а на верхушках мужских — антеридии со сперматозоидами. 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. 4.85).

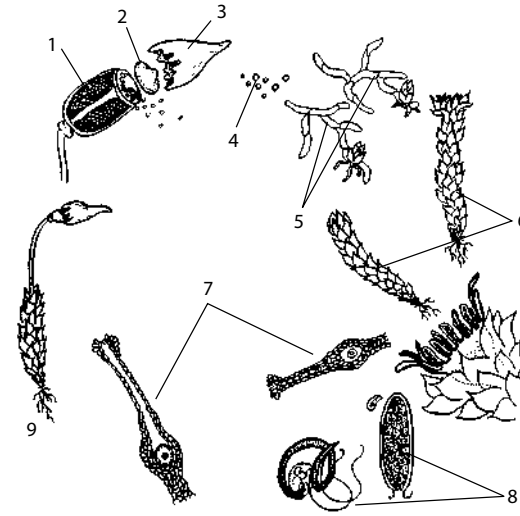


Рис. 4.85. Схема жизненного цикла моховидных (на примере кукушкина льна):
1 — коробочка;
2 — крышечка;
3 — колпачок;
4 — споры;
5 — протонемы;
6 — гаметофиты;
7 — архегоний с яйцеклеткой;
8 — антеридий со сперматозоидами;
9 — гаметофит со спорофитом

Сфагнум — белый болотный мох, образующий часто сплошной покров в избыточно увлажненных местах (рис. 4.86, 4.87). 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.

Маршанция имеет слоевищный вильчато ветвящийся гаметофит, на нижней стороне которого развиваются ризоиды (рис. 4.88). Вегетативное размножение маршанции осуществляется с помощью выводковых корзинок, а половое — с помощью специальных выростов на ножках. Маршанции растут во влажных местах, где отсутствует травяной покров.

Рис. 4.86. Сфагнум

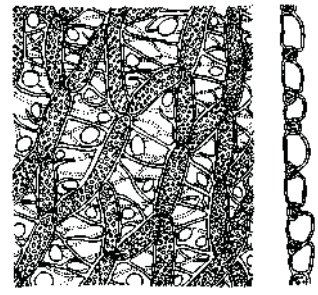


Рис. 4.87. Строение листа сфагнума

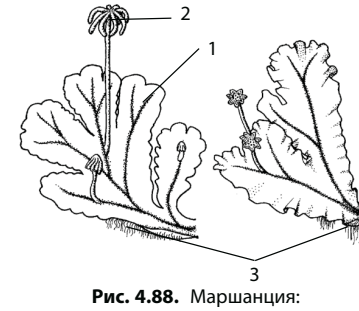


Рис. 4.88. Маршанция:
1 — слоевище; 2 — выросты-подставки; 3 — ризоиды

Риччия, или водяной мох, освоила водоемы, например, на Дальнем Востоке, и достаточно популярна у аквариумистов, поскольку в ней могут укрываться мелкие рыбки.

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. Ранее сфагнум применялся как заменитель ваты, так как он гигроскопичен и обладает антисептическими свойствами. С другой стороны, мхи также способствуют быстрому заболачиванию почв из-за образования сплошного покрова, они также вытесняют травы. Из-за накопления в мхах различных несъедобных веществ их слабо поедают животные. Торф образуется на болотах очень медленно — его прирост составляет 1 см за 10 лет, поэтому бесконтрольное изъятие мхов во многих местах привело к нарушению экологического равновесия и потребовало срочных мер по защите реликтовых болот.

Отдел Плауновидные

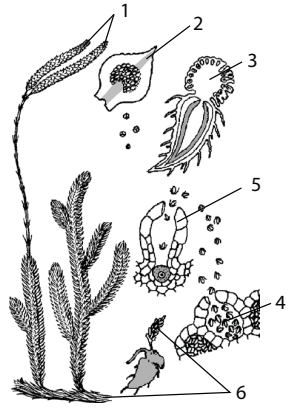


Рис. 4.89. Схема жизненного цикла плауна булавовидного:
1 — спороносные колоски;
2 — спорофит со спорами;
3 — гаметофит;
4 — антеридий со сперматозоидами;
5 — архегоний с яйцеклеткой;
6 — спорофит

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 (рис. 4.89). 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. 4.90. Полушник

В нашей стране, кроме плауна булавовидного, встречаются и другие представители отдела, например плаун годичный, баранец обыкновенный и полушник озерный (рис. 4.90). Полушники интересны тем, что являются разноспоровыми растениями и, в отличие от плаунов, освоили водную среду обитания.

В прошлом плауновидные были широко распространены и играли важную роль в наземных экосистемах. Их останки впоследствии образовали

залежи каменного угля и нефти, которые широко используются в народном хозяйстве не только как топливо, но и в качестве сырья для химической промышленности. 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. Кроме того, их применяют в народной медицине как средство для лечения алкоголизма и для украшения корзинок с крашенками к Пасхе. Бесконтрольный сбор спорофитов и спор этих растений в прошлом привели к тому, что некоторые плауны стали редки и занесены в Красную книгу.

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. 4.91). Побеги хвоща расчленены на узлы и междоузлия. В узлах расположены мутовки побегов и крошечные чешуевидные листочки. У хвощей функцию фотосинтеза выполняют только стебли, тогда как листья даже не содержат хлорофилла. Стебель хвоща имеет многочисленные полости, заполненные водой или воздухом (рис. 4.92). 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.

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 клетки. 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. 4.93).

Помимо хвоща полевого, в России встречается еще несколько видов хвощей: хвощ речной, хвощ лесной и другие.

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. 4.91. Хвощ

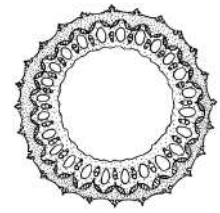


Рис. 4.92. Поперечный срез стебля хвоща

Рис. 4.93. Схема жизненного цикла хвоща полевого:
1 — спороносный колосок;
2 — споры с выростами;
3 — прорастание спор;
4 — антеридий со сперматозоидами;
5 — архегоний с яйцеклеткой;
6, 7 — развитие спорофита

Отдел Папоротниковидные

Рис. 4.94. Папоротник

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. 4.94), 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.

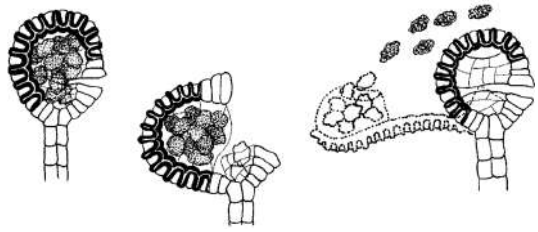


Рис. 4.95. Рассеивание спор папоротника

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 (рис. 4.95). На нижней стороне гаметофита развиваются антеридии, архегонии и ризоиды. 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. 4.96).

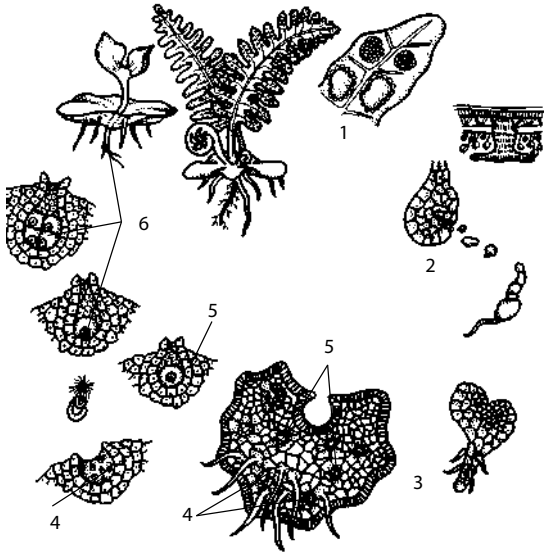


Рис. 4.96. Жизненный цикл папоротника:
1 — сорусы;
2 — высыпание и прорастание спор;
3 — заросток;
4 — антеридии;
5 — архегонии;
6 — развитие спорофита

Большинство папоротников — равноспоровые растения, однако часть представителей отдела, освоивших водную среду, относятся к разноспоровым, как марсилия, сальвиния и азолла.

В России произрастает около 100 видов папоротников, в том числе щитовник мужской, кочедыжник женский, орляк, страусник обыкновенный и др.

Папоротники сыграли значительную роль в образовании залежей каменного угля, а в настоящее время широко используются в пищу 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

Общая характеристика

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, исключительно наземные 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. 4.97), лежащих в основании развивающихся побегов, весной образуются микроспорангии — пыльцевые мешки — с микроспорами — пылинками. Не покидая оболочки пыльцевого зерна, из микроспор вырастают сильно 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. 4.98), находящихся на концах развивающихся побегов, развивается по два видоизмененных мегаспорангия — семязачатка (рис. 4.99). 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. 4.97. Мужские шишки сосны

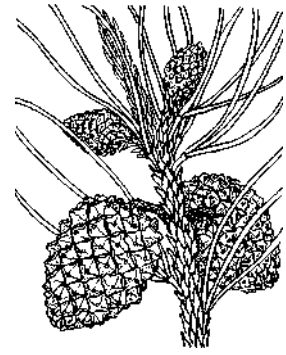


Рис. 4.98. Женские шишки сосны

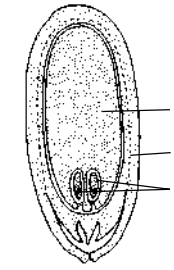


Рис. 4.99. Семязачаток голосеменных:
1 — интегумент;
2 — нуцеллус;
3 — архегонии с яйцеклетками

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 половые 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 одревеснеет и в хорошую погоду открывается, в результате чего семена разлетаются (рис. 4.100).

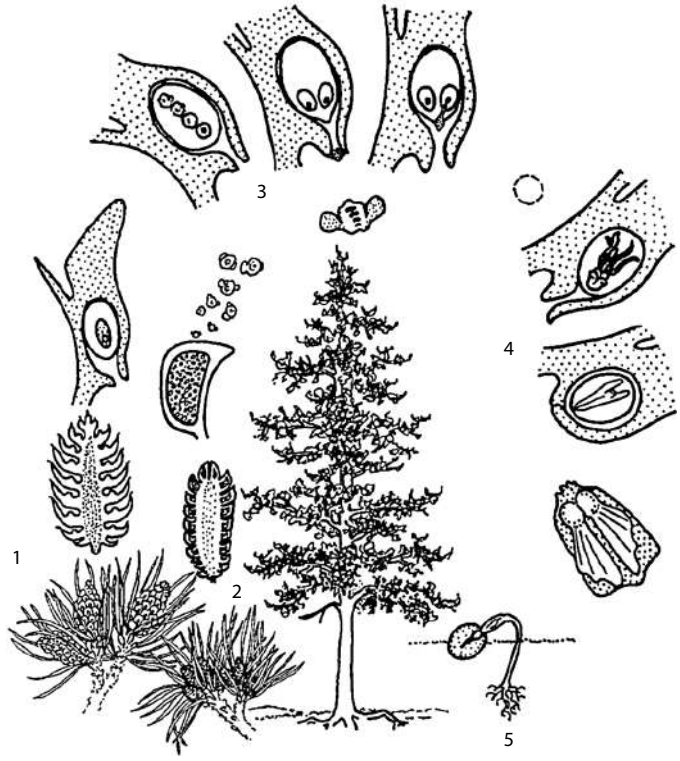


Рис. 4.100. Схема жизненного цикла голосеменного растения (на примере сосны обыкновенной):
1 — женская шишка с семязачатком;
2 — мужская шишка;
3 — опыление;
4 — образование семени;
5 — прорастание семени

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.

Сосны — стройные высокие деревья с прочной древесиной. Их хвоинки собраны в пучки по 2, 3 или 5 и крепятся на укороченных побегах. Семена сосен зачастую снабжены крылатками, у некоторых образуют «орешки», используемые в пищу. Наиболее часто в России встречаются сосна обыкновенная и сосна сибирская.

Ели — высокие деревья с пирамидальной кроной. Хвоинки ели намного короче, чем у сосны. Они жесткие на ощупь и сидят по одной не на укороченных побегах, а прямо на удлиненных. Хвоинки могут жить более 10 лет, после чего опадают. Ветви елей сохраняются всю жизнь, поэтому еловые леса относят к темным. Шишки елей поникающие, опыление, оплодотворение и созревание семян у них происходят в течение одного года. Корневая система елей поверхностная, поэтому сильный ветер может вывернуть растение вместе с корнем. Наиболее распространенными в России считаются ель обыкновенная и ель сибирская.

Пихты — высокие деревья с более мягкой хвоей, чем у елей, и с распадающимися при созревании шишками. Они также образуют темные хвойные леса. Наиболее распространены пихта обыкновенная и пихта одноцветная.

Кедр — род вечнозеленых растений, хвоинки которых собраны в пучки по 30–40, а шишки созревают и рассыпаются на второй-третий год. Известно четыре вида кедров, растущих в том числе на Кавказе.

Лиственницы — высокие деревья с ежегодно опадающей хвоей, собранной по 10–12 штук на укороченных побегах. Их шишки созревают и раскрываются чаще в тот же год, когда произошло опыление, но остаются на ветвях еще в течение нескольких лет. Древесина лиственниц чрезвычайно прочна и не боится влаги, что позволяет широко использовать ее в строительстве, в том числе для изготовления свай. В России произрастают лиственницы сибирская и даурская.

Можжевельник — род невысоких растений, среди которых имеются как невысокие деревья, так и кустарники, в том числе и стелющиеся. Их хвоинки имеют игловидную или чешуевидную формы, а чешуйки шишек срастаются, образуя шишкоягоды (рис. 4.101). К ним относятся можжевельник обыкновенный, можжевельник казацкий и др.

Рис. 4.101. Ветка можжевельника

К роду *туя* относятся древесные или кустарниковые виды голосеменных с чешуевидными, прижатыми к ветвям, листьями (рис. 4.102). Их мелкие шишки созревают и раскрываются в тот же год, когда произошло опыление. Представителями рода являются туя западная, туя гигантская и др.

Довольно редкие в наше время *тиссы* чаще всего принимают форму вечнозеленого приземистого кустарника с двурядно расположенными ланцетными или линейными листьями. Их семена окружены сочным ярко-красным придатком и весьма привлекательны на вид, однако все органы этого растения, в том числе и семена, ядовиты, поэтому следует избегать контакта с ними. В России встречаются в основном тиссы ягодный и остроконечный.

Рис. 4.102. Ветка туи

К хвойным относят и такие виды, как *секвойи* и *секвойядендроны*, достигающие в высоту нескольких десятков метров и в толщину — более 10 м, живущие несколько тысяч лет.

Интересны также «живое ископаемое» — гинкго двулопастный, или «серебряный абрикос», из Китая и Японии, дающий семена с серебристо-оранжевым придатком и имеющий вееровидные лопастные листья,

Рис. 4.103. Вельвичия удивительная

и вельвичия удивительная (рис. 4.103) из пустыни Намиб, два листа которой функционируют в течение всей ее жизни (до 900 лет). В последнее время большой популярностью в качестве декоративного комнатного растения пользуется и представитель саговников — саговник поникающий (цикас), напоминающий пальму с толстым неветвящимся стволом.

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.

Отдел Покрытосеменные, или Цветковые растения

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. Например, женский гаметофит представлен зародышевым мешком, изначально имеющим всего 8 клеток, тогда как у голосеменных он многоклеточный.

Цветковых называют «победителями в борьбе за существование», поскольку они заселили все континенты и все доступные среды обитания, вернувшись даже в воду. Среди них есть древесные, кустарниковые и травянистые формы. Особенности строения вегетативных и генеративных органов покрытосеменных легли в основу классификации.

Классы покрытосеменных

Общая характеристика

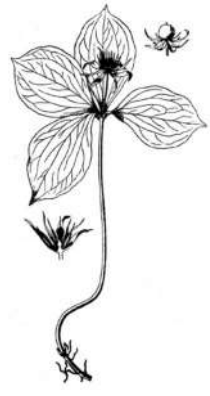


Рис. 4.104. Вороний глаз

Рис. 4.105. Подорожник

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 совокупность признаков, суммированных в табл. 4.1.

Исключениями являются представитель однодольных *вороний глаз* (рис. 4.104) с сетчатым жилкованием листьев и относящийся к двудольным *подорожник* (рис. 4.105) с дуговым жилкованием и мочковатой корневой системой.

Таблица 4.1

Основные различия представителей двудольных и однодольных

Признак	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

Класс Двудольные

Семейства покрытосеменных растений выделяют по многим признакам, однако основными являются строение цветка и плода. К классу Двудольные относят около 418 семейств, 10 тыс. родов и 190 тыс. видов растений. Основными семействами двудольных, произрастающих 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 такие соцветия, как 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 розоцветных 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). Без рябины, черемухи, груши, шиповника, терновника невозможно также представить российский ландшафт.

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 (тройчатые, пальчатые, перисто- или пальчатосложные), 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 срастаются 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.

Бобовые имеют большое хозяйственное значение. В пищу используют горох, фасоль, сою, бобы, арахис, чечевицу, 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 тыс. видов, относящихся к 380 родам. Они распространены в умеренных и холодных широтах Северного полушария, во флоре России свыше 1 тыс. 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 двух. 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).

Рис. 4.106. Дурман

Семейство Пасленовые объединяет 90 родов и около 3 тыс. 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 (рис. 4.106), белладонна) и декоративные (петуния, душистый табак) растения.

Семейство Сложноцветные, или *Астровые*, включает около 1250–1300 родов с 25 тыс. видов, 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 (рис. 4.107), содержащую от одного до 1 тыс. 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.

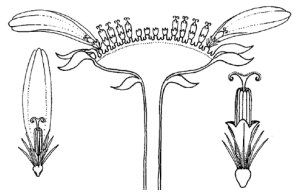


Рис. 4.107. Строение соцветия сложноцветных — корзинки

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 также образованы 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

Класс Однодольные подразделяется на 122 семейства, примерно 3100 родов и около 63000 видов. Основными семействами однодольных являются Злаки, Луковые и Лилейные.

Семейство Злаки, или *Мятликовые*, — одно из крупнейших семейств однодольных, насчитывающее до 900 родов и до 11 тыс. видов (во флоре России около 1 тыс. 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 (рис. 4.108). У основания каждого 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.

Рис. 4.108. Цветок и соцветие злаков

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 — трехгнездная коробочка или ягода.

Среди лилейных 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.

Роль растений в природе и жизни человека

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. Космическими являются и масштабы деятельности растительных организмов — в год они образуют $5{,}8 \times 10^{10}$ т органического вещества и $11{,}5 \times 10^{10}$ т кислорода, причем до 1/4 этих веществ на планете производят водоросли.

Несмотря на то, что бактерии также могут осуществлять синтез органических веществ из неорганических, без растений невозможно было бы существование подавляющего большинства живых организмов. 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. Некоторые животные питаются только одним видом растений, вследствие чего не могут завершить свой жизненный цикл без него, как, например, тутовый шелкопряд, образующий нить для кокона только при условии питания листьями шелковицы. Согласно расчетам экологов исчезновение только одного вида растений приводит к гибели 10–12 видов животных, поскольку при этом пищевая цепь обрывается в самом начале.

Пищей животным, грибам и бактериям служат не только листья, стебли и корни растений, многие из них питаются нектаром, цветочной пыльцой, семенами и плодами. Растения обеспечивают выживание других живых организмов даже в снежные зимы, несмотря на то, что сами сбрасывают листья, поскольку ряд животных может запасать семена и плоды.

Животные используют растительные ресурсы не только как источник питания, некоторые из них используют растительные вещества для защиты и оповещения других животных. Так, гусеницы бабочки данаиды, питающиеся некоторыми видами молочаев, накапливают содержащиеся в них ядовитые вещества и сохраняют даже во взрослом состоянии. У птиц, съевших данаиду, наблюдается рвота, и в следующий раз они избегают контакта с бабочками данного вида.

Растения являются для многих животных и 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. Эти полезные ископаемые являются, по образному выражению великого русского ученого К. А. Тимирязева, «солнечными консервами», и интенсивно используются человеком в настоящее время.

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.

Велика роль растений в биогеохимическом круговороте веществ в природе, например углерода, водорода, кислорода, фосфора, серы и других элементов, которые потребляются растениями в неорганических соединениях и включаются в состав органических, которые впоследствии используются и разлагаются иными организмами. Хорошо известно, что наземными растениями включаются в жизненные циклы 34 млрд т различных химических элементов (натрий, калий, кальций, марганец, железо, алюминий и др.), тогда как биогеохимическая роль водорослей связана, прежде всего, с круговоротом кальция и кремния. Получая из почвы и выбрасывая в воздух миллиарды тонн водяного пара в процессе транспирации, растения регулируют не только атмосферную влажность, но и способствуют круговороту воды в природе.

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.

Произрастая в тех или иных условиях, растения образуют различные растительные сообщества, обусловливая бесконечное разнообразие ландшафтов и экологических условий для живых организмов планеты. Например, древесные растения способны осушать почвы, а мхи, наоборот, заболачивать их.

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. Однако и представители других групп растений, например морские водоросли, применяются в пищевой, бумажной, фармацевтической, текстильной, кожевенной и других отраслях промышленности, а также в медицине как источники агар-агара, альгинатов, йода, брома и др. веществ.

Большая часть растений, необходимых человеку, введена в культуру и выращивается в искусственных сообществах — агроценозах, к которым относятся поля, плантации, сады, парки и т. д. Культурные растения существенно отличаются от своих дикорастущих собратьев хозяйственно ценными качествами и представлены обычно значительным разнообразием специально выведенных сортов (одних сортов тюльпанов в настоящее время свыше 5 тыс.).

Культурные и дикорастущие растения в зависимости от характера использования делят на зерновые (пшеница, рис, кукуруза), зернобобовые (горох, фасоль, соя), масличные (подсолнечник, лен), технические (рапс, горчица), плодовые (яблоня, вишня, слива), сахаристые (сахарная свекла, сахарный тростник), волокнистые (лен, хлопчатник), эфиромасличные (лаванда, кориандр), каучуконосные (гваюла, гевея), декоративные (роза, тюльпан, сирень), лекарственные (валериана, календула, шалфей) и др. В последнее время все более широкие перспективы открываются в использовании растений в производстве биотоплива, например, в Европе и России как наиболее приемлемый источник рассматривается рапсовое масло.

Резкое увеличение численности популяций каких-либо растений, например, массовое размножение одноклеточных водорослей вызывает «цветение» воды в водоемах, при котором вода окрашивается в изумрудно-зеленый, ярко-красный и другие цвета. «Цветение» сопровождается снижением количества кислорода в воде и гибелью других организмов. Кроме того, водоросли способны выделять в воду токсичные вещества, вследствие чего они так же массово гибнут, как и появились. Поскольку токсические вещества, выделяемые водорослями, могут накапливаться другими организмами, человек также может пострадать от употребления таких морепродуктов. Не менее отрицательное значение имеет и распространение сорняков, а также растений, пыльца которых вызывает аллергию.

Таким образом, растения являются основой жизни на Земле, а их деятельность — космической по масштабам.

4.6. Царство животных. Одноклеточные и многоклеточные животные. Характеристика основных типов беспозвоночных, классов членистоногих. Особенности строения, жизнедеятельности, размножения, роль в природе и жизни человека

Царство животных

Общая характеристика царства

К животным в настоящее время относят около 2 млн видов эукариотических организмов, однако их истинное количество, по-видимому, намного больше, до 5–10 млн видов. Численность и биомасса животных на Земле не поддаются исчислению, поскольку перелетные птицы и саранча образуют огромные стаи, кровососущие насекомые тучами нападают на любое теплокровное животное на севере России, морские котики образуют лежбища, а рыбы — косяки и т. д. Величина животных также варьирует от микроскопических амеб до тридцатитрехметровых синих китов. Однако общими для всех животных признаками являются гетеротрофный тип питания, активный обмен веществ, способность к активному передвижению, или локомоции, а также ограниченный, или закрытый рост.

Эти особенности проявляются и в строении животной клетки, которая лишена пластид и клеточной 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.

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.

По традиции, установленной в XIX веке Ж. Б. Ламарком, животные делятся на беспозвоночных и позвоночных. К беспозвоночным он отнес всех животных, не имеющих позвоночника. В настоящее время это деление не имеет систематического значения, поскольку оно разрывает единый тип Хордовые, относя бесчерепных к беспозвоночным, а черепных — к позвоночным. К беспозвоночным относят 16–23 типа животных, в том числе 7 типов простейших, кишечнополостных, плоских, круглых и кольчатых червей, моллюсков и членистоногих (иногда одноклеточных отделяют от беспозвоночных в отдельную группу). Количество видов беспозвоночных животных составляет около 2 млн, тогда как позвоночные представлены примерно 45 тыс. видов. Наиболее многочисленны среди беспозвоночных членистоногие, большую часть видов (свыше 1 млн) которых составляют насекомые. Позвоночные произошли от общих предков с современными беспозвоночными, скорее всего с кольчатыми червями. Система животного мира отображена на рис. 4.109.

Общая характеристика подцарства Одноклеточные, или Простейшие

К простейшим относят микроскопические одноклеточные и колониальные эукариотические организмы. Несмотря на то, что их клетки имеют сходное строение с клетками всех остальных животных, они выполняют все функции целостного организма, и, следовательно, являются организмами на клеточном уровне организации.

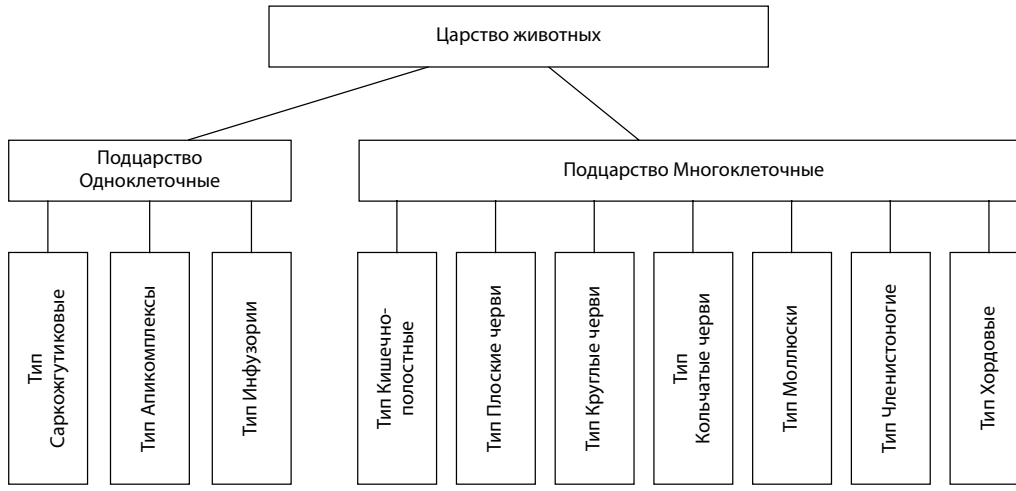


Рис. 4.109. Классификация животного мира

Отдельные функции организма у них выполняют клеточные органоиды, а целостность организма поддерживается функциями одной клетки. Деление клетки у простейших приводит к размножению. Жизненные циклы простейших могут быть весьма сложны, однако в них отсутствуют многоклеточные стадии, а индивидуальное развитие заключается в росте и формировании органоидов единственной клетки.

Первые простейшие были обнаружены в 1675 году выдающимся голландским микроскопистом А. ван Левенгуком. По разным оценкам количество видов одноклеточных колеблется от 40 до 70 тыс. Размеры их тела варьируют от 2–4 мкм до 1000 мкм. Форма клеток простейших может быть также чрезвычайно разнообразной: от бесформенной у амебы до строгой звездчатой у лучевиков.

Клеточное строение. Клетка простейших снабжена всеми необходимыми для поддержания жизнедеятельности органоидами. Как и любая эукариотическая клетка, она состоит из цитоплазмы и погруженного в нее ядра (у некоторых видов имеется несколько ядер). В цитоплазме могут выделяться два слоя: наружный (эктоплазма) и внутренний (эндоплазма). Некоторые виды имеют уплотненный наружный слой цитоплазмы — *пелликулу*, что им позволяет поддерживать постоянную форму тела (жгутиконосцы). Ряд простейших имеют раковинку или внутренний скелет. Органоиды могут быть представлены митохондриями, хлоропластами, лизосомами и т. д. Движение клетки обеспечивается при помощи выпячиваний цитоплазмы — *ложноножек*, или *псевдоподий*, а также органоидов движения — жгутиков или ресничек, что служит систематическим признаком. В цитоплазме пресноводных видов имеются сократительные вакуоли и красные «глазки».

Обмен веществ и превращения энергии. Питание одноклеточных осуществляется в основном путем фагоцитоза или пиноцитоза. Большинство представителей захватывает пищу в любой части тела, однако у ряда видов, например жгутиконосцев и инфузорий, для этого служат клеточный рот и клеточная глотка. Переваривание пищи происходит в пищеварительных вакуолях с помощью ферментов лизосом. Все расщепленные вещества переносятся через мембрану вакуоли в цитоплазму, а непереваренные остатки выделяются в любом месте тела путем экзоцитоза либо через порошицу, расположенную позади клеточного рта, как у инфузорий. Некоторые простейшие, например эвглена зеленая, являются миксотрофами, то есть могут переходить от автотрофного питания к гетеротрофному, поскольку в цитоплазме есть хлоропласты. Среди них есть и автотрофы.

Большинство свободноживущих одноклеточных — аэробы — поглощают кислород для дыхания всей поверхностью тела, тогда как паразитические простейшие — в основном анаэробы — получают энергию, осуществляя бескислородное расщепление питательных веществ.

Гомеостаз. Поддержание постоянства внутренней среды у пресноводных простейших наиболее четко прослеживается на примере сократительных вакуолей, которые периодически выбрасывают из клетки избыток воды, поступающей из внеклеточного раствора.

Раздражимость. Как и все живые организмы, простейшие способны реагировать на воздействия окружающей среды. Если рядом с амебой положить кристаллик поваренной соли, она сожмется в комочек и попытается уползти в сторону. Амеба также распознает различные микроскопические организмы, служащие ей пищей, избегает ярко освещенных участков, механических раздражителей и высоких концентраций растворенных в воде веществ. У ряда жгутиконосцев имеется специальное образование в цитоплазме — красный «глазок», который фокусирует свет на парабазальном теле, отвечающем за реакцию на свет. Благодаря этому жгутиконосцы могут активно перемещаться в освещенную часть сосуда и водоема. Такое направленное перемещение клетки к источнику света называется *фототаксисом*.

Рис. 4.110. Бесполое размножение трипаносомы

Воспроизведение. Размножаются одноклеточные как бесполым (рис. 4.110), так и половым способом. Бесполое размножение происходит делением клетки надвое в результате митоза (амебы, жгутиконосцы), либо путем множественного деления, или шизогонией, при котором вначале неоднократно делится ядро, а затем цитоплазма распадается на столько частей, сколько ядер образовалось в клетке (споровики). Для ряда жгутиконосцев характерно бесполое размножение подвижными спорами, которые называются зооспорами. При половом размножении происходит слияние гамет или одноклеточных особей целиком, а у инфузорий описан особый половой процесс — конъюгация.

Развитие. В отношении одноклеточных, как и всех остальных живых организмов, применимо понятие жизненный цикл, которое включает в себя всю последовательность жизненных стадий от одного деления до другого, от образования зиготы до формирования зиготы в результате полового размножения полученных особей и т. д. Однако индивидуальное развитие как таковое у одноклеточных отсутствует, поскольку любой новый организм будет в лучшем случае увеличиваться в размерах, не приобретая качественных изменений.

При неблагоприятных условиях многие одноклеточные способны округляться и покрываться плотными защитными оболочками, в результате чего формируется *циста* — временная покоящаяся форма существования. Цисты могут переноситься потоками воздуха и воды на большие расстояния, обеспечивая расселение этих организмов.

Классификация. В настоящее время выделяют до семи типов одноклеточных животных, наиболее крупными из которых являются типы Саркожгутиковые, Апикомплексы и Инфузории.

Характеристика основных типов одноклеточных животных. Особенности строения, жизнедеятельности, размножения, роль в природе и жизни человека

Тип Саркожгутиковые

К саркожгутиковым относят около 25 тыс. видов одноклеточных и колониальных организмов, хотя бы на одной из стадий развития передвигающихся с помощью ложноножек или жгутиков. В основном имеют ядра одного типа, не изменяющиеся в течение жизни. 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 или за счет циркуляции цитоплазмы. Размножение в основном бесполое. Большин-

ство саркодовых — свободноживущие водные и почвенные виды, но встречаются и паразиты животных и человека. К ним относятся свободноживущие амеба протей, раковинные амебы и фораминиферы, радиолярии (лучевики) и солнечники, а также паразитическая амеба дизентерийная.

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 амебы под микроскопом можно различить ядро, пищеварительные и сократительную вакуоли (рис. 4.111).

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.

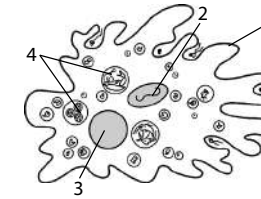


Рис. 4.111. Амеба протей:
1 — ложноножки;
2 — ядро;
3 — сократительная вакуоль;
4 — пищеварительные вакуоли

Размножается амеба протей бесполым способом — митотическим делением клетки. При благоприятных условиях это происходит примерно раз в сутки, а при неблагоприятных амебы образуют цисты.

Амеба дизентерийная — паразитическое одноклеточное животное, вызывающее у человека амебную дизентерию. Заражение происходит цистами при потреблении загрязненной пищи или воды. В толстом кишечнике из цист выходят небольшие амебы, которые могут затем проникать в стенки кишечника, вызывая образование кровоточащих язв. Симптомами амебной дизентерии являются повышенная температура, боли в области живота и кровавый понос.

Раковинные амебы относятся к свободноживущим. Они имеют наружный скелет — раковинку, снабженную устьем. Из устья выступают ложноножки, с помощью которых раковинные амебы захватывают пищу. Размножаются эти одноклеточные делением, причем одна амеба остается в старой раковине, а вторая строит новую. Обитают они в пресных водоемах, сфагновых болотах и в почве. К ним относится почвенная раковинная амеба арцелла (рис. 4.112).

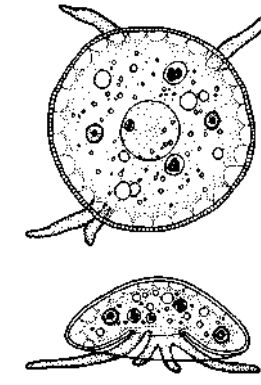


Рис. 4.112. Арцелла

Фораминиферы — морские свободноживущие саркодовые, имеющие раковинки различного химического состава и происхождения. В основном обитают на дне морей на глубине 100–200 м. Их ложноножки, выступающие из раковинок через устье и многочисленные поры, образуют своеобразную сеточку, в которой запутываются пищевые частицы (рис. 4.113). Раковинки фораминифер образовали такие осадочные отложения, как мел и известняки, применяемые в качестве строительных материалов. В настоящее время фораминиферы используются для определения возраста геологических пластов, а также для поисков нефтеносных пластов.

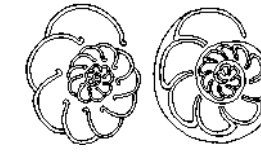


Рис. 4.113. Фораминиферы

Радиолярии — исключительно морские свободноживущие одноклеточные, имеющие внутренний минеральный скелет. В центре клетки расположен небольшой участок цитоплазмы с одним или несколькими ядрами, а также различными включениями. Он защищен скелетом, снаружи от которого расположен широкий слой эктоплазмы. Питаются радиолярии как с помощью фагоцитоза, захватывая частички пищи псевдоподиями, так и переваривая имеющиеся в их цитоплазме симбиотические водоросли. 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 уплотнения наружного слоя цитоплазмы или наличия панциря. Движение жгутиконосцев осуществляется в основном с помощью единственного или многочисленных жгутиков, но у некоторых на жгутик, расположенный вдоль тела, может быть натянута мембран-

ная перепонка, производящая волнообразные движения. 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.

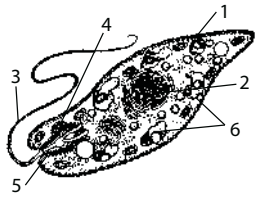


Рис. 4.114. Эвглена зеленая:
1 — пелликула;
2 — ядро;
3 — жгутик;
4 — «глазок»;
5 — клеточный рот;
6 — хлоропласты

К *классу Растительные жгутиконосцы* относят автотрофных и миксотрофных простейших, имеющих хлоропласты, хотя среди них встречаются и гетеротрофные виды. Представителями класса являются эвглена зеленая и пандорина, а также хламидомонада и вольвокс.

Эвглены — пресноводные планктонные организмы, среди которых встречаются автотрофы, миксотрофы и гетеротрофы. Эвглена зеленая — миксотроф, поскольку, несмотря на наличие хлоропластов и «глазка», может длительное время находиться в темноте, осуществляя гетеротрофное питание и утрачивая при этом хлоропласты (рис. 4.114). В настоящее время обсуждается вопрос о том, что эвглен следует выделить в отдельную систематическую группу (царство), так как они имеют слишком много отличий от иных представителей класса, типа и подцарства, например трехмембранный хлоропласт.

Класс Животные жгутиконосцы объединяет гетеротрофных жгутиконосцев, многие из которых являются паразитами человека и животных, как трипаносомы, лейшмании, лямблии и др.

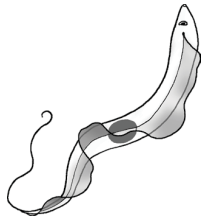


Рис. 4.115. Трипаносома

Трипаносомы — опасные паразиты человека и животных, вызывающие сонную болезнь, или трипаносомоз, что характерно для некоторых районов Африки и Центральной Америки. Их тело имеет лентовидную форму, вдоль него натянута мембранная перепонка (рис. 4.115). Переносчиками сонной болезни являются мухи цеце, клопы и слепни. Трипаносомы паразитируют в основном в крови и спинномозговой жидкости, вызывая постепенное угнетение жизненных функций организма хозяина.

Лейшмании — внутриклеточные паразиты человека, вызывающие лейшманиозы. Эти заболевания характеризуются тяжелым поражением кожи и внутренних органов. Они распространены в Средней Азии, Закавказье, Индии, Индокитае, Южной Америке. Переносчиками лейшманиоза являются москиты. На одной из стадий развития лейшмании имеют жгутик, однако, проникая в клетки, утрачивают его.

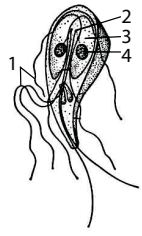


Рис. 4.116. Лямблия:
1 — жгутики;
2 — присоска;
3 — цитоплазма;
4 — ядро

Лямблия — одноклеточный многожгутиковый паразит кишечника человека, вызывающий лямблиоз (рис. 4.116). Тело лямблии похоже по форме на половинку груши, снабженную с уплощенной стороны присоской, с помощью которой она прикрепляется к стенке кишечника. Клетка паразита содержит два ядра. Лямблиозом чаще болеют дети. Заражение происходит цистами с потреблением загрязненной пищи или воды.

Тип Апикомплексы

Включает около 4800 исключительно паразитических простейших, у которых отсутствуют органоиды движения, а жгутики имеются только у мужских гамет. У большинства наблюдается половой процесс, а бесполое размножение осуществляется множественным делением и образованием спорозоитов (отсюда второе название — споровики). У всех апикомплексов имеется специальное образование на переднем (апикальном) конце тела — апикальный комплекс, способствующий проникновению в клетку хозяина. К споровикам относят малярийного плазмодия.

Малярийный плазмодий — возбудитель опасной болезни человека малярии, распространенной в тропическом и умеренном климате. При укусе малярийного комара спорозоит проникает в кровь человека, затем размножается бесполым способом в клетках печени и 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. Образовавшаяся зигота превращается в цисту, в которой путем деления образуются новые спорозоиты, способные заразить человека (рис. 4.117).

Таким образом, человек является промежуточным хозяином малярийного плазмодия, а комар — окончательным.

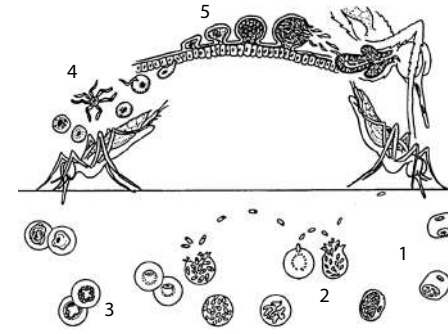


Рис. 4.117. Жизненный цикл малярийного плазмодия:
1 — бесполое размножение в клетках печени;
2 — бесполое размножение в эритроцитах;
3 — образование половых клеток;
4 — оплодотворение;
5 — развитие новых плазмодиев

Тип Инфузории

К инфузориям относят около 7500 видов наиболее высокоорганизованных простейших, движение которых осуществляется с помощью ресничек (рис. 4.118). 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, который связан с клеточной глоткой, от нее отшнуровываются затем пищеварительные вакуоли. Непереваренные остатки пищи выводятся из клетки через порошицу. Пресноводные виды обычно имеют сократительные вакуоли (рис. 4.119).

Для инфузорий характерно наличие двух ядер: вегетативного, или *макронуклеуса*, и генеративного, или *микронуклеуса*. Микронуклеус содержит ДНК и участвует в половом процессе, а макронуклеус регулирует процессы жизнедеятельности клетки.

Размножаются инфузории в основном бесполым способом, однако у них известен и половой процесс — конъюгация. При бесполом размножении клетка делится в продольном направлении, тогда как конъюгация не сопровождается увеличением количества особей, а заключается в обмене наследственной информацией между особями. При конъюгации 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 (рис. 4.120).

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

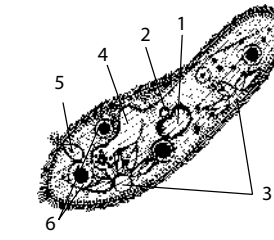


Рис. 4.118. Инфузория-туфелька:
1 — вегетативное ядро;
2 — генеративное ядро;
3 — сократительные вакуоли;
4 — клеточная глотка;
5 — порошица;
6 — пищеварительные вакуоли

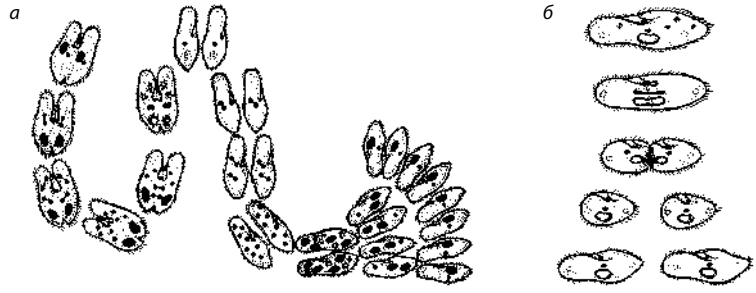


Рис. 4.120. Конъюгация (*а*) и бесполое размножение (*б*) у инфузорий

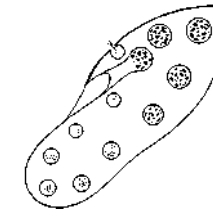


Рис. 4.119. Схема движения пищеварительной вакуоли у инфузории

кормов. Характерными представителями инфузорий являются инфузория-туфелька, на примере которой и были описаны эти животные, а также балантидий.

Балантидий — крупная инфузория, обитающая в кишечнике свиней, человека и других животных. Питается в основном содержимым кишечника, но может также разрушать его слизистую и вызывать болезнь балантидиаз, сопровождающийся кровавым поносом. Заражение происходит при попадании в кишечник цист балантидия.

Роль простейших в природе и 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

К многоклеточным относят все остальные виды животных, за исключением 40 тыс. видов одноклеточных. Многоклеточные животные имеют более высокий уровень организации, в сравнении с одноклеточными, так как их тело состоит из множества клеток, выполняющих различные функции и при этом утрачивающих способность к самостоятельному существованию. Целостность их организма поддерживается за счет межклеточных взаимодействий. В жизненном цикле многоклеточных происходит чередование многоклеточных и одноклеточных стадий, поскольку их развитие при половом размножении происходит из единственной клетки — зиготы. Размеры тела у многоклеточных, как правило, больше, чем у одноклеточных, что повлекло за собой усложнение процессов обмена веществ и превращений энергии, а также поддержания гомеостаза. Вследствие этого неблагоприятные факторы окружающей среды оказывают на них гораздо меньшее воздействие, а продолжительность жизни отдельной особи увеличивается. В целом многоклеточные имеют целый ряд преимуществ перед одноклеточными, и представляют собой качественно новый этап эволюции животных.

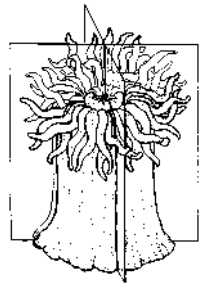


Рис. 4.121. Радиальная симметрия

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.

Многие многоклеточные имеют симметричное строение тела. Различают два типа симметрии тела: радиальную, или лучевую (рис. 4.121), и билатеральную, или двустороннюю (рис. 4.122). При радиальной симметрии через тело можно провести несколько плоскостей симметрии, а при билатеральной — только одну. Лучевая симметрия считается более примитивной, чем двусторонняя, она характерна для губок и кишечнополостных.

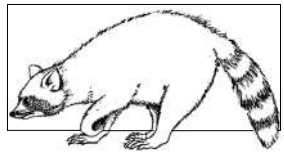


Рис. 4.122. Билатеральная симметрия

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.

Характеристика основных типов беспозвоночных животных, классов членистоногих. Особенности строения, жизнедеятельности, размножения, роль в природе и жизни человека

Общая характеристика беспозвоночных

Помимо того, что беспозвоночные лишены внутреннего осевого скелета — позвоночника, а их опорно-двигательные системы представлены либо кожно-мускульным мешком, либо твердым наружным скелетом, что помешало им достичь размеров, характерных для многих позвоночных. Мускулатура у беспозвоночных гладкая, а не поперечнополосатая, как у хордовых.

Нервная система беспозвоночных может быть представлена нервной сетью (кишечнополостные), нервными стволами (плоские черви), брюшной нервной цепочкой с развитым надглоточным нервным ганглием, или отдельными нервными узлами, но никогда не бывает трубчатой, как у хордовых.

У многоклеточных беспозвоночных произошел переход от лучевой симметрии тела к двусторонней, а у высших — от первичной полости тела ко вторичной.

Поскольку почти все беспозвоночные — гетеротрофы (за исключением некоторых жгутиконосцев, которые являются миксотрофами), среди них есть хищники, сапротрофы, симбионты и паразиты.

Многие беспозвоночные принимают участие в процессах почвообразования, биологической очистки вод, образовании осадочных пород, расщеплении неперевариваемой пищи в кишечниках других животных, ограничивают численность некоторых паразитов и т. д. Таким образом, роль беспозвоночных в круговороте веществ в природе неоценима.

Беспозвоночных употребляет в пищу человек (моллюски, некоторые членистоногие и др.), их используют для изготовления украшений (жемчуг, перламутр), кормления рыб, в борьбе с вредителями сельскохозяйственных растений, в очистке сточных вод, в медицине (пиявки), в научных целях, в декоративных целях (моллюски). В связи с этим развилось целое направление биотехнологии — биотехнология животных, основными отраслями которого являются марикультура (выращивание моллюсков), разведение дождевых червей и хищных насекомых, препятствующих распространению вредителей сельского хозяйства.

Среди беспозвоночных достаточно широко представлены и паразиты человека, животных и растений, борьба с которыми требует значительных усилий.

Беспозвоночными являются все многоклеточные животные, за исключением большей части хордовых.

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 — стрекательных клеток (отсюда второе название типа — стрекающие). 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. 4.123).

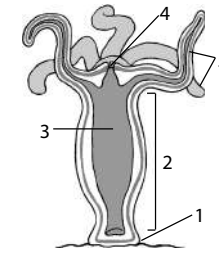


Рис. 4.123. Схема строения гидры:
1 — подошва;
2 — стебелек (тело);
3 — кишечная полость;
4 — рот;
5 — щупальца

Наружный слой тела гидры — *эктодерма* — образован эпителиально-мускульными, стрекательными и нервными клетками, а внутренний — *энтодерма* — железистыми и пищеварительными, снабженными жгутиками (рис. 4.124). В обоих слоях имеются недифференцированные промежуточные клетки. Из них может образовываться любой тип клеток тела гидры. Эпителиально-мускульные клетки выполняют покровную и сократительную функции, нервные — обеспечивают ответ организма на внешнее раздражение, стрекательные принимают

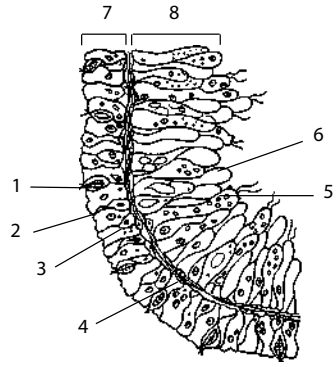


Рис. 4.124. Клеточное строение стенки тела гидры:
1 — стрекательная клетка;
2 — эпителиально-мускульная клетка;
3 — промежуточная клетка;
4 — мезоглея;
5 — пищеварительная клетка;
6 — железистая клетка;
7 — эктодерма;
8 — энтодерма

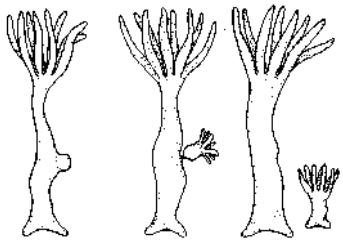


Рис. 4.125. Почкование гидры

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.

Захват пищи происходит при помощи стрекательных клеток, расположенных на щупальцах. Парализованная добыча помещается в кишечную полость, где происходит полостное пищеварение под действием ферментов железистых клеток, а затем — 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).

Размножение гидры может осуществляться вегетативно (почкованием) (рис. 4.125) и половым способом. Кишечнополостные являются гермафродитами, поскольку образуют одновременно и мужские, и женские 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, и в таком состоянии 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.

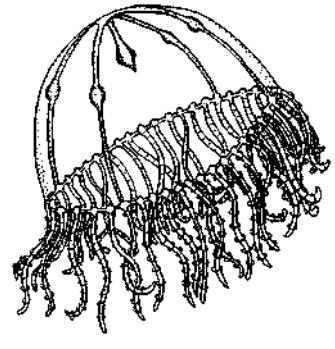


Рис. 4.126. Обелия

Класс Гидроидные объединяет в основном морских и часть пресноводных, нередко образующих колонии кишечнополостных. Многим в жизненном цикле свойственна смена поколений: полового — медуз и бесполого — полипов. Ряд систем органов имеют примитивное строение: кишечная полость лишена перегородок, а нервная система представлена нервными узлами-ганглиями. Половые клетки гидроидных развиваются в эктодерме. Представители класса — пресноводная гидра, португальский кораблик, обелия (рис. 4.126) и крестовичок.

Класс Сцифоидные медузы объединяет приспособившихся к плавающему образу жизни морских животных. Большая часть их жизненного цикла проходит в форме медуз. Сцифомедузы крупнее гидромедуз, с сильно развитой мезоглеей. Для них

характерно реактивное движение за счет сокращения стенок зонтика. Нервная система сцифоидных более высокоразвита, имеет ганглии, а органы чувств образуют особые комплексы. Половые клетки у них образуются в энтодерме. Кишечная полость разделена на камеры. Представители: аурелия (рис. 4.127), цианея, корнерот.

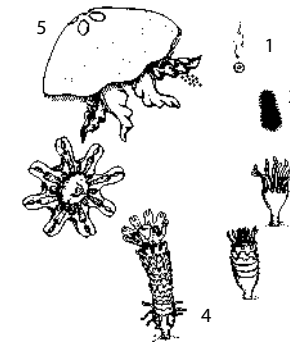


Рис. 4.127. Жизненный цикл медузы аурелии:
1 — оплодотворение;
2 — личинка;
3 — полип;
4 — деление полипа;
5 — взрослая медуза

Класс Коралловые полипы включает морских колониальных, реже одиночных кишечнополостных, развивающихся без смены поколений. Обитают преимущественно в теплых морях. Многие имеют известковый скелет и являются рифообразователями. У них сильно развита мезоглея, а кишечная полость разделена перегородками на камеры. Половые клетки, как и у сцифоидных, образуются в энтодерме. Размножаются коралловые полипы бесполым и половым способами, однако у колониальных новая особь остается связанной с материнской кишечной полостью. Чередование поколений для коралловых полипов не характерно. При половом размножении развитие непрямое. Представители: актинии, благородные кораллы, морское перо.

Роль кишечнополостных в природе и 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 билатеральной 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 (кольцевые, продольные и диагональные, иногда имеются еще и спинно-брюшные). Кожа и подкожные слои мускулатуры образуют кожно-мускульный мешок. Полость тела у них отсутствует, промежутки между органами заполнены рыхлой тканью — *паренхимой*.

Пищеварительная система плоских червей слепо замкнутая, то есть имеет передний и средний отделы, а задний отдел с анальным отверстием отсутствуют, вследствие чего непереваренные остатки пищи выводятся через ротовое отверстие, открывающееся на брюшной стороне. Передний отдел кишечника представлен глоткой, средняя кишка — ветвистая.

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 паразитиче-

ских червей, у них отсутствуют специальные органы прикрепления, жизненный цикл прост, и достаточно хорошо развиты органы чувств.

Тело ресничных червей уплощенное, овальной или удлиненной формы (рис. 4.128). 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.

Рис. 4.128. Планария молочно-белая

Пищеварительная система. У большинства ресничных червей имеется *пищеварительная система*, которая состоит из рта, глотки и 1–3 ветвей кишечника. Рот у них обычно расположен на брюшной стороне тела, а глотка может выворачиваться для захватывания пищи. Кишечник слепо замкнут (рис. 4.129).

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.

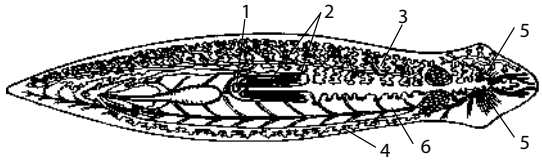


Рис. 4.129. Внутреннее строение планарии:
1 — рот;
2 — глотка;
3 — ветвь кишечника;
4 — выделительная система;
5 — надглоточные нервные узлы;
6 — нервный столб

Органы выделения — протонефридии.

Размножение. Ресничные черви — гермафродиты, так как продуцируют и мужские, и женские половые клетки, однако в большинстве случаев оплодотворение происходит перекрестно. Из яйца может выйти маленький ресничный червь или личинка, которая только впоследствии станет похожей на взрослого червя, т. е. развитие может быть прямым и непрямым.

Представители: планария молочно-белая, планария черная.

Класс Сосальщики включает около 4000 видов внутренних паразитов (эндопаразитов) человека и животных. Их тело имеет листовидную или веретеновидную форму и снабжено двумя присосками — ротовой и брюшной. 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 представителей класса также имеет типичное для плоских червей строение.

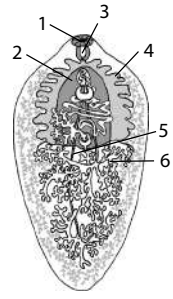


Рис. 4.130. Внутреннее строение печеночного сосальщика:
1 — ротовая присоска;
2 — брюшная присоска;
3 — глотка;
4 — ветвь кишечника;
5 — нервная система;
6 — половая система

Размножение. Для сосальщиков характерно бесполое и половое размножение. В большинстве своем они гермафродиты, однако имеются и раздельнополые виды. Оплодотворение, как правило, перекрестное. 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. 4.130). Заражение происходит при употреблении в пищу немытой зелени и грязными руками. 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 (рис. 4.131). Таким образом, окончательным хозяином печеночного сосальщика является человек или крупный рогатый скот, а промежуточным — малый прудовик.

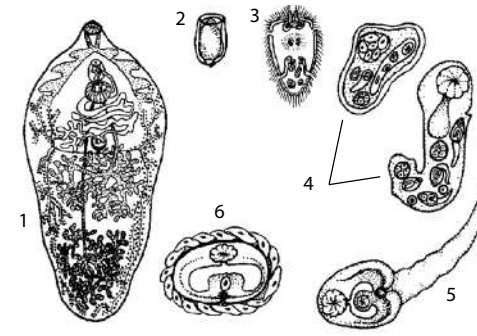


Рис. 4.131. Жизненный цикл печеночного сосальщика:
1 — взрослый сосальщик;
2 — яйцо;
3 — личинка с ресничками;
4 — стадии развития в моллюске;
5 — хвостатая личинка в воде;
6 — личинка в защитной оболочке на траве

Кошачья двуустка, или *описторх*, — паразит человека и животных, который, как и печеночный сосальщик, поражает печень кошек, собак и человека, однако имеет более сложный жизненный цикл. Яйца кошачьей двуустки должны быть проглочены моллюском битинией, затем вышедшие из них личинки проникают в тело пресноводных рыб, которые и служат источником заражения. Таким образом, в жизненном цикле кошачьей двуустки имеется два промежуточных хозяина и один окончательный.

Класс Ленточные черви объединяет около 3000 видов паразитических плоских червей, во взрослом состоянии обитающих в кишечнике позвоночных животных (рис. 4.132). 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.

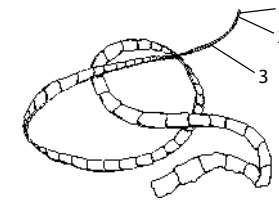


Рис. 4.132. Ленточный червь:
1 — головка;
2 — шейка;
3 — тело из члеников

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. Оплодотворение может быть перекрестным, хотя у крупных ленточных червей оно происходит между члениками тела. 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 (рис. 4.133).

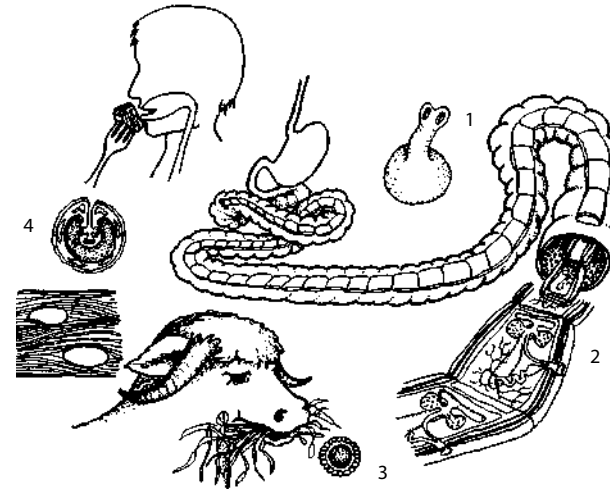


Рис. 4.133. Жизненный цикл ленточного червя:
1 — выход червя из финны в кишечнике;
2 — зрелые членики;
3 — яйцо;
4 — финна в мышцах животных

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 пузырчатые личинки — 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, в результате которого финны образуются в мозге, глазах и других частях тела и еще больше ухудшают состояние больного.

Широкий лентец — паразит человека, собак, кошек, лис, медведей и других животных, поедающих рыбу. Длина тела широкого лентеца достигает 9–12 м. В его жизненном цикле присутствует два промежуточных хозяина — рачок циклоп и пресноводные рыбы. Заражение человека и других млекопитающих происходит при употреблении недостаточно термически обработанной рыбы.

Роль плоских червей в природе и 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.

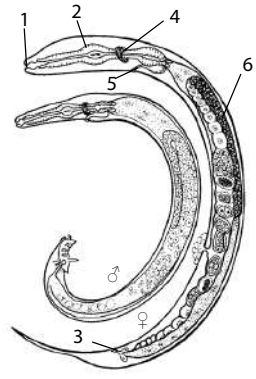


Рис. 4.134. Внутреннее строение круглых червей:
1 — рот;
2 — кишечник;
3 — анальное отверстие;
4 — окологлоточное нервное кольцо;
5 — выделительное отверстие;
6 — половая система

Тело круглых червей имеет в основном веретеновидную форму с заостренными передним и задним концами (рис. 4.134). 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. Гиподерма образует четыре валика вдоль тела: сверху, снизу и по бокам. В боковых валиках проходят выделительные каналы, а в верхнем и нижнем — нервные тяжи. Между этими валиками располагаются четыре ленты продольных мышц, благодаря которым круглые черви могут передвигаться извиваясь. Полость внутри тела не ограничена эпителием, поэтому и называется первичной. Она заполнена жидкостью, находящейся под высоким давлением, что позволяет круглым червям поддерживать постоянство внутренней среды, снижать трение внутренних органов и поддерживать форму тела практически в любых условиях.

Пищеварительная система круглых червей делится на переднюю, среднюю и заднюю кишку, заканчивающуюся анальным отверстием. Вокруг ротового отверстия имеются губы, служащие для присасывания.

Как и у плоских червей, у круглых отсутствуют дыхательная и кровеносная системы. Так как многие из них живут внутри тела хозяина, они способны осуществлять анаэробное дыхание, а кислород можно даже использовать для лечения заболеваний, вызываемых этими червями. Однако, находясь вне тела хозяина на определенной стадии развития, им необходим доступ кислорода, т. е. 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 нервных стволов, тянущихся вдоль всего тела. 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. Из оплодотворенных яиц у них выходят личинки, похожие на взрослых особей, т. е. развитие прямое. Личинки несколько раз линяют, сбрасывая старую кутикулу и увеличиваясь в размерах до тех пор, пока не достигнут соответствующих 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, вызывающие тяжелые аллергии и отравление организма хозяина. Если аскарид слишком много, то они могут даже привести к непроходимости кишечника и смерти. Размножаются аскариды половым способом. Одна самка способна дать до 200 тыс. яиц в сутки. 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 (рис. 4.135).

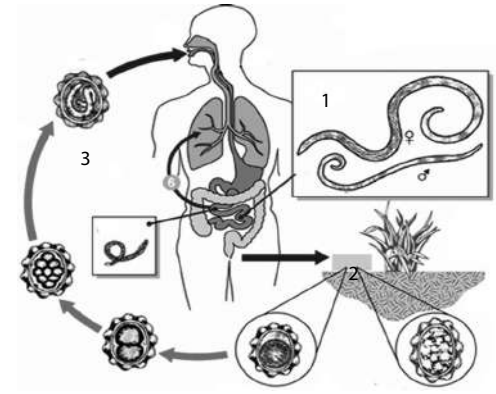


Рис. 4.135. Жизненный цикл аскариды человеческой:
1 — взрослые черви в тонком кишечнике;
2 — яйца;
3 — развитие личинки в яйце

Острица детская — круглый червь — кишечный паразит человека. Тело остриц имеет белый цвет, а на переднем конце у них заметно небольшое вздутие (рис. 4.136). 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 вместе с едкой жидкостью, вызывающей 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. 4.136. Внутреннее строение острицы

Роль круглых червей в природе и 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.

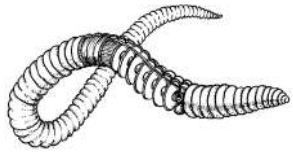


Рис. 4.137. Дождевой червь

У кольчатых червей выражены головной и задний концы тела, между которыми находится сегментированное туловище (рис. 4.137). 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: многощетинковые имеют параподии и длинные щетинки, малощетинковые не имеют выраженных параподий, но снабжены короткими щетинками, а пиявки лишены и параподий, и щетинок.

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, отличающаяся от первичной тем, что она ограничена эпителием. В полости тела находится жидкость, позволяющая этим червям поддерживать постоянство внутренней среды (рис. 4.138).

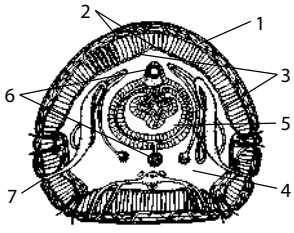


Рис. 4.138. Внутреннее строение кольчатого червя (поперечный срез):
1 — кутикула;
2 — мышцы;
3 — эпителий;
4 — вторичная полость тела;
5 — кишка;
6 — кровеносные сосуды;
7 — метанефридии

Пищеварительная система кольчецов образована передней, средней и задней кишкой. Через рот пища попадает в глотку, пищевод, а затем — в кишечник. Рот некоторых хищных червей может быть снабжен хитиновыми челюстями, у других могут иметься слюнные или известковые железы, нейтрализующие кислотность почвы, а ряд видов имеет желудок больших или меньших размеров (рис. 4.139).

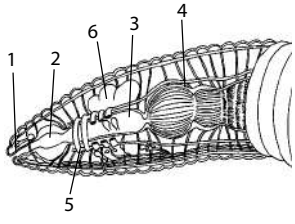


Рис. 4.139. Внутреннее строение кольчатого червя (продольный разрез):
1 — рот;
2 — глотка;
3 — пищевод;
4 — желудок;
5 — кровеносные сосуды;
6 — половые железы

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 дыхательную 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, так как из оплодотворенного яйца выходят личинки, не похожие на взрослых особей.

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.

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 (рис. 4.140), пиявка лошадиная.

Рис. 4.140. Медицинская пиявка

Роль кольчатых червей в природе и 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.

Будучи первично двустороннесимметричными животными, многие моллюски впоследствии становятся асимметричными, как, например, брюхоногие. 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. Вторичная полость тела у моллюсков сохраняется лишь в виде околосердечной сумки и полости половых желез (рис. 4.141).

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.

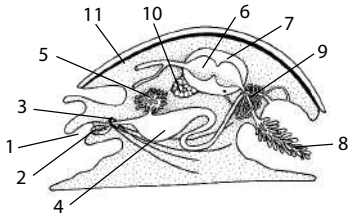


Рис. 4.141. Внутреннее строение брюхоногого моллюска:
1 — рот;
2 — терка;
3 — нервная система;
4 — желудок;
5 — печень;
6 — сердце;
7 — остаток вторичной полости тела;
8 — жабра;
9 — почка;
10 — половые железы;
11 — раковина

Дыхание у водных моллюсков осуществляется с помощью жабр, располагающихся в мантийной полости, а у сухопутных форм — с помощью легких.

Кровеносная система моллюсков незамкнутая. Сердце у них трехкамерное, с двумя предсердиями и одним желудочком. Кровь может содержать пигменты разного цвета, которые переносят кислород.

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 стволами. 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, сердце в основном двухкамерное. 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.

Брюхоногих моллюсков употребляют в пищу, используют для изготовления изделий из перламутра; некоторые виды могут наносить вред сельскому хозяйству или быть промежуточными хозяевами паразитов человека и домашних животных.

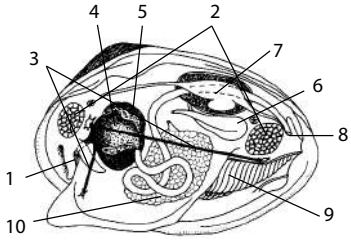


Рис. 4.142. Внутреннее строение двустворчатого моллюска:
1 — рот;
2 — мышцы;
3 — нервная система;
4 — желудок;
5 — печень;
6 — почка;
7 — сердце;
8 — анальное отверстие;
9 — жабра;
10 — половая железа

Класс Двустворчатые объединяет около 20 тыс. видов двусторонне несимметричных раковинных моллюсков (рис. 4.142). 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. Двустворчатые моллюски являются важным звеном в цепях питания водоемов.

Представители: беззубка, перловица, мидия, тридакна.

Класс Головоногие объединяет наиболее высокоорганизованных моллюсков. Их тело расчленено на голову и туловище, а нога видоизменена в воронку, с помощью которой осуществляется движение; вокруг рта имеются щупальца. Раковина у большинства представителей класса внутренняя или сильно редуцирована.

Головоногие моллюски — хищники, в связи с этим у них сформировались мощные хитиновые челюсти 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 или четыре предсердия и два желудочка. *Нервная система* высокоорганизованная. Головной нервный узел называется мозгом, он прикрыт своеобразным черепом — хрящевой капсулой. Органы чувств также высокоразвиты, в том числе имеется два сложно устроенных глаза. Головоногие — раздельнополые животные, для которых характерно внутреннее оплодотворение. Развитие прямое. Многие головоногие являются объектом промысла.

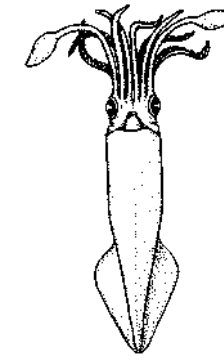


Рис. 4.143. Кальмар

Представители: кальмар (рис. 4.143), каракатица, осьминог.

Роль моллюсков в природе и 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.

Характеристика основных классов членистоногих. Особенности строения, жизнедеятельности, размножения, роль в природе и жизни человека

Тип 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, вторичнополостным животным.

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 сбрасывать ее и наращивать новую; некоторое время она не препятствует росту.

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. Число сегментов туловища варьирует от 3–5 до нескольких десятков. Членистые конечности обеспечивают не только перемещение организма в пространстве, но и могут видоизменяться для выполнения иных функций, например, превращаться в органы чувств — антенны — или быть частью ротового аппарата.

Полость тела у членистоногих смешанная, она образуется за счет слияния первичной и вторичной полостей. Функцию полостной жидкости выполняет у них *гемолимфа*, которая образуется в результате смешивания крови и тканевой жидкости.

Пищеварительная система членистоногих состоит из трех отделов. Передний образован ртом, глоткой, пищеводом и желудком, а в среднем может находиться крупная пищеварительная железа — печень, однако поскольку пищеварение зачастую происходит непосредственно в полости, ее вряд ли следует считать полноценным гомологом печени позвоночных животных.

Кровеносная система членистоногих незамкнутая, она состоит из сердца и слабо развитых кровеносных сосудов. По ней циркулирует не кровь, а ее смесь с тканевой жидкостью — гемолимфой, 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 ганглиями, 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.

Роль членистоногих в природе и жизни человека очень велика: они являются важным звеном в цепях питания водоемов и наземных экосистем, играют существенную роль в круговороте веществ в природе, участвуют в процессах биологической очистки вод и в процессах почвообразования. Некоторых членистоногих разводят для получения продуктов питания, шелка и т. д. Однако многие из них являются вредителями сельского хозяйства, возбудителями и переносчиками опасных болезней человека и животных.

Характеристика основных классов членистоногих

Тип Членистоногие делят на ряд более мелких систематических групп, однако наибольшее количество видов характерно только для трех классов: Ракообразные, Паукообразные и Насекомые (хотя в настоящее время насекомых делят на два класса).

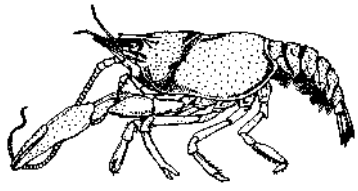


Рис. 4.144. Внешнее строение ракообразных

Класс Ракообразные объединяет около 40 тыс. видов, главным образом водных животных. Тело ракообразных покрыто хитиновым панцирем, зачастую инкрустированным известью. Оно делится на голову, грудь и брюшко, хотя голова и грудь могут сливаться в *головогрудь* (рис. 4.144). 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 — клешни, служащие для захвата и разрывания пищи. На брюшке расположены плавательные ножки, а на конце — видоизмененные в хвостовой плавник конечности. У самок имеется четыре пары брюшных ножек, а у самцов — пять. Брюшные ножки самок служат убежищем для молодых рачков, а хвостовой плавник — для передвижения.

Пищеварительная система ракообразных имеет вид пищеварительной трубки. Рот снабжен сложным ротовым аппаратом, за ним следуют глотка, пищевод, желудок и кишечник, снабженный печенью. В желудке могут находиться специальные приспособления для перетирания пищи, например хитиновые зубцы, известковые зерновки (рис. 4.145).

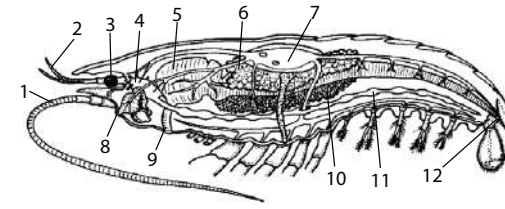


Рис. 4.145. Внутреннее строение ракообразного:
1 — антенна;
2 — антеннула;
3 — глаз;
4 — головной мозг;
5 — желудок;
6 — печень;
7 — сердце;
8 — почка (зеленая железа);
9 — рот;
10 — половая железа;
11 — брюшная нервная цепочка;
12 — анальное отверстие

Дыхание представителей класса осуществляется с помощью жабр, 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.

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. Фасеточные глаза представляют собой сложное образование из многочисленных простых глазков. Они формируют не цельное изображение предмета, а как бы разбитое на участки, похожее на мозаику. Такое зрение называют мозаичным.

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 (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Сравнительная характеристика отрядов ракообразных

Отряд, количество видов	Характерные признаки	Представители
Веслоногие, свыше 1800	Тело расчленено на головогрудь, грудь и брюшко, на головогруди имеется 1 глазок и 6 пар конечностей, для плавания служат длинные антеннулы	Циклоп
Десятиногие, 8500	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, 4500	Тело сплющено в спинно-брюшном направлении, делится на голову, грудь и брюшко, грудные ножки ходильные, брюшные выполняют дыхательную функцию	Мокрица, водяной ослик
Усоногие, свыше 1000	Тело снабжено известковым панцирем, усовидные грудные ножки образуют густую сеть, обеспечивающую питание и дыхание	Морские желуди, морские уточки

Роль ракообразных в природе и 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 некоторые ракообразные являются промежуточными хозяевами различных паразитов человека и животных.

Класс Паукообразные. Около 63 тыс. видов. Представлен в основном сухопутными формами. Хитиновый покров достаточно тонкий, что облегчает их вес, однако у паукообразных имеется особый слой на его поверхности, который защищает от высыхания. Тело делится на головогрудь и брюшко, сегментация у большинства видов не выражена. Характерным представителем паукообразных является *паук-крестовик*.

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, дыхания (легкие или трахеи) или превратились в паутинные бородавки. Паутинные железы многих паукообразных выделяют нити паутины, из которых они ткут ловчие сети и яйцевые коконы, с их помощью даже расселяются.

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. Поглощение растворенного содержимого тела жертвы осуществляется благодаря сокращению мышц глотки и сосательного желудка (рис. 4.146).

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 в виде трубочки, с парными отверстиями по бокам.

Выделительная система представлена мальпигиевыми сосудами, которые открываются в задний отдел кишечника, и коксальными железами в головогруди, у основания ходильных конечностей.

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, так как самцы могут вкладывать свои половые продукты в специальные семяприемники самок. Развитие прямое. Распределяются паучки при помощи выпускаемых тонких паутинок.

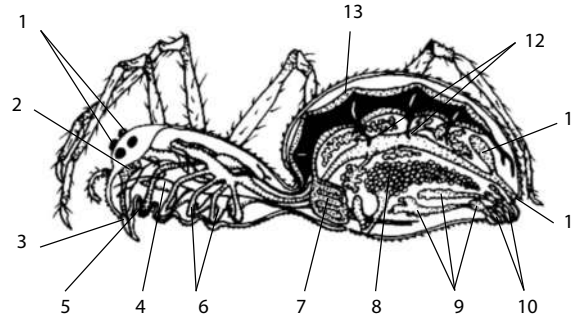


Рис. 4.146. Внутреннее строение паука:

1 — глазки;
2 — ядовитая железа;
3 — хелицера;
4 — головной мозг;
5 — рот;
6 — выросты средней кишки;
7 — легкое;
8 — яичник;
9 — паутинные железы;
10 — паутинные бородавки;
11 — анальное отверстие;
12 — печень;
13 — сердце;
14 — мальпигиевы сосуды

Основные отряды паукообразных: Пауки, Сенокосцы, Сольпуги, Скорпионы, Акариформные и Паразитиформные клещи (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Сравнительная характеристика отрядов паукообразных

Отряд, количество видов	Характерные признаки	Представители
Пауки, свыше 27 000	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, 2500	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, 15 000	Тело или его часть слитные, дыхание кожное или трахейное	Чесоточный зудень, волосяные клещи, паутинный клещ
Паразитиформные клещи, 10 000	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

Роль паукообразных в природе и жизни человека. Клещи — вредители сельскохозяйственных растений, портят запасы зерна, вызывают болезни животных, растений и человека, являются переносчиками ряда опасных заболеваний человека (клещевой энцефалит, возвратный тиф и др.).

Класс Насекомые. Наибольшая 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. 4.147). 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 (рис. 4.148), 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

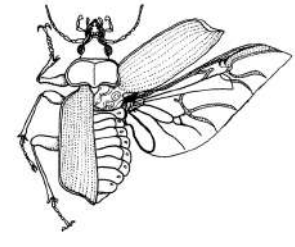


Рис. 4.147. Строение тела насекомого (на примере жука-красотела)

Рис. 4.148. Грызущий ротовой аппарат

надкрылья или полунадкрылья. Количество сегментов брюшка может существенно варьировать, однако они редко несут конечности, как прямокрылые, яйцеклад которых представляет собой видоизмененные брюшные ножки.

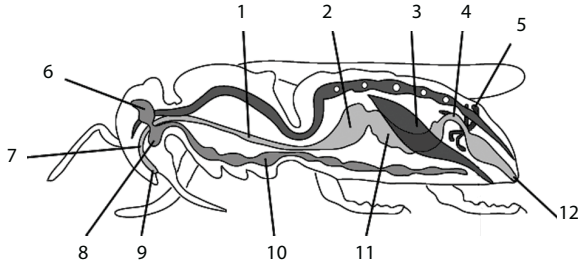


Рис. 4.149. Внутреннее строение насекомого:
1 — пищевод;
2 — желудок;
3 — яичник;
4 — задняя кишка;
5 — мальпигиевы сосуды;
6 — надглоточный нервный узел;
7 — глотка;
8 — подглоточный нервный узел;
9 — рот;
10 — брюшная нервная цепочка;
11 — средняя кишка;
12 — анальное отверстие

Пищеварительная система. У насекомых сложный ротовой аппарат, образованный верхней и нижней губой, а также тремя парами челюстей. Пищеварительная система состоит из трех отделов. В переднем отделе, помимо рта, глотки, пищевода и желудка, может развиваться зоб. К нему примыкают слюнные железы, обеспечивающие переваривание пищи, а у некоторых насекомых и железы, выделяющие шелк или паутину. На границе среднего и заднего отделов кишечника могут быть слепые выросты, улучшающие переваривание пищи (рис. 4.149).

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 полностью трахеи, а только обеспечивает перемещение питательных веществ и продуктов их обмена.

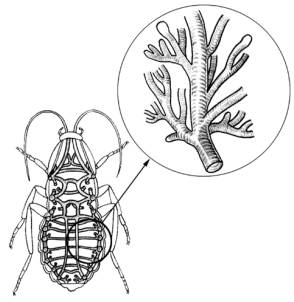


Рис. 4.150. Трахеи насекомых

Дыхательная система образована системой трахей (рис. 4.150), которые пронизывают все тело насекомого, вплоть до крыльев, и обеспечивают процесс газообмена. Трахеи открываются на брюшке особыми отверстиями — *дыхальцами*.

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.

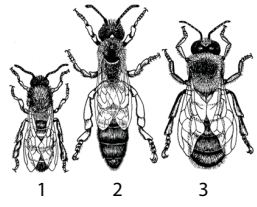


Рис. 4.151. Медоносная пчела:
1 — рабочая пчела;
2 — матка;
3 — трутень

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 (рис. 4.151). 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 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 семяприем-

ник. 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 (рис. 4.152) и стрекоз, либо с полным превращением (со стадией куколки), как у бабочек (рис. 4.153) и мух.

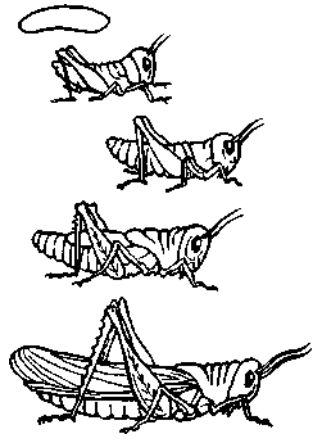


Рис. 4.152. Развитие с неполным превращением

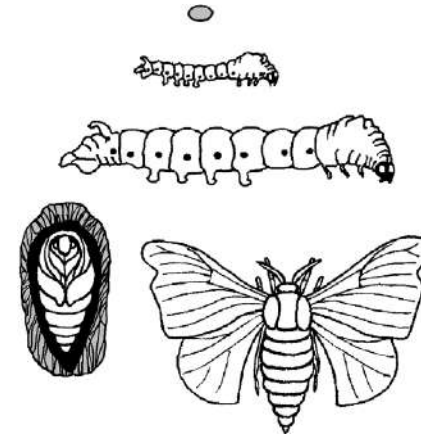


Рис. 4.153. Развитие с полным превращением

Основные отряды насекомых: Чешуекрылые, или Бабочки, Блохи, Вши, Двукрылые, Жесткокрылые, или Жуки, Полужесткокрылые, или Клопы, Перепончатокрылые, Прямокрылые, Равнокрылые, Стрекозы, Таракановые (табл. 4.4).

Роль насекомых в природе и жизни человека. Насекомые — наиболее крупная и экологически разнообразная группа животных на Земле. Особенно их роль велика в биоценозах 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 и луговой мотылек уничтожают посевы злаков; яблонный долгоносик, яблонная плодожорка и другие повреждают плодово-ягодные культуры; непарный и кольчатый шелкопряды, сосновый пилильщик, сосновый долгоносик наносят ущерб древесным насаждениям; зерновые запасы истребляют жуки-чернотелки, амбарный долгоносик 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. Для борьбы с ними применяют химические, биологические, генетические, агротехнические и организационные методы. Химические методы предусматривают использование химических веществ, которые уничтожают насекомых, отпугивают их или привлекают к ловушкам (после чего их уничтожают). Биологические методы борьбы, которые относятся к наиболее перспективным, связаны с разведением хищников и паразитов насекомых-вредителей сельскохозяйственных культур.

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 лесного хозяйства, сорняками, повышения продуктивности посевов сельскохозяйственных культур, переработки биоорганических отходов и т. д.

Таблица 4.4

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 30 000	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 20 000	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 4500	Две пары сетчатых крыльев, тело обычно вытянутое, голова подвижная, глаза очень крупные; ротовой аппарат грызущий	Коромысло, лютка, красотка
Таракановые, 2500	Две пары крыльев (передняя — кожистые надкрылья, задние — веерные перепончатые); ротовой аппарат грызущий; яйца откладывает в оболочке	Черный таракан, рыжий таракан, или прусак
Насекомые с полным превращением		
Блохи, около 1000	Крылья редуцированы; конечности хорошо развиты, особенно задние (прыгательные); ротовой аппарат колюще-сосущий	Человеческая блоха
Двукрылые, около 80 000	Одна пара сетчатых крыльев, вторая преобразована в жужжальца; ротовой аппарат колющий или лижущий	Комар малярийный, муха комнатная, жужжало
Жесткокрылые, или жуки, около 250 000	Две пары крыльев (первая — жесткие надкрылья без жилок, вторая — перепончатые); ротовой аппарат грызущий	Жужелица-карабус, колорадский жук
Перепончатокрылые, более 30 0000	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 140 000	Две пары крыльев, покрытых чешуйками; ротовой аппарат сосущий (у личинок — гусениц — грызущий)	Капустная белянка, платяная моль, махаон

4.7. Хордовые животные. Характеристика основных классов. Роль в природе и жизни человека. Распознавание (на рисунках) органов и систем органов у животных

Хордовые животные

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.

Основные признаки строения и жизнедеятельности хордовых:

1. Развитие осевого скелета хотя бы на одной из стадий онтогенеза. Осевой скелет представлен 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.
2. Закладка над осевым скелетом (хордой) из эктодермы центральной нервной системы в виде полой трубки. Первоначально нервная трубка объединена с хордой общей оболочкой и расположена на спинной стороне тела. В передней части нервной трубки у подавляющего большинства развивается головной мозг.
3. Наличие хотя бы на одном из этапов развития кишечной трубки, пронизанной жаберными щелями в области глотки. Таким образом, начальные отделы 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.
4. Вторичная полость тела.
5. Кровеносная система замкнутая, у большинства снабжена мускульным насосом — сердцем.
6. Хордовые — вторичноротые животные, у которых первичный рот, образовавшийся при гаструляции, превращается в анальное отверстие, а вторичный рот прорывается на противоположном конце тела.
7. Сегментация тела четко выражена на ранних эмбриональных этапах развития и сохраняется только у низших хордовых, тогда как у высших она выражена слабо.
8. Двухсторонняя симметрия тела, которая характерна и для других групп организмов.
9. Поперечнополосатая скелетная мускулатура.

Классификация хордовых

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. 4.154).

Подтип Бесчерепные

К бесчерепным относят приблизительно 30 видов преимущественно донных зарывающихся в песок животных, обитающих в теплых морях, в том числе и Черном. У представителей типа пожизненно сохраняются все признаки хордовых. Подтип состоит всего из одного класса — Головохордовые, типичным представителем которого является ланцетник обыкновенный (рис. 4.155).

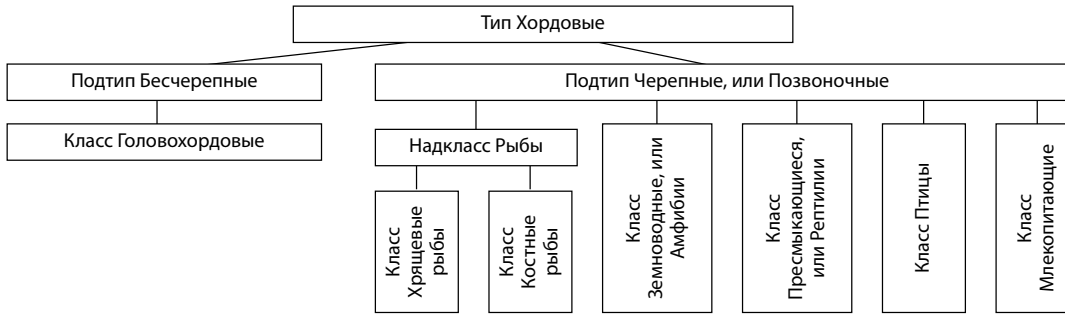


Рис. 4.154. Классификация хордовых

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, 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. В глотке имеются железистые клетки, секрет которых склеивает пищевые частицы, а затем они по желобку, выстланному ресничным эпителием, продвигаются в кишечник. В кишечнике происходит переваривание пищи под действием пищеварительных соков печеночного выроста (рис. 4.156).

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. В жабрах происходит процесс газообмена.

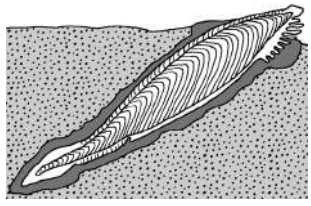


Рис. 4.155. Ланцетник, зарывающийся в песок

Кровеносная система ланцетника незамкнутая, сердце отсутствует. По брюшному сосуду кровь движется к жабрам, где обогащается кислородом в жаберных сосудах, а затем по спинному сосуду разносится ко всем органам. Движение крови осуществляется за счет сокращений стенок брюшной артерии и нижней части жаберных сосудов («жаберных сердец»). 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.

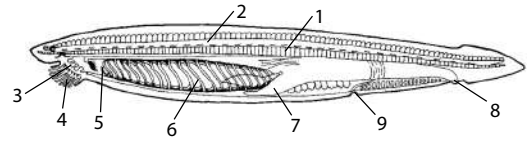


Рис. 4.156. Внутреннее строение ланцетника:
1 — хорда;
2 — нервная трубка;
3 — рот;
4 — щупальца;
5 — глотка;
6 — жаберная щель;
7 — печеночный вырост;
8 — анальное отверстие;
9 — жаберная пора

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 жизни человека. Ланцетники являются важным звеном в цепях питания морских биоценозов. В некоторых регионах 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Дыхательная система рыб представлена жабрами, сидящими на жаберных дугах. Увеличение поверхности газообмена происходит за счет выпячиваний межжаберных стенок — жаберных лепестков. Наземные позвоночные дышат с помощью легких.
5. Кровеносная система замкнутая, имеет мышечный насос — сердце.
6. Выделительная система образована почками, мочеточниками и мочевым пузырем. У рыб выделение также может происходить через жабры.
7. 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.
8. 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.

Надкласс Рыбы объединяет первичноводных позвоночных животных с обтекаемой формой тела, покрытого чешуей. Рыбы способны к активному передвижению с помощью плавников. У них

имеются как парные (грудные и брюшные), так и непарные (спинной, хвостовой, анальный) плавники. Скелет рыб представлен позвоночником с более или менее развитыми ребрами, черепом с жаберными дугами и челюстями, а также скелетами конечностей. Питание рыб осуществляется за счет активного захвата пищи с помощью подвижных челюстей. У рыб пожизненно сохраняется жаберное дыхание. Также у них имеется особый орган чувств — боковая линия, с помощью которого рыбы ощущают колебания воды и распознают в окружающей среде различные предметы. Орган слуха у рыб представлен тремя полукружными каналами. Их ноздри не сообщаются с дыхательной полостью, а обслуживают только орган обоняния.

В зависимости от того, какой тканью образован скелет рыбы, надкласс делят на два класса: Хрящевые и Костные рыбы.

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 (рис. 4.157).

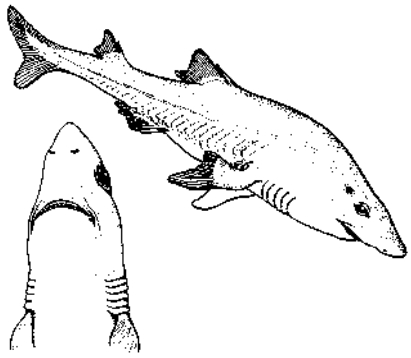


Рис. 4.157. Внешнее строение акулы

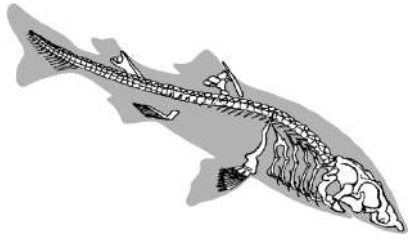


Рис. 4.158. Скелет акулы

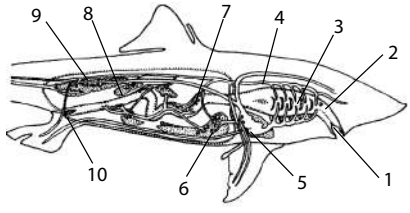


Рис. 4.159. Внутреннее строение акулы:
1 — рот;
2 — глотка;
3 — жабра;
4 — кровеносные сосуды;
5 — сердце;
6 — печень;
7 — желудок;
8 — кишечник;
9 — почка;
10 — клоака

Скелет хрящевых рыб состоит из черепа и позвоночника с прикрепленными к нему ребрами и скелетами конечностей. 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), состоящих из небольших хрящей, к которым прикрепляются палочковидные хрящи — лучи плавников (рис. 4.158).

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. 4.159).

Дыхание у хрящевых рыб жаберное. Жаберные щели, в отличие от ланцетников, открываются наружу отдельными отверстиями.

Кровеносная система у представителей класса замкнутая, сердце двухкамерное, состоит из предсердия и желудочка. Кровь из сердца поступает в жаберные артерии, где обогащается кислородом и далее разносит его ко всем внутренним органам.

Выделительная система хрящевых рыб состоит из почек и мочеточников, впадающих в клоаку. Удаление аммиака, образующегося в процессе жизнедеятельности, частично происходит и через жабры.

Нервная система хрящевых рыб делится на *центральную* и *периферическую*. К центральной нервной системе относятся головной и спинной мозг. Головной мозг делится на пять отделов (передний, промежуточный, средний, мозжечок и продолговатый). У хрящевых рыб имеются органы зрения (глаза), слуха (внутреннее ухо), обоняния (обоня-

тельные 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. Основные отличия скатов от акул: уплощение тела в спинно-брюшном направлении, расположение жаберных щелей на брюшной стороне, слабое развитие хвостового плавника.

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 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, причем размеры чешуек увеличиваются с возрастом рыбы. Для костных рыб характерны парные (грудные и брюшные) плавники, а также непарные (спинной и анальный) (рис. 4.160).

Скелет костных рыб состоит из скелета головы, туловища и скелетов плавников. В скелете головы, как уже упоминалось выше, кроме мозговой части, жаберных дуг и челюстей, есть жаберные крышки. Позвоночник образован костными позвонками, он делится на туловищный и хвостовой отделы. Со спинной стороны в позвоночнике имеется канал, в котором проходит спинной мозг, и остистые отростки. В туловищном отделе к нижним отросткам позвонков прикрепляются ребра, а в хвостовом отделе эти отростки образуют канал для хвостовой вены. В отличие от хрящевых, скелет грудных плавников костных рыб может сочленяться с осевым скелетом с помощью поясов плавников.

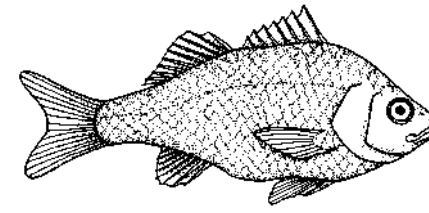


Рис. 4.160. Внешнее строение костной рыбы

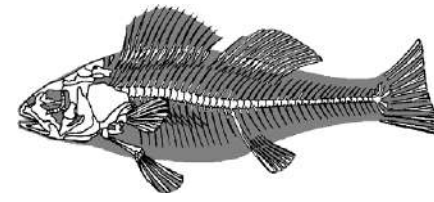


Рис. 4.161. Скелет костной рыбы

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. 4.161).

Пищеварительная система костных рыб образована ротовой полостью, глоткой, пищеводом, желудком и кишечником, открывающимся наружу анальным отверстием. Челюстные и другие кости многих рыб, например глоточные, вооружены зубами. Ротовая полость слабо отграничена от глотки, ведущей в короткий пищевод. Желудок имеет различные формы и размеры, однако у некоторых рыб выражен слабо. Разделение на тонкий и толстый кишечник у костных рыб выражено слабее, чем у хрящевых. В начале кишечника могут иметься слепые выросты, увеличивающие поверхность пищеварения. В кишечник открываются протоки печени и слабо выраженной поджелудочной железы (рис. 4.162).

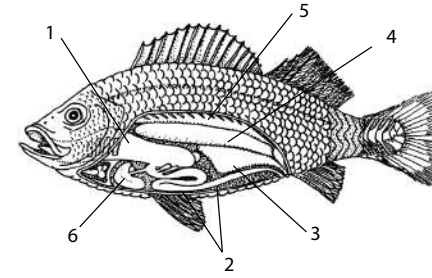


Рис. 4.162. Внутреннее строение костной рыбы:
1 — желудок;
2 — кишечник;
3 — яичник;
4 — плавательний пузырь;
5 — почки;
6 — сердце

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, сливающихся перед выходом наружу в один канал, который открывается наружу отдельным отверстием позади анального. У некоторых рыб имеется и мочевой пузырь. Частично выделение продуктов обмена веществ может происходить через жабры и кожу.

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, которые образуют на голове сложную сеть. Наружу боковая линия открывается множественными отверстиями в чешуе и костях рыбы, а в ее глубине расположены многочисленные чувствительные клетки, воспринимающие волновые движения в воде.

Костные рыбы — раздельнополые организмы, которым свойственно наружное оплодотворение. Парные семенники и яичники снабжены особыми каналами, которые открываются наружу отдельно от мочевого отверстия. Икра у костных рыб, как правило, мелкая, с тонкой студенистой оболочкой.

Значительная часть рыб совершает кормовые или нерестовые миграции, например кета из Тихого океана заходит для нереста в Амур, а европейский угорь, наоборот, из пресных водоемов Европы и Северной Африки устремляется к Бермудским и Багамским островам. Из-за миграций этих рыб называют проходными. Некоторым костным рыбам свойственна забота о потомстве (трехиглая колюшка, морской конек и др.).

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 (табл. 4.5).

Таблица 4.5

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

Окончание таблицы 4.5

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
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
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

Роль костных рыб в природе и 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.). Вследствие избыточного промысла рыбы все больше уделяют внимание ее охране и разведению. Например, в рыбоводческих хозяйствах разводят карпов, 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: остронотусов, дискусов, вуалехвостов, скалярий и др.

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 4500 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 глаза, 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 (рис. 4.163).

Рис. 4.163. Внешнее строение земноводного

Скелет земноводных делится на скелет головы (череп), скелет туловища и скелет конечностей (передних и задних).

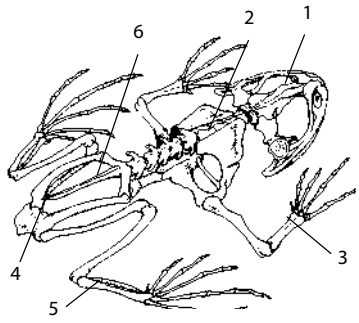


Рис. 4.164. Скелет лягушки:
1 — череп;
2 — плечевой пояс;
3 — передние конечности;
4 — тазовый пояс;
5 — задние конечности;
6 — уростиль

В черепе кости мозгового отдела срастаются с верхнечелюстной костью, тогда как нижнечелюстная остается свободной.

Основную часть скелета туловища составляет позвоночник, который делится на шейный, туловищный, крестцовый и хвостовой отделы (рис. 4.164). В шейном отделе 1 позвонок, в туловищном — 7, в крестцовом — 1, а многочисленные позвонки последнего, хвостового отдела, выраженные у хвостатых земноводных, у бесхвостых срастаются в хвостовую кость — уростиль. В скелете туловища имеется также грудина, а у хвостатых земноводных еще и короткие ребра, прикрепляющиеся к позвонкам туловищного отдела.

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 состоит из скелетов плеча, предплечья, запястья, пясти и фаланг пальцев. Скелет плеча образован плечевой костью, скелет предплечья — локтевой и лучевой костями, а скелеты запястья, пясти и фаланг пальцев — более мелкими костями. У лягушки локтевая и лучевая кости срастаются в одну, что связано со способом ее передвижения.

Скелет задних конечностей состоит из пояса задних конечностей (тазового пояса) и скелета свободных задних конечностей. Тазовый пояс образован сросшимися тазовыми костями и хрящами, которые прирастают к крестцовому отделу позвоночника. Скелет свободных задних конечностей состоит из бедра, голени, предплюсны, плюсны и фаланг пальцев. Скелет бедра образован бедренными костями, скелет голени — большой и малой берцовой костями, а скелеты предплюсны, плюсны и фаланг пальцев — несколькими десятками более мелких костей. У лягушки кости голени срастаются в одну, как и в передних конечностях.

В связи со способом передвижения земноводных мускулатура у них достаточно хорошо развита, особенно на конечностях.

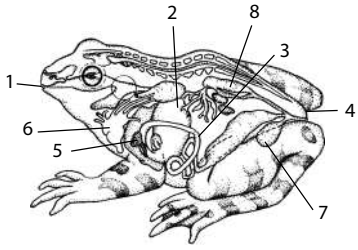


Рис. 4.165. Внутреннее строение земноводных:
1 — рот;
2 — желудок;
3 — кишечник;
4 — клоака;
5 — печень;
6 — сердце;
7 — мочевой пузырь;
8 — почка

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. Из ротоглоточной полости пищевой комок попадает по короткому пищеводу в сравнительно слабо выраженный желудок, где подвергается действию пищеварительных ферментов. В тонком кишечнике продолжается переваривание пищи под действием секретов печени и поджелудочной железы и происходит ее всасывание, тогда как в толстом осуществляется обратное всасывание воды. Толстая кишка открывается в клоаку (рис. 4.165).

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, состоящее 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.

Выделение у земноводных осуществляется при помощи почек, из которых мочеточники выносят мочу в клоаку, куда может открываться и мочевой пузырь.

Нервная система земноводных делится на *центральную* и *периферическую*. В отличие от рыб, у земноводных передний мозг разделен на два полушария, а мозжечок развит слабее, что обусловлено меньшим разнообразием движений на суше.

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 полость, примыкающая к перепончатому лабиринту, один конец которой открывается в ротоглоточную полость, а другой, выходящий наружу, затянут барабанной перепонкой. В среднем ухе находится единственная слуховая косточка — стремечко, передающая звуковые колебания с барабанной перепонки в перепончатый лабиринт. Боковая линия у земноводных имеется только на личиночной стадии.

Для земноводных характерно только половое размножение. 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 (табл. 4.6).

Таблица 4.6

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 3500	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

Роль земноводных в природе и 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. 4.166). 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). У змей количество позвонков в грудо-поясничном отделе может достигать 300. 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, межреберная мускулатура, которая обеспечивает вентиляцию легких.

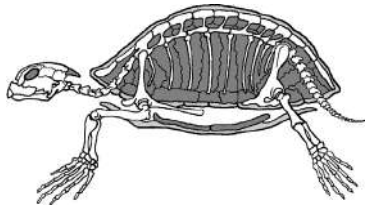


Рис. 4.166. Скелет черепахи

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 некоторых змей имеются ядовитые зубы, снабженные ядовитыми железами. При помощи этих зубов змеи убивают добычу. 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. 4.167).

Дыхательная система пресмыкающихся представлена легкими и дыхательными путями: гортанью, трахеей и бронхами. Всасывание воздуха в легкие и его вытеснение происходит вследствие расширения и сужения грудной клетки, которые осуществляются благодаря движениям ребер и межреберных мышц.

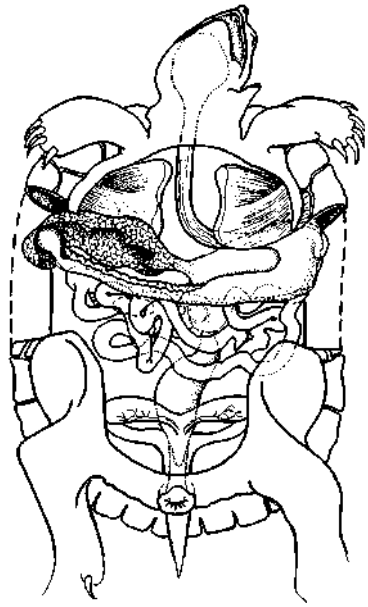


Рис. 4.167. Пищеварительная система черепахи

Кровеносная система замкнутая, с двумя кругами кровообращения. Сердце у рептилий трехкамерное, с неполной перегородкой 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 мало растворима 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. Поведение рептилий более сложное, чем у амфибий, у них в два раза быстрее вырабатываются условные рефлексы.

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 как за счет изменения положения хрусталика в глазном

яблоке, так и за счет изменения его кривизны (двойная аккомодация). 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 (табл. 4.7). К ним принадлежит и самая многочисленная группа пресмыкающихся, вымерших около 65 млн лет назад в результате экологической катастрофы, — Динозавры. Они передвигались на двух или четырех конечностях, питались растительной или животной пищей. В настоящее время известно около 600 видов динозавров, в том числе игуанодон, стегозавр, птеродактиль, диплодок, ихтиозавр, плезиозавр. Некоторые черты динозавров характерны для современных видов пресмыкающихся — гаттерий, крокодилов и черепах.

Таблица 4.7

Сравнительная характеристика отрядов пресмыкающихся

Отряд, число видов	Характерные признаки	Представители
Чешуйчатые, около 6 500 видов	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 видов	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 вида	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

Роль пресмыкающихся в природе и 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 (рис. 4.168) и хвоста, обтекаемой формы тела, облегчении скелета, 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.

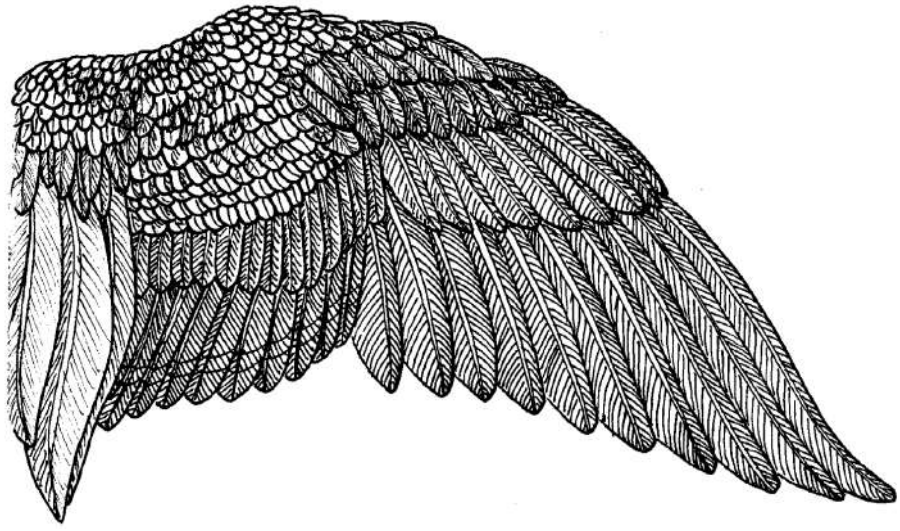


Рис. 4.168. Крыло птицы

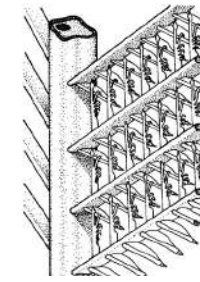


Рис. 4.169. Структура пера

Рис. 4.170. Контурное перо

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 (рис. 4.169). Благодаря такой конструкции опахало представляет собой упругую пластинку. Перья делятся на контурные (рис. 4.170) и пуховые. 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, вследствие чего их опахала не образуют пластинок. Пуховые перья располагаются под контурными, они обеспечивают термоизоляцию, особенно у водоплавающих птиц. 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. У птиц постоянно происходит смена оперения, однако у одних видов это происходит постепенно, а другие вследствие потери значительной части перьевого покрова (линьки) временно утрачивают способность к полету (гуси, утки, лебеди).

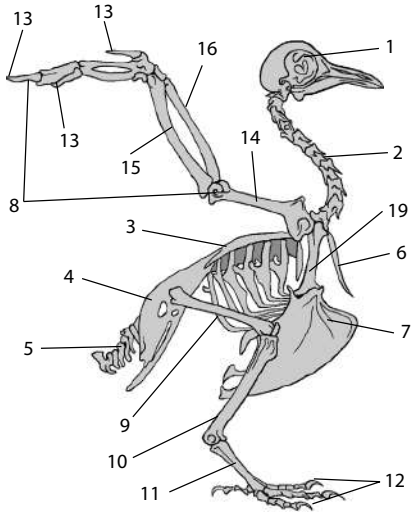


Рис. 4.171. Скелет птицы:
1 — череп;
2 — шейный отдел позвоночника;
3 — грудной отдел позвоночника;
4 — сложный крестец;
5 — хвостовые позвонки;
6 — вилочка;
7 — киль грудины;
8 — крыло;
9 — бедро;
10 — голень;
11 — цевка;
12 — пальцы ног;
13 — пальцы верхних конечностей;
14 — плечевая кость;
15 — локтевая кость;
16 — лучевая кость

Особенностями скелета птиц в связи с приспособлением к полету и хождением на задних конечностях являются преобразование конечностей и их поясов, облегчение скелета, а также срастание многих костей на ранних этапах развития.

Скелет птицы состоит из скелета головы, скелета туловища и скелетов конечностей (рис. 4.171). 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. 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 плечо, предплечье и кисть, однако часть костей запястья и пясти срастаются, образуя *пряжку*. Сохраняется только три пальца.

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.

Мускулатура птиц развита намного сильнее, чем у рептилий. Особенно развиты мышцы, обеспечивающие способность птиц к полету — грудные и подключичные мышцы, которые находятся не на самих крыльях, а крепятся к килю грудины, тогда как к крыльям тянутся только сухожилия.

Среди птиц имеются как растительноядные и насекомоядные, 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 (рис. 4.172). 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. Так, у домового воробья гусеница переваривается за 15 мин, жук — за 1 ч, а зерно — за 3–4 ч.

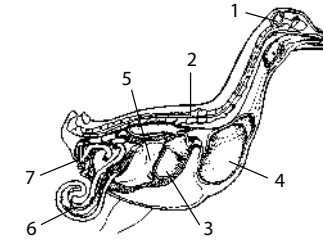


Рис. 4.172. Внутреннее строение птиц:
1 — головной мозг;
2 — спинной мозг;
3 — сердце;
4 — пищевод;
5 — желудок;
6 — кишечник;
7 — клоака

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, что обеспечивает разнообразие звуков, издаваемых птицами (рис. 4.173).

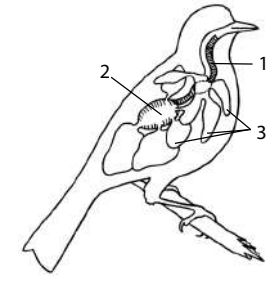


Рис. 4.173. Дыхательная система птиц:
1 — трахея;
2 — легкие;
3 — воздушные мешки

Кровеносная система птиц замкнутая, с двумя кругами кровообращения. Сердце четырехкамерное, у некоторых мелких птиц оно способно сокращаться до 1000 раз в минуту. Из левого желудочка берет начало большой круг кровообращения, обеспечивающий мозг и другие внутренние органы кислородом артериальной крови. От органов обедненная кислородом кровь возвращается уже в правое предсердие, и из правого желудочка

выталкивается к легким по малому кругу кровообращения. Заканчивается малый круг в левом предсердии.

Выделительная система представлена почками и мочеточниками, открывающимся 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.

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. Развитие только одного яичника связано с откладыванием крупных яиц, покрытых твердой скорлупой. Созревшая яйцеклетка попадает в яйцевод, в верхней части которого происходит оплодотворение, а затем она покрывается белковой, двумя подскорлуповыми и известковой скорлуповой оболочками, и лишь затем выводится наружу.

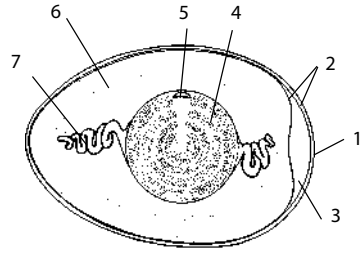


Рис. 4.174. Строение яйца:
1 — скорлуповая оболочка;
2 — подскорлуповая оболочка;
3 — воздушная камера;
4 — желток;
5 — зародышевый диск;
6 — белковая оболочка;
7 — халазы

Яйцо птиц относительно крупных размеров, поскольку содержит значительный запас питательных веществ для развития зародыша (желток, белок) (рис. 4.174). 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. Скорлуповая оболочка пронизана порами, обеспечивающими газообмен с окружающей средой, ее известь частично используется для формирования костей скелета. Скорлупа должна быть прочной, чтобы выдержать вес насиживающего яйцо родителя. К тому же она часто имеет маскировочную окраску.

Годовой цикл жизни птиц и сезонные явления. Большинству видов птиц свойственно сложное брачное поведение, когда самцы соревнуются за самок более ярким оперением, размерами тела, более громким голосом и т. д. После создания пары начинается период гнездования, когда птицы строят гнезда различных конструкций, начиная от простых углублений в почве, и заканчивая сложнейшими «зонтами» колоний африканских ткачей, подвешенными на ветке. Селиться птицы могут как колониями, так и одиночно. В гнездах откладывают до трех десятков яиц, число которых ограничено возможностями как насиживания, так и выкармливания. Насиживание яиц длится от 9 суток у мелких воробьиных до 44 у беркута (у курицы — 21 сутки, у утки — 28). Из яйца в основном могут вылупляться либо слепые, долго остающиеся в гнезде птенцы, либо зрячие, способные почти сразу кормиться самостоятельно и следовать за матерью. Птенцов первого типа называют *птенцовыми*, или *гнездовыми*, они характерны для дятлов, стрижей, голубей и др. Птенцы второго типа относятся к *выводковым*, таких птенцов имеют куры, утки, гуси. У гнездовых птиц выкармливание птенцов в гнезде продолжается до 90 дней (у беркута), тогда как у более мелких птиц этот период гораздо короче. У некоторых видов птенцы покидают гнездо лишь после того, как научатся летать.

В течение года птицы меняют свое оперение. Например, у белой куропатки летнее оперение — серое, а на зиму меняется на белое.

В послегнездовое время птицы могут перемещаться на некоторое расстояние в поисках корма — мигрировать. По дальности перемещений их делят на оседлых, кочевых и перелетных.

Оседлые птицы не покидают районов гнездования, они зачастую делают запасы корма на зиму или перемещаются по угодьям, в том числе и поближе к жилью человека (белая куропатка, ворона, городской воробей). *Кочующие* перемещаются на довольно значительные расстояния, однако не покидают ареала гнездования (серая ворона, грач). В отличие от них, *перелетные* птицы покидают ареал гнездования и совершают миграции на далекие расстояния (белый аист, ласточка деревенская, полярная крачка). Во время миграций птицы ориентируются по различным ориентирам, но основным, по-видимому, является магнитное поле Земли. Некоторые птицы на зиму впадают в спячку.

Классификация птиц. Класс Птицы делится на три надотряда: Пингвинообразные, Страусообразные и Типичные птицы (табл. 4.8).

Таблица 4.8

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, 8500	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
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 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

Окончание таблицы 4.8

Систематическая группа, число видов	Характерные признаки	Места гнездования	Представители
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
Отряд Курообразные, 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

Происхождение птиц. Птицы имеют некоторые черты строения, роднящие их с рептилиями, однако только в середине XIX века было найдено доказательство этого родства — скелет археоптерикса — нелетающего животного с передними конечностями-крыльями, тело которого было покрыто перьями. Несмотря на внешнее сходство с современными птицами, он, по-видимому, представляет собой тупиковую ветвь эволюции, поскольку скелет был слишком тяжел, и передвигался он, цепляясь за ветки сохранившимися тремя пальцами с крючками на концах (похожие приспособления к лазанию имеют птенцы современных гоацинов). На ногах у археоптерикса имелось 3 пальца, направленных вперед, и 1 — назад. Настоящие птицы появились в конце мезозоя.

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).

Представители класса различаются по способу добычи пищи: ласточки и стрижи ловят насекомых в полете, синицы, пищухи и корольки собирают их, соколы и совы — хищники, клест и дубонос — зерноядные.

Роль птиц в природе и жизни человека. Птицы играют важнейшую роль в регуляции численности различных беспозвоночных животных, наносящих вред сельскому и лесному хозяйству. Кроме того, они издавна одомашнены человеком, ценится не только их мясо, но и яйца, перья, кожа.

Класс Млекопитающие включает свыше 4 тыс. видов теплокровных животных, кожа которых имеет волосяной покров и многочисленные железы. Большая часть млекопитающих рождает живых детенышей и выкармливает их молоком. Головной мозг отличается сильным развитием коры больших полушарий.

Размеры тела представителей класса варьируют в пределах от 3,5 см у бурозубки до 33 м у синего кита, а масса — от 1,5 г до 150 т. 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. Видоизменениями эпидермиса являются волосы, когти, ногти, рога и копыта млекопитающих, а также разнообразные железы. Для представителей класса характерны потовые и сальные железы. Потоотделение позволяет млекопитающим снизить температуру тела, а кожное сало защищает шерсть и кожу от химических воздействий окружающей среды и намокания. 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.

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. 4.175). 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, первые два позвонка — атлант и эпистрофей — обеспечивают подвижность шеи. 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 млекопитаю-

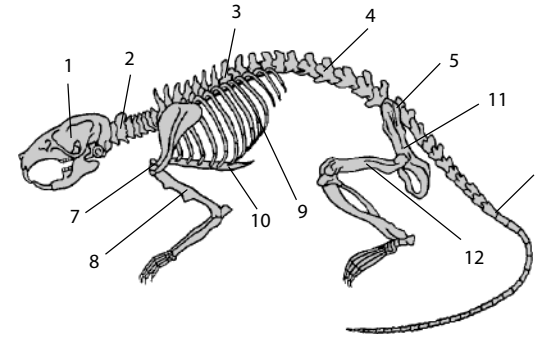


Рис. 4.175. Скелет млекопитающего:
1 — череп;
2 — шейный отдел позвоночника;
3 — грудной отдел позвоночника;
4 — поясничный отдел позвоночника;
5 — крестцовый отдел позвоночника;
6 — хвостовой отдел позвоночника;
7 — плечевой пояс;
8 — скелет передней конечности;
9 — ребра;
10 — грудина;
11 — тазовый пояс;
12 — скелет задней конечности

щих, так, у лошадей, собак и грызунов редуцированы ключицы, тогда как вороньи кости отсутствуют почти у всех представителей класса. Тазовые же кости срастаются. На конечностях может быть различное количество пальцев: у парнокопытных остаются третий и четвертый пальцы, а у непарнокопытных — только третий.

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.

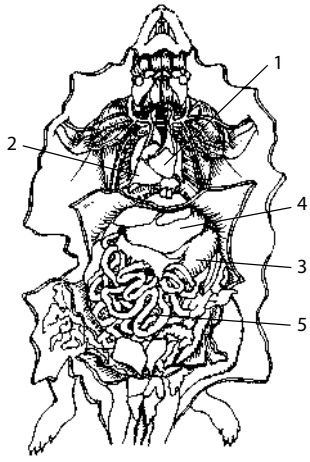


Рис. 4.176. Внутреннее строение млекопитающего:
1 — сердце;
2 — легкое;
3 — желудок;
4 — печень;
5 — кишечник

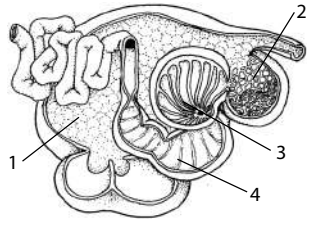


Рис. 4.177. Желудок коровы:
1 — рубец;
2 — сетка;
3 — сычуг;
4 — книжка

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: у волка — 6 резцов, 1 клык, 8 предкоренных и 4–6 больших коренных, тогда как у кролика на верхней челюсти 4 резца, на нижней — 2, клыки отсутствуют, а коренных зубов — 12 и 10 соответственно.

В ротовую полость открываются протоки слюнных желез, выделяющих слюну с пищеварительными ферментами, которая обладает бактерицидными свойствами. Например, у коровы вырабатывается до 50 л слюны в сутки. Из ротовой полости через глотку и пищевод пища попадает в хорошо выраженный желудок (рис. 4.176), который может иметь до четырех отделов, как у жвачных животных (рубец, сетку, книжку и сычуг), собственно желудком является сычуг (рис. 4.177).

Кишечник делится на тонкий, толстый и прямой отделы. 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, оборудуют 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. Общее число видов ныне живущих млекопитающих в мире более 4 тыс. Их делят на два подкласса: Первозвери и Настоящие звери (табл. 4.9). 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.

Таблица 4.9

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 грудине имеется киль; активны в основном ночью и в сумерках; способны к эхолокации	Вампир обыкновенный, ночница большая, вечерница рыжая

Окончание таблицы 4.9

Систематическая группа, количество видов	Характерные признаки	Представители
Отряд Грызуны, 1600	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
Отряд Парнокопытные, 170	Конечности высокие, тонкие, шея длинная, морда вытянутая; на ногах по четыре пальца, из которых хорошо развиты третий и четвертый; 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

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 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.).

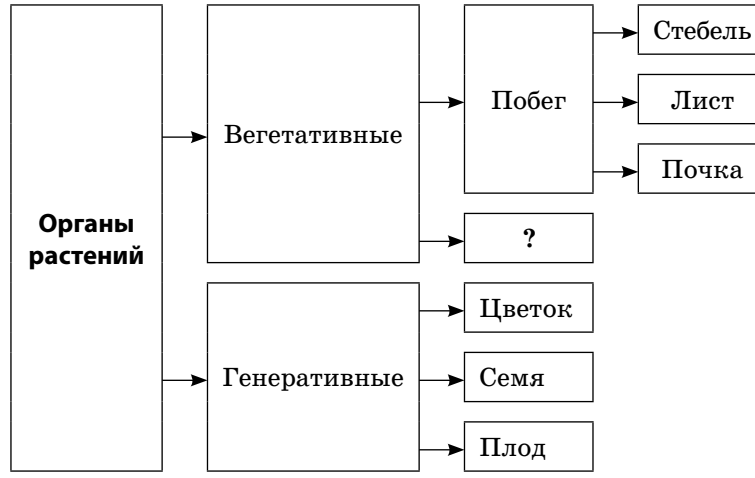
Численность многих видов млекопитающих настолько уменьшилась в результате хозяйственной деятельности человека и охоты, что они нуждаются в охране и занесены в Красную книгу Российской Федерации.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 4 «СИСТЕМА И МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–21 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему классификации органов цветковых растений. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме знаком вопроса.



Ответ:_____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Грибы, как и бактерии,

1) имеют клеточную стенку
2) содержат в клетке пластиды
3) относятся к клеточной форме жизни
4) являются автотрофами
5) размножаются спорами

Ответ: ☐☐

3 У мха кукушкин лен диплоидный набор хромосом равен 14. Сколько хромосом содержится в его клетках на протяжении большей части жизненного цикла? В ответе запишите только количество хромосом.

Ответ:_____

4 Все перечисленные ниже признаки, кроме двух, используются для описания изображенного на рисунке организма. Определите два признака, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) первичная полость тела
2) слепозамкнутая пищеварительная система
3) половой диморфизм
4) сегментация
5) выделение — протонефридии

Ответ: ☐☐

5 Установите соответствие между признаками организма и классом, для которого они характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ	КЛАССЫ
А) жилкование перистое или сетчатое	1) Однодольные
Б) жилкование параллельное или дуговое	2) Двудольные
В) листья простые или сложные	
Г) корневая система мочковатая	
Д) корневая система стержневая	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

6 Подсчитайте общую биомассу почвенных бактерий на 1 га чернозема, если биомасса их достигает 370 г на 1 м^2. В ответе запишите только количество килограммов.

Ответ:_____

7 Все приведенные ниже термины, кроме двух, используются для описания бурых водорослей. Определите два термина, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) ламинарин
2) многоклеточные
3) конъюгация
4) кремнезем
5) морские

Ответ:

8 Установите соответствие между признаками членистоногих и классами, для которых они характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

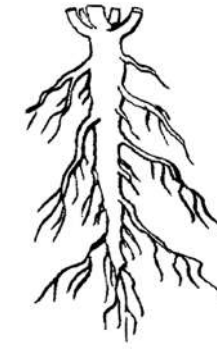
ПРИЗНАКИ	КЛАССЫ
А) одна пара усиков	1) Насекомые
Б) четыре пары ходильных конечностей	2) Паукообразные
В) простые глазки	
Г) жировое тело	
Д) трахейное дыхание	

Запишите в таблицу выбранные **цифры** под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

9 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



Если в процессе эволюции у растения сформировался вегетативный орган, изображенный на рисунке, то для этого растения характерны

1) опыление
2) зависимость от воды в процессе оплодотворения
3) распространение при помощи спор
4) наличие семязачатка
5) уменьшение гаметофита
6) прикрепление к почве при помощи ризоидов

Ответ:

10 Установите соответствие между признаками животных и классами, к которым их относят: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ	КЛАССЫ
А) способны изменять глубину погружения с помощью плавательного пузыря	1) Костные рыбы
Б) пояса парных плавников соединены с осевым скелетом	2) Хрящевые рыбы
В) продвижение пищи по пищеварительной системе замедляется с помощью спирального клапана	
Г) некоторые представители имеют легкое	
Д) пищеварительная, выделительная и половая системы открываются в клоаку	
Е) имеют 5–7 пар жаберных щелей	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите последовательность расположения систематических таксонов животного, начиная с таксона самого низшего ранга. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) Чешуекрылые
2) Насекомые
3) Белянка капустная
4) Членистоногие
5) Белянка
6) Животные

Ответ: ☐☐☐☐☐☐

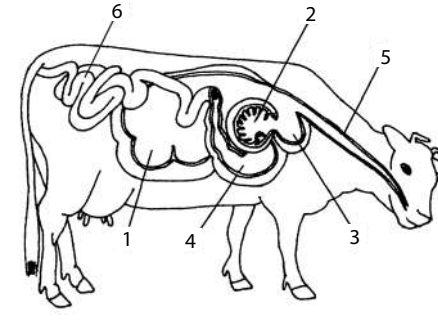
12 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Для ветроопыляемых растений характерны
1) выделение нектара
2) невзрачные цветки
3) сухая пыльца
4) яркая окраска венчиков
5) цветение и опыление до распускания листьев
6) одиночные цветки

Ответ: ☐☐☐

13 Выберите три верно обозначенные подписи к рисунку, на котором изображено строение пищеварительной системы жвачных животных. Запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) рубец
2) пищевод
3) книжка
4) сычуг
5) сетка
6) тонкий кишечник



Ответ: ☐☐☐

14 Установите последовательность расположения слоев на поперечном срезе корня в зоне всасывания, начиная с покровной ткани. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

1) перицикл
2) флоэма
3) кожица
4) паренхима
5) ксилема

Ответ: | | | | | |

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых даны описания характерных признаков класса Млекопитающие. Запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

(1) Кожа млекопитающих имеет волосяной покров и многочисленные железы, в том числе млечные. (2) Скелет млекопитающих делится на скелет головы, скелет туловища и скелеты конечностей. (3) Шейный отдел позвоночника характеризуется наличием семи позвонков. (4) Кровеносная система млекопитающих замкнутая, имеет два круга кровообращения. (5) Млекопитающие — раздельнополые животные. (6) У самок большинства видов имеется матка, они живородящие и выкармливают детенышей молоком.

Ответ: | | | |

16 Установите соответствие между симптомами заболеваний человека и царствами, к которым принадлежат их возбудители: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

СИМПТОМЫ	ЦАРСТВА
А) периодические приступы озноба и лихорадки	1) бактерий
Б) паховые «бубоны»	2) животных
В) резкие судороги	
Г) нарушение цикла сна	
Д) кожные язвы	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Доказательством принадлежности малярийного плазмодия к классу споровиков служит
1) наличие ядра
2) наличие пелликулы
3) внутриклеточный паразитизм
4) образование ложноножек
5) множественное деление
6) формирование цист при неблагоприятных условиях

Ответ: | | | |

18 Установите соответствие между видом животного и типом кровеносной системы, характерной для данного организма: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ВИДЫ	КРОВЕНОСНЫЕ СИСТЕМЫ
А) ланцетник обыкновенный	1) замкнутая
Б) лягушка озерная	2) незамкнутая
В) улитка виноградная	
Г) каракурт	
Д) дождевой червь	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

19 Установите последовательность процессов двойного дыхания у птиц. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) крылья поднимаются
2) грудная клетка приближается к позвоночнику
3) часть воздуха попадает в воздушные мешки
4) объем грудной клетки уменьшается
5) ребра распрямляются и подаются вперед

Ответ:

20 Проанализируйте таблицу «Ткани растений». Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин из предложенного списка.

Тип ткани	**Тип клеток**	**Функция**
_____ (А)	Сосуды, трахеиды	Восходящий транспорт воды и минеральных солей
Флоэма	_____ (Б)	Нисходящий транспорт органических веществ
Основная	Паренхима	_____ (В)

Список терминов:
1) эпидерма
2) камбий
3) ксилема
4) ситовидные клетки
5) замыкающие клетки
6) транспирация
7) фотосинтез
8) выделение

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте гистограмму соотношения кожного и легочного дыхания у трех видов позвоночных животных. По оси X расположены виды позвоночных животных, а по оси Y — вклад каждого вида дыхания в общее дыхание.

Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа гистограммы.

1) Животное 3 обитает в наземно-воздушной среде.
2) У животного 2 имеется несколько дыхательных центров в головном мозге.
3) У животного 3 отсутствуют легкие.
4) У животного 1 кожа влажная.
5) У животного 1 развитие непрямое.

Запишите в ответе номера выбранных утверждений.

Ответ:_____

Часть 2

Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

22 Известно, что в атмосферном воздухе концентрация углекислого газа в норме составляет около 0,035%. Растения поместили в климатическую камеру с определенной концентрацией углекислого газа. Сравните график зависимости интенсивности фотосинтеза у растений в атмосферном воздухе (рис. А) и растений в климатической камере (рис. Б). Объясните наблюдаемое явление. Определите концентрацию углекислого газа в климатической камере (менее 0,035%, равна 0,035%, более 0,035%).

Рис. А

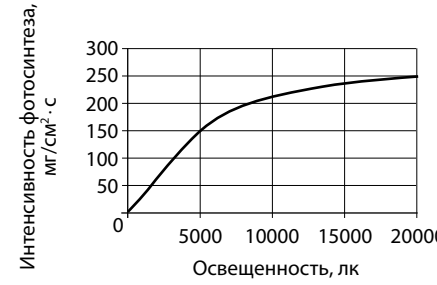


Рис. Б

Ответ:_____

23 Какие процессы изображены на рисунках А и Б? Назовите структуру клетки, изменения в которой происходят в первую очередь в ходе этих процессов? Какие преобразования далее произойдут с организмами, изображенными на рисунке А?

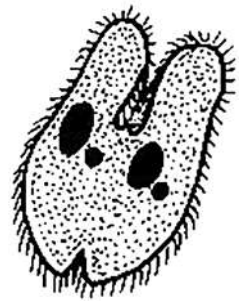


рис. А

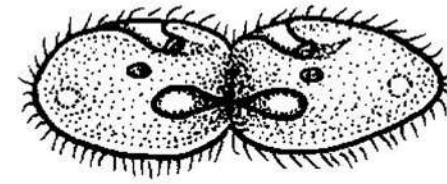


рис. Б

Ответ:

24 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) У голосеменных встречаются все основные жизненные формы растений: деревья, кустарники и травы. (2) У них впервые формируется система главного корня. (3) Семязачатки голосеменных лежат открыто на чешуйках женских шишек. (4) Внутри семязачатка формируется женский гаметофит — зародышевый мешок. (5) Мужские гаметофиты — пыльцевые зерна — созревают в пыльцевых мешках на нижней стороне мужских шишек. (6) Опыление голосеменных происходит с помощью ветра, воды и животных. (7) Голосеменные являются одними из основных продуцентов экосистем, их древесину и продукты ее переработки используют в строительстве и промышленности.

Ответ:

25 В конце XVIII в. голландский врач Ян Ингенхауз провел эксперимент, в котором использовал ветки одного растения и одинаковые сосуды с водой. Один сосуд с водой и веткой он оставил на свету, а другой поместил в темноту. Через некоторое время Я. Ингенхауз обнаружил, что листья веток выделяют пузырьки неодинаково. Как выделялись пузырьки в разных сосудах? Объясните причину. Сформулируйте закономерность, установленную Я. Ингенхаузом.

Ответ:

26 Каковы приспособления паукообразных к обитанию в наземно-воздушной среде? Приведите не менее трех приспособлений и поясните свой ответ.

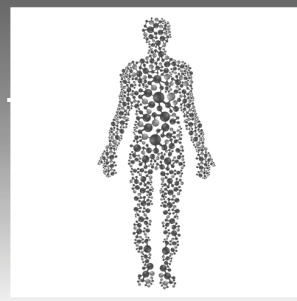
Ответ:

27 В кариотипе одноклеточной зеленой водоросли хламидомонады 34 хромосомы. Какова генетическая формула клеток хламидомонады, если мейоз у нее происходит непосредственно в зиготе? Объясните, как образуется такое число хромосом?

Ответ:

28 Интенсивность фотосинтеза составляет в среднем 20 мг/дм^2·ч. Какова должна быть площадь кожи у человека, если бы он был способен осуществлять фотосинтез? Суточная потребность в энергии составляет около 7000 кДж, энергетическая ценность углеводов — 17,2 кДж/г.

Ответ:



Раздел 5

Организм человека и его здоровье

5.1. Ткани. Строение и жизнедеятельность органов и систем органов: пищеварения, дыхания, выделения. Распознавание (на рисунках) тканей, органов, систем органов

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*.

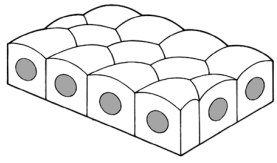


Рис. 5.1. Эпителий

Эпителиальная ткань, или *эпителий* (рис. 5.1), покрывает тело, выстилает все полости внутренних органов и образует различные железы. Она выполняет барьерную, разграничительную, защитную, обменную (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.

По расположению и выполняемым функциям эпителии делят на железистые и поверхностные. *Железистые эпителии* являются основой желез внутренней и внешней секреций, 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. Многослойные эпителии относят также к ороговевающим и неороговевающим. Так, многослойный плоский ороговевающий эпителий покрывает наше тело и называется эпидермисом кожи, а неороговевающий выстилает, например, ротовую полость.

Соединительная ткань заполняет все промежутки между органами и другими тканями и составляет более 50 % массы тела человека (рис. 5.2). Отличительной особенностью 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 структурообразующую функции.

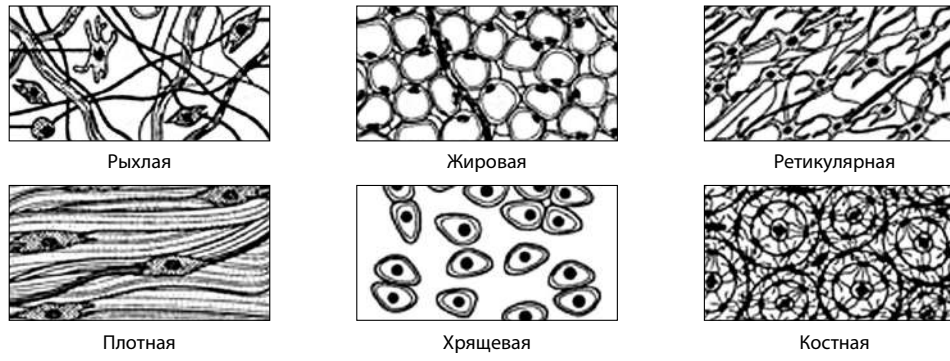


Рис. 5.2. Соединительная ткань

Соединительную ткань делят на собственно соединительные ткани, скелетные и ткани внутренней среды, или трофические (кровь и лимфу). Кровь и лимфа будут рассмотрены отдельно (см. Раздел 5.3). К собственно соединительным тканям относят плотную и рыхлую волокнистые соединительные, ретикулярную и жировую ткани.

В межклеточном веществе *плотной волокнистой соединительной ткани* преобладают коллагеновые и эластические волокна, из нее состоят связки и сухожилия, а также мышечные фасции и надкостница.

В *рыхлой волокнистой соединительной ткани* преобладает аморфное вещество.

Ретикулярная ткань образует своеобразную сетку из волокон и отростчатых клеток, она играет важную роль в процессе кроветворения.

Плотная и рыхлая соединительная ткани образуют дерму кожи, сопровождают сосуды и нервы, вместе с ретикулярной тканью формируют такие органы как печень, селезенка, красный костный мозг, лимфатические узлы.

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 межклеточном веществе и соединяются друг с другом отростками. Структурно-функциональной единицей костной ткани является *остеон* (см. Раздел 5.2).

Хрящевая ткань соединяет кости скелета, образует суставные поверхности, формирует дыхательные пути, ушную раковину, крылья носа и т. д. Ее межклеточное вещество насыщено водой, в нем имеются коллагеновые и эластические волокна. Основными клетками хрящевой ткани являются *хондроциты*, расположенные группами в межклеточном веществе.

Мышечными называют ткани, отличительной особенностью которых является возбудимость и сократимость. Их сокращение обусловлено взаимодействием актиновых и миозиновых микрофиламентов (микронитей). Элементы мышечной ткани обыкновенно имеют вытянутую форму. Они обеспечивают движение тела человека, сокращение стенок ряда внутренних органов и принимают участие в осуществлении некоторых важнейших функций жизнедеятельности. Так, ритмические сокращения сердца обеспечивают движение крови по сосудам. Мышечные ткани делят на гладкую и поперечнополосатые (исчерченные), к которым относят скелетную и сердечную поперечнополосатые мышечные ткани. Исчерченность поперечнополосатой мышечной ткани обусловлена регулярным, чередующимся расположением актиновых и миозиновых микронитей.

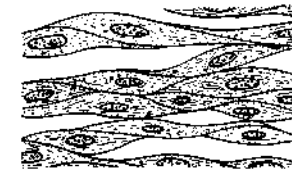


Рис. 5.3. Гладкая мышечная ткань

Клетки гладкой мышечной ткани — *миоциты* — имеют веретеновидную форму и единственное палочковидное ядро (рис. 5.3). Сокращения миоцитов ритмичны и не зависят от сознания человека, поэто-

му данную ткань называют еще непроизвольной. Этот вид ткани залегает в стенках полых внутренних органов, таких как пищевод, желудок, мочевой пузырь, артерии и др.

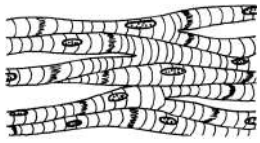


Рис. 5.4. Сердечная поперечно-полосатая мышечная ткань

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. 5.4). Благодаря особым клеточным контактам они способны сокращаться одновременно. Поперечнополосатая сердечная ткань образует средний слой стенки сердца — миокард.

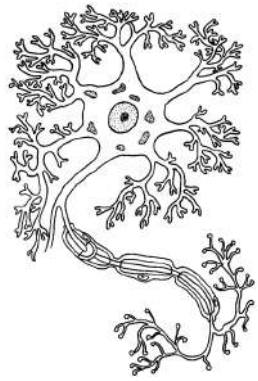


Рис. 5.5. Нейрон

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 (образованию нервных импульсов) и его проведению (рис. 5.5).

Нейроны состоят из тела и отростков. Отростки, по которым нервный импульс приходит в нейрон, называются *дендритами*, а передающие его другим клеткам — *аксонами*.

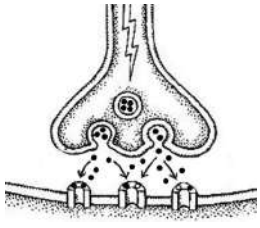


Рис. 5.6. Синапс

Передача информации в виде нервного импульса от одного нейрона к другому или на другие клетки происходит через особый вид клеточных контактов — щелевидные *синапсы* (рис. 5.6). Передающий импульс нейрон выделяет путем экзоцитоза специальное вещество — *медиатор*, 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, их называют *нейросекреторными*.

Питание, защита и изоляция нейронов друг от друга являются функциями клеток *нейроглии*, которая заполняет все промежутки между нейронами.

Нервная ткань является основным структурно-функциональным элементом нервной системы, образует головной и спинной мозг, а также нервы и нервные узлы.

Строение и жизнедеятельность органов системы пищеварения

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, он делится на три отдела: передний, средний и задний. В переднем отделе осуществляется в основном механическая обработка пищи, в среднем — химическое расщепление, всасывание и формирование каловых масс, а в заднем они накапливаются и время от времени удаляются. Передний отдел состоит из ротовой полости, глотки и пищевода, средний включает в себя желудок, тонкий и толстый кишечник, а задний представлен частью прямой кишки (рис. 5.7).

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 и щеки представляют собой складки кожи с мышечной подстилкой из круговой мышцы рта и щечных мышц. Губы обеспечивают восприятие температуры и консистенции пищи.

У ребенка насчитывается 20 молочных зубов, а у взрослого человека — 32 постоянных. Процесс смены зубов завершается к 12–14 годам.

Постоянный *зуб* имеет коронку, шейку и корни (рис. 5.8). Коронка покрыта эмалью, а корни — цементом, под ними залегает слой костной ткани — дентина. 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 и 6 больших коренных зуба. Последние коренные зубы называют «зубами мудрости», так как они вырастают позднее всего, к 20–25 годам.

С помощью зубов пища разделяется на куски, измельчается и пережевывается.

Наиболее распространенным заболеванием зубов является *кариес*, который вызывается бактериями, обитающими в ротовой полости. Эти бактерии выделяют кислоту, разрушающую эмаль зубов. В немалой степени кариесу способствует употребление горячей и холодной пищи. Кариес может вызвать развитие заболеваний как пищеварительной системы, так и других систем органов.

Собственно ротовая полость спереди и по бокам ограничена зубами, сверху — твердым и мягким небом, а снизу — диафрагмой рта, на которой лежит язык. В нее, как и в преддверие рта, открываются слюнные железы.

У человека имеется 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 (pH > 7,0).

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. Попадание пищевого комка на корень языка стимулирует глотательный рефлекс и продвижение пищи через глотку и пищевод в желудок. При этом должен закрыться надгортанник, чтобы она не оказалась в дыхательных путях. Язык вместе с зубами участвует в формировании членораздельной речи (рис. 5.9).

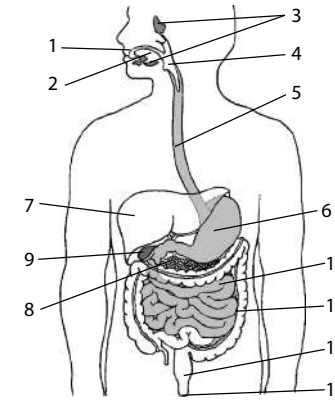


Рис. 5.7. Пищеварительная система человека:
1 — ротовое отверстие;
2 — язык;
3 — слюнные железы;
4 — глотка;
5 — пищевод;
6 — желудок;
7 — печень;
8 — поджелудочная железа;
9 — желчный пузырь;
10 — тонкий кишечник;
11 — толстый кишечник;
12 — прямая кишка;
13 — анальное отверстие

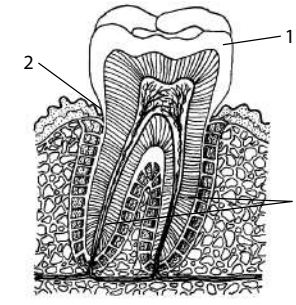


Рис. 5.8. Строение зуба:
1 — коронка;
2 — шейка;
3 — корни

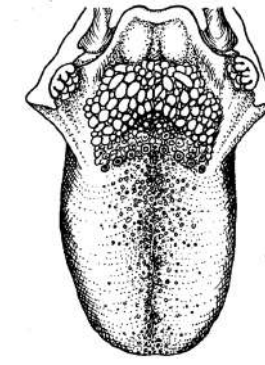


Рис. 5.9. Язык

В глубине ротовой полости также размещаются миндалины, выполняющие защитную функцию.

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.

Все органы пищеварительной системы, расположенные в брюшной полости — желудок, тонкий и толстый кишечник, не разбросаны там беспорядочно, а подвешены на брыжейках — тяжах соединительной ткани.

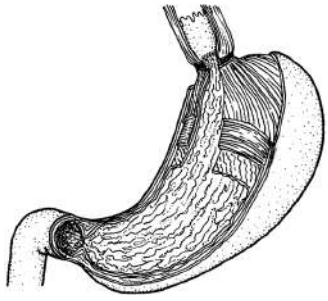


Рис. 5.10. Строение желудка человека

Желудок — полый мышечный орган объемом 1,5–2 л. Стенки желудка выстланы эпителием, который выделяет желудочный сок и слизь, предотвращающую переваривание стенок желудка (рис. 5.10). 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 (pH < 7,0). Под действием пепсина происходит расщепление белков до аминокислот. Сокращение стенок желудка обеспечивает перемешивание пищи и ее продвижение в направлении кишечника. В желудке пища задерживается от 2 до 48 часов в зависимости от ее химической природы.

На границе желудка и тонкого кишечника находится сфинктер — круговая мышца, не позволяющая пище возвращаться обратно, если она поступила в кишечник.

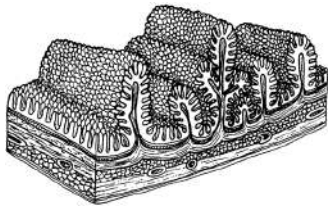


Рис. 5.11. Строение стенки тонкого кишечника

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.

Стенки тонкого кишечника покрыты многочисленными выростами эпителия — ворсинками, а также содержат многочисленные кишечные железки, вырабатывающие кишечный сок. В тонком кишечнике под действием ферментов сока поджелудочной железы и кишечного сока, выделяемого железистыми клетками стенок, 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 (pH > 7,0). Стенки ворсинок кишечника имеют микроворсинки, что способствует значительному увеличению поверхности всасывания растворенных веществ, которые попадают в кровеносные и лимфатические капилляры, пронизывающие ворсинки изнутри, а затем разносятся по всему организму (рис. 5.11). Следует отметить, что углеводы и аминокислоты всасываются в кровь и обязательно проходят через печень, тогда как продукты расщепления жиров, поступающие в лимфу, минуют печень.

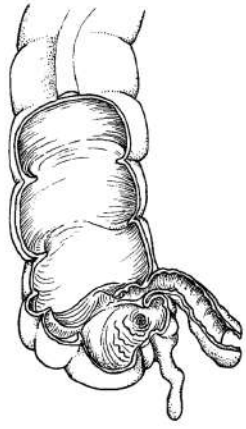


Рис. 5.12. Толстый кишечник с червеобразным отростком

В *толстом кишечнике*, образованном слепой, ободочной и прямой кишками, завершается расщепление веществ, происходит обратное всасывание воды и формируются каловые массы (рис. 5.12). 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. Каловые массы периодически удаляются из организма путем дефекации.

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 (рис. 5.13). 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. Эмульгированием называется дробление крупных капель жира на более мелкие, что облегчает доступ ферментов к ним. 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.

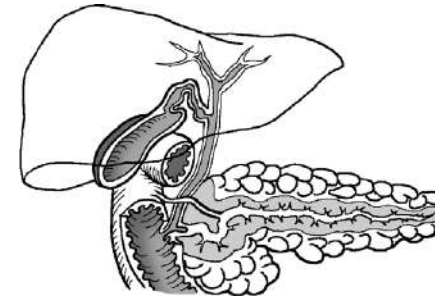


Рис. 5.13. Печень и поджелудочная железа

Поджелудочная железа (рис. 5.13) 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.

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.

Заболевания системы пищеварения. Так как пищеварительная система сообщается с окружающей средой, то она является одной из наиболее уязвимых для возбудителей различных заболеваний частью нашего организма. Наиболее распространенными в наше время заболеваниями пищеварительной системы являются гастриты, колиты, язва желудка и двенадцатиперстной кишки, гепатиты, рак желудка, кишечника и др. Гастриты, колиты и язвы в большинстве своем вызываются неправильным питанием, излишней эмоциональностью и некоторыми бактериями, обитающими в них. Возбудителями гепатитов являются вирусы, которые попадают в организм в основном при нарушении правил гигиены питания (немытые руки, овощи и фрукты), а также через сыворотку крови. Некоторые формы гепатита легко диагностируются и могут быть излечены, тогда как гепатит С, называемый также «ласковым убийцей», протекает в основном бессимптомно и приводит к гибели человека. Человек, зараженный гепатитом, долгое время является источником инфицирования для других людей. Достаточно широко распространены различные кишечные инфекции и инвазии (заражение животными — возбудителями заболеваний). Попадание в организм некоторых простейших животных, бактерий и вирусов, таких как возбудители амебной и бактериальной дизентерии, холеры, как правило, сопровождается диареей (поносом), а также повышением температуры, болями в области живота и обезвоживанием организма. Заражение же паразитическими червями, такими как цепни и острицы, часто связано с потерей веса и аппетита, снижением иммунитета и аллергическими реакциями. Не следует забывать, что больной при этом является разносчиком паразитов. Таким образом, культура питания тесно связана с соблюдением правил личной гигиены.

Строение и жизнедеятельность органов системы дыхания

Дыхание является одной из важнейших функций живого организма, которая обеспечивает высвобождение энергии химических связей органических соединений и образование конечных продуктов обмена — углекислого газа и воды. Если без пищи человек может прожить около 30 дней, без воды — 10, то без воздуха — до 6 минут, после чего наступают необратимые изменения в головном мозге. В организме человека и ряда животных дыхание является многостадийным процессом, в процессе которого воздух поступает в легкие, затем его кислород диффундирует в кровь, транспортируется из нее в ткани, проникает в клетки, где, наконец, и происходит непосредственно процесс высвобождения энергии, называемый *тканевым дыханием*.

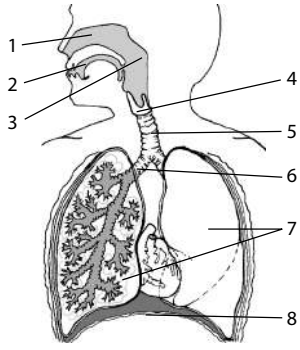


Рис. 5.14. Дыхательная система человека:
1 — носовая полость;
2 — ротовая полость;
3 — носоглотка;
4 — гортань;
5 — трахея;
6 — бронхи;
7 — легкие;
8 — диафрагма

Внешнее дыхание, или процесс газообмена между организмом и окружающей средой, целиком зависит от функционирования дыхательной системы. Кроме того, она играет важную роль в терморегуляции, осуществлении выделительной и речевой функций. Так, поддержание постоянства температуры тела связано с образованием водяного пара, отделение которого приводит к охлаждению тканей. Обнаружить выделение пара можно даже у спящего или находящегося в бессознательном состоянии человека, если поднести к его губам зеркало — оно обязательно запотеет. Когда же человек входит в холодную воду, происходит задержка дыхания, чтобы сохранить температуру тела. Выдыхаемый воздух, помимо углекислого газа и пара, содержит аммиак и другие летучие продукты обмена веществ, а с откашливаемой слизью может выделяться, например, мочевина. Формирование звуков также связано с дыхательной системой, поскольку именно в ней находятся голосовые связки, а в некоторых языках есть даже специальные носовые звуки (рис. 5.14).

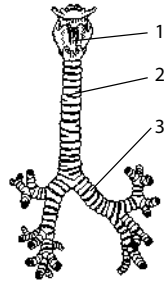


Рис. 5.15. Дыхательные пути:
1 — гортань;
2 — трахея;
3 — бронхи

Строение дыхательной системы. Дыхательная система человека состоит из дыхательных путей (рис. 5.15) и легких. Дыхательные пути, в свою очередь, подразделяются на носовую полость, носоглотку, гортань, трахею и бронхи, разветвляющиеся в легких на многочисленные канальцы — бронхиолы.

Носовая полость открывается наружу ноздрями с одной стороны и сообщается с носоглоткой с другой. Она разделена носовой перегородкой на две симметричные половины — правую и левую, каждая из которых разделена на носовые раковины и ходы. Носовая полость 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. Носовая полость сообщается и с околоносовыми пазухами, например гайморовой, участвующими в согревании воздуха и являющимися звуковыми резонаторами, и с носослезным протоком, по которому стекает часть слезной жидкости.

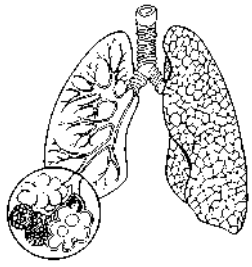


Рис. 5.16. Альвеолярное строение легких

Носоглотка сообщается не только с носовой, но и с ротовой полостью, через нее воздух попадает в гортань.

Гортань — воронкообразный соединительнотканный орган, прикрытый хрящевым надгортанником. При попадании пищи на ко-

рень языка, когда происходит рефлекторный акт глотания, надгортанник должен закрыться, чтобы пища не попала в дыхательные пути.

Передняя часть гортани сформирована щитовидным хрящом, который у мужчин срастается под острым углом и формирует *кадык*, или адамово яблоко. В гортани расположены голосовые связки, обеспечивающие вместе с зубами, языком и губами членораздельную речь. У мужчин голосовые связки длиннее, чем у женщин, вследствие чего тембр голоса обыкновенно более низкий.

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 образованы 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. Ниже левого легкого находится сердце, поэтому левое легкое меньше правого. Легкие человека имеют альвеолярное строение (рис. 5.16). 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 наружные 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: внутренние межреберные мышцы и мышцы живота сокращаются, ребра опускаются, диафрагма поднимается, объем грудной клетки уменьшается, объем легких сокращается и воздух выталкивается наружу.

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.

Состав альвеолярного воздуха отличается и от вдыхаемого, и от выдыхаемого, что объясняется смешиванием воздуха, входящего в легкие или покидающего их, с воздухом, содержащимся в самих дыхательных путях.

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. Парциальным давлением газа называют часть общего давления газов, которая определяется данным газом. Разница между напряжением газов в венозной крови и их парциальным давлением в альвеолярном воздухе составляет для кислорода около 70 мм рт. ст., а для углекислого газа — 7 мм рт. ст. Эта разница позволяет обеспечить потребности организма даже во время физической работы и занятий спортом.

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 определяется глубиной дыхания (дыхательный объем) и частотой дыхательных движений. Для исследования характеристик дыхания используют специальные приборы — спирографы, спирометры и др.

Глубина дыхания и его частота зависят от физической нагрузки, степени тренированности, эмоционального состояния, условий окружающей среды и других причин. В покое они невелики (около 500 мл воздуха и 12–18 дыхательных движений в минуту соответственно), тогда как, например, 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, содержащегося в легких после самого глубокого вдоха: является суммой жизненной емкости и остаточного объема легких (4,7–5 л).
7. *Функциональная остаточная емкость* — объем воздуха, остающегося в легких после спокойного выдоха: сумма резервного объема выдоха и остаточного объема (2,7–2,9 л). Обеспечивает выравнивание колебаний концентраций газов во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе.

Регуляция дыхания. С одной стороны, «дыхательные» нейроны посылают ритмические импульсы к межреберным мышцам и диафрагме, а с другой — чутко реагируют на сигналы, приходящие от разнообразных рецепторов. Часть рецепторов расположена в легких и дыхательных путях, реагирует на 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. Несмотря на то, что дыхательный центр расположен в продолговатом мозге, «дыхательные» нейроны расположены и в более высоких отделах нервной системы. 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.

Заболевания дыхательной системы. Так как дыхательная система непосредственно связана с окружающей средой, в нее проникают возбудители многочисленных заболеваний. Наиболее распространенными заболеваниями являются насморк, гайморит, фарингит, трахеит, бронхит, пневмония и туберкулез. Одни из них вызываются вирусами, а другие, такие как пневмония и туберкулез, — бактериями. В последнее время заболеваемость туберкулезом приобретает характер эпидемии.

Строение и жизнедеятельность органов выделительной системы

В организме человека выделение осуществляется с помощью выделительной, пищеварительной, дыхательной систем, потовых и сальных желез кожи. Однако ведущую роль в этом процессе жизнедеятельности играет именно выделительная система.

Строение выделительной системы. 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. 5.17). Функциями почек являются выведение конечных продуктов обмена веществ в процессе мочеобразования, 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. 5.18).

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 является образование слабоконцентрированной первичной мочи. Так как кровь многократно проходит через почки, то 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 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.

В немалой степени процессы мочевыделения регулируются гуморально: антидиуретический гормон (вазопрессин) гипофиза и альдостерон коры надпочечников усиливают реабсорбцию.

Заболевания выделительной системы. При нарушении правил личной гигиены существует серьезный риск различных воспалительных заболеваний. Их также могут провоцировать заболевания других органов и применение антибиотиков. Наиболее распространенными заболеваниями выделительной системы являются уретрит (воспаление мочеиспускательного канала), цистит (воспаление мочевого пузыря) и некоторые формы нефрита.

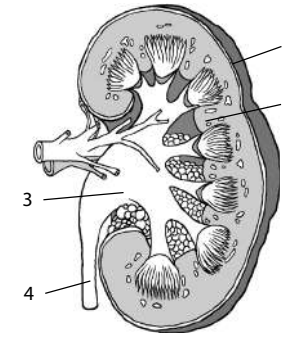


Рис. 5.17. Строение почки:
1 — корковое вещество;
2 — мозговое вещество;
3 — почечная лоханка;
4 — мочеточник

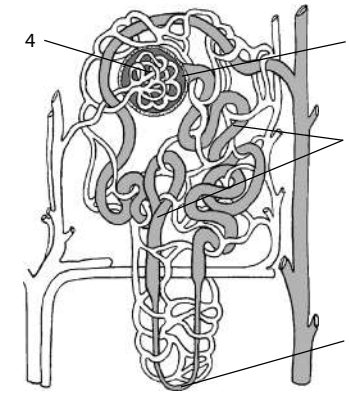


Рис. 5.18. Строение нефрона:
1 — капсула Шумлянского–Боумена;
2 — канальцы;
3 — петля Генле;
4 — капилляры

5.2. Строение и жизнедеятельность органов и систем органов: опорно-двигательной, покровной, кровообращения, лимфообращения. Размножение и развитие человека. Распознавание (на рисунках) органов и систем органов

Строение и жизнедеятельность опорно-двигательной системы

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 пассивную (скелет и его соединения) и активную (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.

Бóльшая 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*.

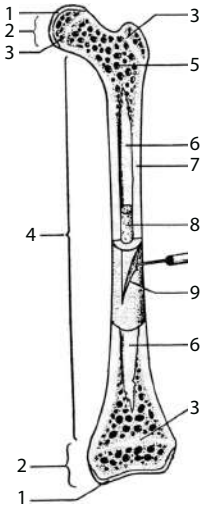


Рис. 5.19. Строение трубчатой кости:
1 — хрящ;
2 — головка;
3 — шейка;
4 — тело;
5 — губчатое вещество с красным костным мозгом;
6 — костномозговая полость;
7 — компактное вещество;
8 — желтый костный мозг;
9 — надкостница

В компактном веществе костные перекладины расположены плотно, тогда как в губчатом веществе они формируют ажурную сеть, позволяющую не только уменьшить массу кости, но и рационально перераспределить нагрузки, которым она подвергается.

С учетом особенностей строения кости скелета делятся на трубчатые, плоские, губчатые и смешанные. К плоским костям относятся кости свода черепа, лопатка, ребра, грудина, тазовые кости, к губчатым — кости запястья и предплюсны, а к смешанным — позвонки. Трубчатые кости — ключица и кости свободных конечностей, кроме запястья и предплюсны. На трубчатых костях наиболее удобно рассматривать внутреннее строение кости.

В трубчатой кости выделяют *головки*, *тело* и места перехода головок в тело — *шейки* (рис. 5.19). Основу кости составляет 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.

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. Суставная жидкость выделяется суставной сумкой для снижения силы трения суставных поверхностей (рис. 5.20). Суставы характерны не только для конечностей, они есть, например, и в местах сочленения нижней челюсти с черепом.

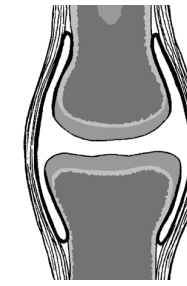


Рис. 5.20. Сустав

Строение скелета. В скелете человека различают скелет головы (череп), скелет туловища и скелеты конечностей (рис. 5.21).

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 (рис. 5.22).

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* (рис. 5.23) имеет тело и дугу, которая замыкает позвоночное отверстие, а также отростки. Совокупность позвоночных отверстий образует *позвоночный канал*, в котором проходит спинной мозг. Отростки служат для прикрепления мышц и соединения позвонков, хотя между ними имеются и хрящевые прокладки — межпозвоночные диски.

Позвоночник делится на пять отделов: *шейный*, *грудной*, *поясничный*, *крестцовый* и *копчиковый* (рис. 5.24). В шейном отделе насчитывается 7 позвонков, он обеспечивает движение головы. 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

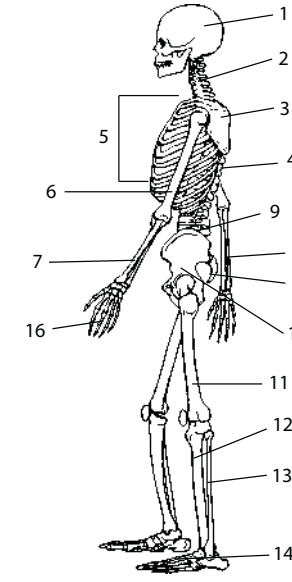


Рис. 5.21. Скелет человека:
1 — череп;
2 — шейный отдел;
3 — плечевой пояс;
4 — грудной отдел позвоночника;
5 — грудная клетка;
6 — плечевая кость;
7 — локтевая кость;
8 — лучевая кость;
9 — поясничный отдел позвоночника;
10 — тазовый пояс;
11 — бедренная кость;
12 — большая берцовая кость;
13 — малая берцовая кость;
14 — кости стопы;
15 — копчик;
16 — кости кисти

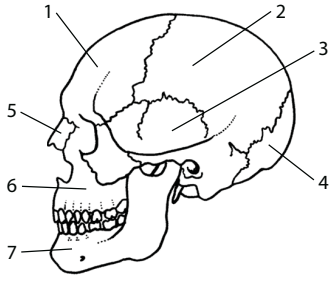


Рис. 5.22. Череп:
1 — лобная кость;
2 — теменная кость;
3 — височная кость;
4 — затылочная кость;
5 — носовая кость;
6 — верхнечелюстная кость;
7 — нижнечелюстная кость

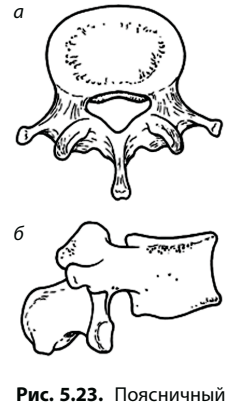


Рис. 5.23. Поясничный позвонок:
а — вид сверху;
б — вид сбоку

Рис. 5.24. Позвоночник

копчиковый — 4–5. В связи с прямохождением величина тела позвонков постепенно увеличивается к крестцовому отделу, тогда как в копчиковом отделе позвонки вновь становятся меньше, поскольку они не несут существенной нагрузки.

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 отражаются в строении конечностей. Скелет конечностей образован скелетами верхних и нижних конечностей.

Скелет верхних конечностей делится на скелет свободных верхних конечностей и пояс верхних конечностей (рис. 5.25). Пояс верхних конечностей, или плечевой пояс, образован парными лопатками и ключицами. Он обеспечивает прикрепление верхних конечностей к туловищу. 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 (рис. 5.26).

Скелет нижних конечностей делится на скелет свободных нижних конечностей и пояс нижних конечностей (рис. 5.27). 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 примыкающим к бедру 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. 5.28).

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-двига-

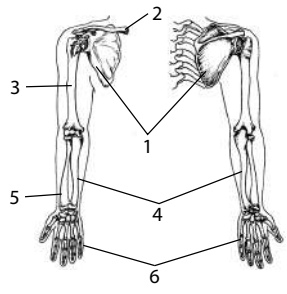


Рис. 5.25. Скелет верхней конечности:
1 — лопатка;
2 — ключица;
3 — плечевая кость;
4 — локтевая кость;
5 — лучевая кость;
6 — кости кисти

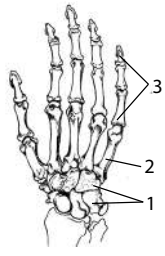


Рис. 5.26. Кости кисти:
1 — кости запястья;
2 — кости пясти;
3 — фаланги пальцев

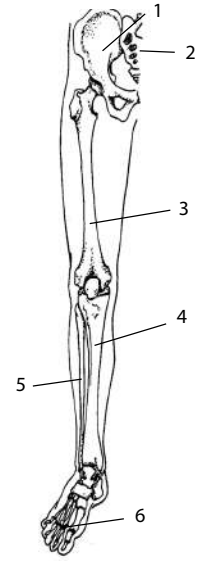


Рис. 5.27. Кости нижней конечности:
1 — тазовые кости;
2 — крестец;
3 — бедренная кость;
4 — большая берцовая кость;
5 — малая берцовая кость;
6 — кости стопы

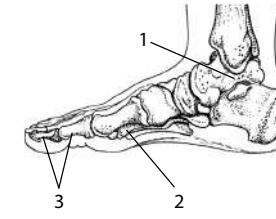


Рис. 5.28. Кости стопы:
1 — кости предплюсны;
2 — кости плюсны;
3 — фаланги пальцев

тельной системы организма человека представлена скелетными мышцами. В мышце различают *брюшко*, образованное пучками поперечнополосатых волокон, *головку* и *хвост*, которые прикрепляются к костям с помощью сухожилий, или вплетаются в кожу. Мышечные волокна, их пучки и брюшко мышцы в целом имеют соединительнотканную оболочку. Оболочка мышцы или группы мышц называется *фасцией* (рис. 5.29).

Для обеспечения бесперебойной работы мышцы также обильно снабжаются кровью и иннервируются.

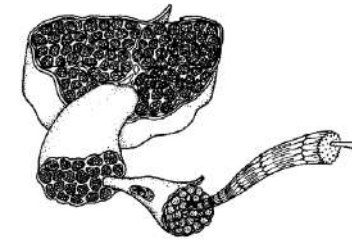


Рис. 5.29. Строение мышцы

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 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. 5.30).

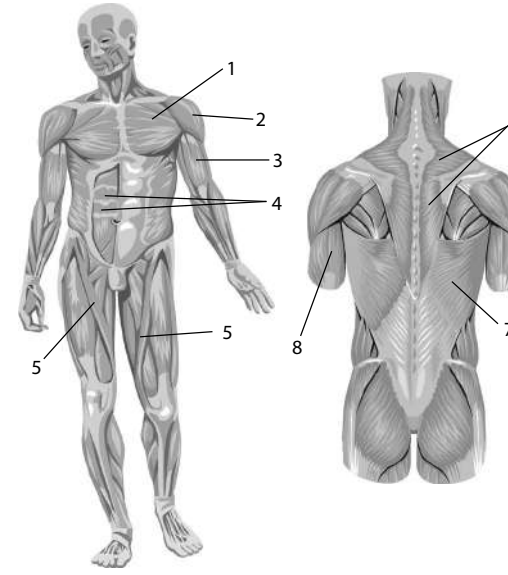


Рис. 5.30. Основные мышцы человека:
1 — большая грудная мышца;
2 — дельтовидная мышца;
3 — двуглавая мышца плеча;
4 — брюшные мышцы;
5 — портняжная мышца;
6 — трапециевидная мышца;
7 — широчайшая мышца спины;
8 — трехглавая мышца плеча

Среди *мышц головы* наибольшее значение имеют мимические и жевательные, хотя во многих случаях они действуют совместно (речь, жевание, глотание). К мимическим мышцам головы относятся, например, круговые мышцы глаз и рта, а также мышца гордецов, 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. 5.30).

Работа мышц. Согласно законам физики, работа — это энергия, затраченная на перемещение тела с определенной силой на определенное расстояние. Механическая работа совершается мышцами благодаря их *сокращению*. В основе сокращения мышцы лежит взаимодействие микронитей актина и миозина отдельного мышечного волокна (рис. 5.31), 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*.

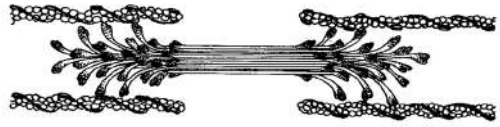


Рис. 5.31. Тонкая структура мышечного волокна

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.

При статической работе утомление происходит быстрее, чем при динамической, вследствие постоянного сокращения мышц-антагонистов и нарушения их кровоснабжения вследствие пережатия части сосудов. При динамической работе мышцы-антагонисты работают поочередно, и поэтому периодически отдыхают, а обильное кровоснабжение обеспечивает их жизнедеятельность. Однако даже динамическая работа может привести к утомлению, если нерационально расходовать свои силы на перемещение слишком больших или слишком маленьких грузов в быстром или медленном темпе, поэтому согласно *правилу средних нагрузок*, для более эффективной работы мышц следует перемещать грузы средней массы в среднем темпе. При этом следует учитывать степень физического развития, возрастные особенности, а также чередовать нагрузки с отдыхом или переключением на другие виды деятельности. Также было показано, что утомляться могут не только мышцы, но и контролирующие их деятельность нервные центры, в нейронах которых истощаются запасы медиаторов. Для восстановления работоспособности мышцы необходим отдых.

Нарушения опорно-двигательной системы возникают вследствие различных травм (переломы костей, растяжение связок, ранения), гиподинамии, неправильной осанки, перенесенных заболеваний и наследственных особенностей. Во избежание возникновения таких заболеваний позвоночника, как сколиоз, грудной кифоз, поясничный лордоз и др., следует заниматься спортом, поддерживать правильную осанку, соблюдать правила личной гигиены и т. д.

Строение и жизнедеятельность покровной системы

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. 5.32). 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 загаром. Загар защищает организм от губительного действия ультрафиолетовых лучей.

Производными эпидермиса являются волосы, ногти и кожные железы. В *волосе* различают погруженный в кожу *корень* и находящийся над ее поверхностью *стержень*. 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. Эта мышца поднимает волос, когда холодно или страшно.

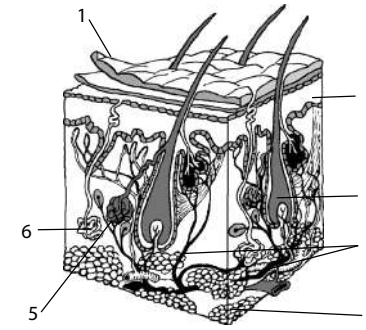


Рис. 5.32. Строение кожи:
1 — эпидермис;
2 — дерма;
3 — подкожная жировая клетчатка;
4 — волос;
5 — сальная железа;
6 — потовая железа;
7 — нервные окончания

Ноготь представляет собой роговую пластинку, лежащую на ногтевом ложе, которая ограничена с трех сторон ногтевыми валиками. Ногтевая пластинка делится на *корень*, *тело* и *свободный конец*, или *край*. 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 нарушении 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.

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. 5.33).

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.

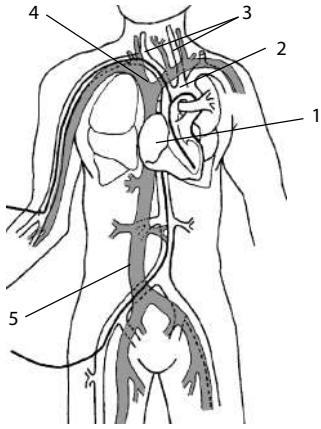


Рис. 5.33. Кровеносная система человека:
1 — сердце;
2 — аорта;
3 — сонные артерии;
4 — верхняя полая вена;
5 — нижняя полая вена

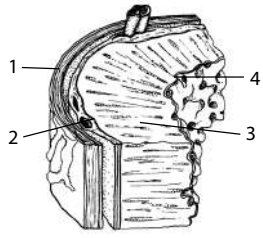


Рис. 5.34. Строение стенки сердца:
1 — перикард; 3 — миокард;
2 — эпикард; 4 — эндокард

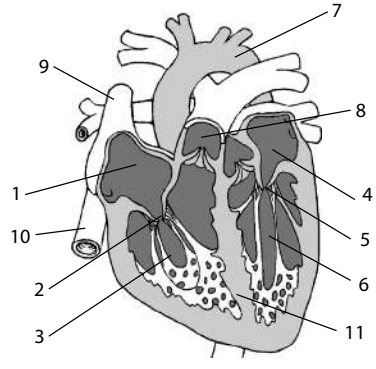


Рис. 5.35. Строение сердца:
1 — правое предсердие;
2 — трехстворчатый клапан;
3 — правый желудочек;
4 — левое предсердие;
5 — двухстворчатый клапан;
6 — левый желудочек;
7 — аорта;
8 — легочная артерия;
9 — верхняя полая вена;
10 — нижняя полая вена;
11 — перегородка

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. 5.34).

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*). К свободным краям клапанов прикреплены сухожильные нити, другими своими концами присоединенные к сосочковым мышцам. Наличие сухожильных нитей и сосочковых мышц не препятствует попаданию крови из предсердий в желудочки, но не позволяет клапанам выворачиваться обратно и выпускать кровь из желудочков в предсердия, тем самым снижая ее давление. Так как левый желудочек должен обеспечить движение крови по всем органам и испытывает бóльшие нагрузки, его мышечные стенки развиты сильнее, чем у правого (рис. 5.35).

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 также имеются клапаны (полулунные).

В норме частота сердечных сокращений (ЧСС) достигает 60–72 сокращений в минуту, однако при физической нагрузке даже у тренированных спортсменов она может возрастать до 180–200. С возрастом проявляется тенденция к уменьшению числа сокращений сердца.

За один цикл работы сердце выбрасывает в среднем 65–75 мл крови, это количество крови называется систолическим объемом. Соответственно, за минуту оно перекачивает 4–4,5 л крови (минутный объем крови).

Несмотря на то, что через сердце проходит постоянный поток крови, его бесперебойная работа обеспечивается благодаря движению крови по тесно оплетающим его коронарным сосудам.

Автоматия сердца. Благодаря свойствам миокарда — возбудимости, проводимости, сократимости и ритмичной автоматии — обеспечивается четкая работа сердца. *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 наличия особого типа клеточных контактов в сердечной поперечнополосатой мышечной ткани — нексусов.

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 опосредованно через вегетативную нервную систему: 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. 5.36). Большой круг кровообра-

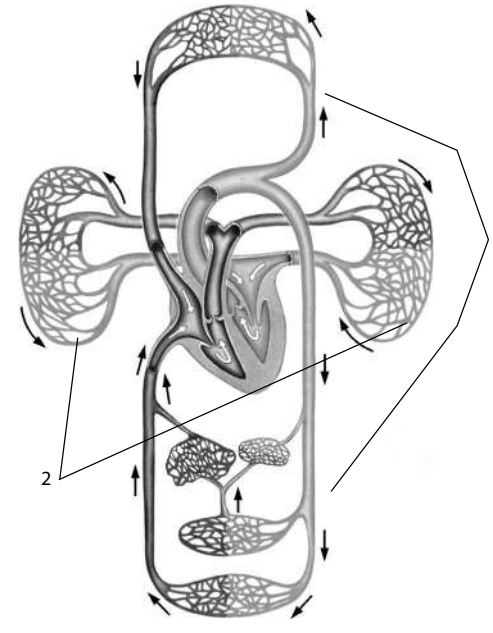


Рис. 5.36. Круги кровообращения:
1 — большой круг;
2 — малый круг

щения 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.

Пульс. Нагнетание крови в аорту вызывает волнообразное движение ее стенок вследствие кратковременного повышения давления. Продвижение крови по артериям сопровождается такими же ритмическими колебаниями, которые называют *пульсом*. Пульс можно легко прощупать на артериях, которые лежат на кости, чаще всего на лучевой артерии ближе к запястью. По пульсу можно определить частоту и силу сердечных сокращений, что в некоторых случаях используют с диагностической целью. У здорового человека пульс ритмичный, тогда как при заболеваниях может наблюдаться нарушение ритма — *аритмия*.

Кровяное давление. Кровь выбрасывается из сердца под давлением, которое поддерживается в артериях, в капиллярах оно существенно падает из-за сопротивления их стенок току крови, но все же минимально кровяное давление в венах. Продвижению крови по венам способствуют вброс новых порций крови из артерий в капилляры, невозможность ее возврата из-за наличия клапанов, а также сокращение скелетных мышц, однако основным фактором движения крови является разность давлений в сосудах.

Артериальное давление является важным медицинским показателем, указывающим на состояние пациента, его определяют обычно в плечевой артерии при помощи специального прибора — тонометра. У здоровых людей в возрасте от 15 до 50 лет максимальное (систолическое, или сердечное) давление составляет около 120 мм рт. ст., а минимальное (диастолическое, или сосудистое) — около 60–80 мм рт. ст. Артериальное давление обычно возрастает при физических нагрузках и эмоциональном напряжении, а в покое, наоборот, снижается.

Заболевания кровеносной системы. К основным патологиям кровеносной системы относятся гипотония и гипертония, инфаркт миокарда, инсульт, атеросклероз. *Гипотонией* называют стойкое понижение давления крови в сосудах, *гипертония* же сопряжена с повышением давления.

Инфаркт миокарда — это нарушение проводимости мышечной стенки сердца вследствие отмирания части клеток. Оно обусловлено зачастую кислородным голоданием сердечной мышцы вследствие уменьшения просвета или закупорки коронарного сосуда, которое может быть вызвано, например, атеросклеротическими изменениями. При *атеросклерозе* происходит отложение холестериновых бляшек под эпителием сосудов, которые закрывают просвет и повышают ломкость сосудов. Таким образом, атеросклероз может быть причиной и *инсульта* — кровоизлияния в головном мозге вследствие разрыва сосуда.

Основными причинами заболеваний кровеносной системы и крови являются пониженная подвижность, или гиподинамия, эмоциональные стрессы, нерациональное питание, ожирение, загрязнение окружающей среды, но особенно повышают их риск вредные привычки — курение и употребление алкоголя.

Строение и жизнедеятельность системы лимфообращения

Кроме кровеносной, в организме человека имеется еще одна сосудистая система — система лимфообращения, или лимфатическая (рис. 5.37). 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. Да и несут они не кровь, а лимфу, движение которой обеспечивается ритмическим сокращением стенок крупных лимфатических сосудов, наличием клапанов в них, 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, даже в крупных лимфатических сосудах он не превышает 0,01 м/мин, тогда как в венах скорость движения крови может достигать 0,25 м/с.

Тем не менее это не мешает лимфатической системе выполнять ряд важнейших функций: защитную, дренажную и питательную. 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 сосуды, и в конечном итоге в вены большого круга кровообращения. С лимфой переносится также часть липидов, всасывающихся в тонком кишечнике.

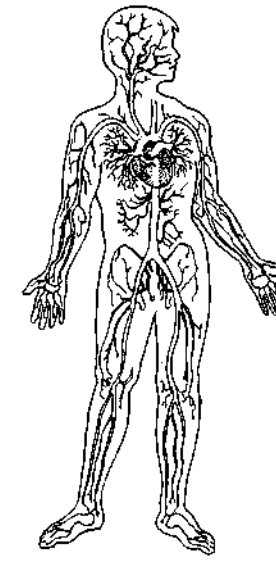


Рис. 5.37. Лимфатическая система человека

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.

Мужская половая система представлена наружными и внутренними половыми органами (рис. 5.38). К наружным мужским половым органам относятся *половой член*, или пенис, и *мошонка*, покрытые кожей. Их функцией является введение сперматозоидов в половые органы женщины.

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. Пещеристые и губчатое тела состоят из губчатого вещества со множеством мелких полостей. В стенках этих полостей находятся гладкие мышцы, сокращение которых вызывает застой крови в полостях и напряжение полового члена, или *эрекцию*. Эрекция наблюдается в основном при половом возбуждении.

Внутренними мужскими половыми органами являются яички, семявыносящие пути и железы. *Яичко* — 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.

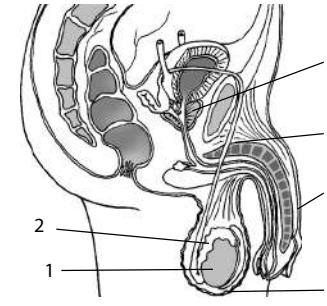


Рис. 5.38. Строение мужской половой системы:
1 — яичко;
2 — придаток яичка;
3 — семявыносящие пути;
4 — простата;
5 — половой член;
6 — мошонка

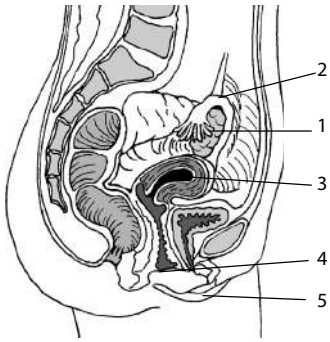


Рис. 5.39. Строение женской половой системы:
1 — яичник;
2 — маточная труба;
3 — матка;
4 — влагалище;
5 — половые губы

Женская половая система также состоит из наружных и внутренних половых органов (рис. 5.39). Наружными женскими половыми органами являются *большие* и *малые срамные губы*, *клитор* и *преддверие*. 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.

Заболевания, передающиеся половым путем, представляют собой большую группу инфекционных болезней, заражение которыми происходит при половом сношении. К ним относятся сифилис, гонорея, половой герпес, трихомоноз, ВИЧ и др. Многие из них проявляются только через длительное время и могут вызвать серьезные нарушения функционирования половой системы и других систем органов, бесплодие и даже смерть. Применение индивидуальных средств защиты не полностью гарантирует от проникновения возбудителей данной группы заболеваний, что еще раз подчеркивает опасность неразборчивых половых связей.

Особенности онтогенеза 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* (рис. 5.40). Плодный период характеризуется быстрым ростом и развитием зародыша. Общая продолжительность беременности у человека составляет около 280 суток.

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).

Рис. 5.40. Плод человека

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.

5.3. Внутренняя среда организма человека. Группы крови. Переливание крови. Иммунитет. Обмен веществ и превращение энергии в организме человека. Витамины

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 тканями 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.

Состав и функции крови

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.

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 %). Все они в одинаковой мере жизненно необходимы, так как белок плазмы фибриноген принимает участие в свертывании крови, а глюкоза обеспечивает питание клеток. Лишенная фибриногена плазма называется *сывороткой*. Плазма связывает и переносит некоторое количество газов (в основном углекислый газ), питательные вещества и продукты обмена веществ, а также выполняет регуляторную функцию и формирует защитные свойства организма.

Форменные элементы крови. К форменным элементам крови относят эритроциты, лейкоциты и тромбоциты (рис. 5.41). *Эритроциты*, или красные кровяные тельца, — безъядерные клетки 7–8 мкм в диаметре и около 2 мкм в толщину. 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.

Форма двояковогнутого диска, присущая эритроцитам, способствует увеличению площади поверхности связывания кислорода и облегчает движение эритроцитов по

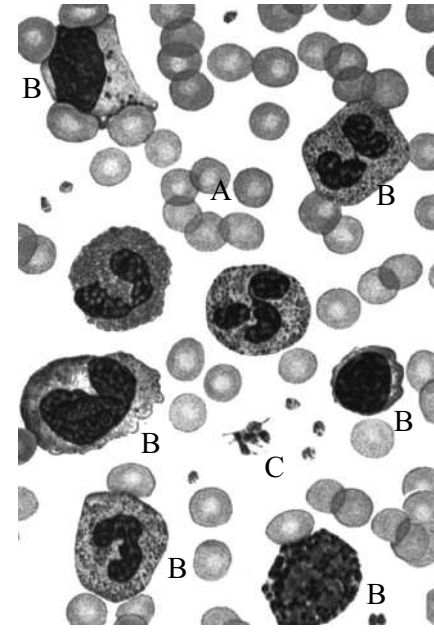


Рис. 5.41. Мазок крови человека:
A — эритроциты;
B — различные формы лейкоцитов;
C — тромбоциты

сосудам. Количество эритроцитов достигает 4,9–5,5 млн в мм³. 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 мм³. Как и эритроциты, они образуются в красном костном мозге, а дозревают в тимусе, селезенке и лимфатических узлах. Жизненный цикл лейкоцитов различен: одни 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 мм³. 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.

Свертывание крови

Даже малейшее нарушение покровов тела и целостности сосудов может привести к кровопотере, однако благодаря возникновению в процессе эволюции такой важной защитной реакции, как свертывание крови, человек не погибает от кровопотери. 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 обычно сопровождается скоплением тромбоцитов около места повреждения и запуском каскада реакций свертывания крови, в которых принимают участие кислород, белки тромбопластин и протромбин, витамин К и кальций. Результатом этих событий является превращение растворимого белка фибриногена в нерастворимый фибрин, который формирует густую сеть. В этой сети запутываются как собственно тромбоциты, так и другие клетки крови. Окончательное формирование тромба связано с его уплотнением.

Заболевания крови

Наиболее распространенными заболеваниями крови являются разнообразные анемии, лейкемия, гемофилия и др. Анемии могут быть вызваны изменением структуры гемоглобина и снижением количества переносимого им кислорода, например серповидноклеточная анемия. Лейкемия, или рак крови, связана с увеличением количества незрелых лейкоцитов в крови, а гемофилия — это нарушение свертывания крови.

Лимфа

Лимфой называется желтоватая жидкость, заполняющая лимфатическую систему. По своему составу она подобна крови, однако она содержит намного больше белков, а форменные элементы представлены в основном лимфоцитами. Лимфа начинает образовываться в лимфатических капиллярах, куда поступает избыток тканевой жидкости (сама тканевая жидкость близка по составу плазме крови и лейкоцитов). В лимфатических узлах лимфа пополняется лимфоцитами, здесь же задерживаются возбудители различных заболеваний. Лимфа течет по сосудам лимфатической

системы в одну сторону, собираясь в самый большой из них — грудной проток, который впадает в нижнюю полую вену. Лимфа выполняет транспортную и защитную функции.

Группы крови. Переливание крови. Иммунитет

Группы крови

При значительных кровопотерях и некоторых заболеваниях требуется переливание крови, однако в прошлом это приводило к смерти пациентов или тяжелым расстройствам здоровья. Причиной данного 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) (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Группы крови по системе AB0

Группа крови	Агглютиногены	Агглютинины
I (0)	—	α и β
II (A)	A	β
III (B)	B	α
IV (AB)	A и B	—

Переливание крови

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 (рис. 5.42).

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 получила 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.

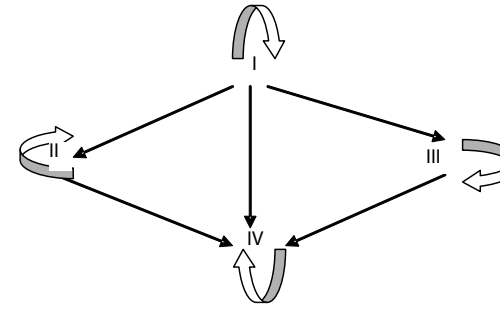


Рис. 5.42. Схема переливания крови

Иммунитет

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 (Нобелевская премия за 1908 год в области физиологии и медицины).

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 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. Другим заболеваниям человек может подвергаться 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, способны 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.

В последнее время тревогу врачей во всем мире вызывает снижение иммунитета, особенно у подрастающего поколения. Иммунодефицитные состояния организма, при которых восприимчивость организма к различным инфекционным агентам повышается, могут быть вызваны разными причинами, начиная от неблагоприятных условий окружающей среды и эмоциональных потрясений и заканчивая перенесенными заболеваниями. Однако наиболее опасной из этих причин является ВИЧ.

Обмен веществ и превращение энергии в организме человека

В организме человека одновременно происходит непостижимое количество химических реакций, которые обеспечивают его функционирование как целостной системы. Совокупность этих реакций называется обменом веществ, или *метаболизмом*, который имеет две стороны — катаболизм и анаболизм.

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. Однако белки, липиды и углеводы, которые мы в основном получаем с пищей, не могут попасть в организм в том виде, в котором мы их потребляем, поскольку белки, например, могут вызвать различные заболевания или даже гибель организма. Поэтому они проходят в пищеварительной системе сложный процесс механической и химической обработки, который обеспечивает их расщепление до простых веществ. Эту стадию обмена веществ называют подготовительной, основные стадии происходят в клетках, а заключительной стадией называется удаление конечных продуктов расщепления из организма.

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 питания.

Под *нормой питания* следует понимать общее количество пищи и соотношение ее компонентов, которые обеспечивают нормальное состояние здоровья людей разного возраста, пола, способа жизни и труда, соответствуют биологической природе человека. В настоящее время население делят на пять групп по потребностям в энергии (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Группы интенсивности труда взрослого трудоспособного населения и рекомендованные в соответствии с этим потребности в энергии

Группа интенсивности труда	Характер деятельности	Потребность в энергии, кДж на 1 кг массы тела в сутки
I	В основном умственный труд	167,4
II	Легкий физический труд	179,9
III	Труд средней тяжести	192,5
IV	Тяжелый физический труд	221,7
V	Особо тяжелый физический труд	255,2

Основными источниками энергии в пище являются углеводы, белки и липиды. Так, в результате расщепления 1 г белков и углеводов выделяется по 17,2 кДж, а липидов — 38,9 кДж энергии. Несмотря на то, что эти вещества могут заменять друг друга по количеству выделяемой энергии, а их обмены взаимосвязаны, это не означает, что можно перейти на питание только одним из видов органических веществ, так как это приводит к нарушению работы желудочно-кишечного тракта и состояния здоровья в целом.

Потребность в сбалансированном питании обусловлена еще и тем, что в белках содержатся незаменимые аминокислоты, а в состав липидов входят незаменимые жирные кислоты, которые не синтезируются в организме, однако являются жизненно необходимыми для обновления и построения различных структур.

В суточном рационе взрослого человека белки, липиды и углеводы используются 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 (25–30 г из них должны быть растительными) и 350–400 г углеводов (простых из них должно быть не больше 50–100 г), 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

Витамины — это физиологически активные вещества, принимающие участие в процессе обмена веществ в качестве регуляторов процессов жизнедеятельности.

Витамины входят в состав многих ферментов и некоторых важнейших веществ, принимающих 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 принадлежит 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 настолько же небезопасен 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 и жирорастворимые. К первой группе относятся витамины группы В и С, тогда как ко второй — А, D и Е.

Витамин А (ретинол) требуется в количестве 1–2 мг в сутки. Он имеется в рыбьем жире, яйцах, сливочном масле, моркови, шпинате и других растительных продуктах, содержащих каротиноиды. Недостаток ретинола приводит к изменениям кожи и слизистых оболочек: их сухости, воспалению и размягчению слизистых и роговицы, поражению эпителия, пищеварительного аппарата, снижению остроты сумеречного зрения (так называемая куриная слепота), когда человек днем видит хорошо, а в сумерки зрительная чувствительность нарушается, также могут наблюдаться нарушения роста. Это связано с тем, что витамин А является компонентом зрительного пигмента палочек сетчатки — *родопсина* — и фактором роста.

Витамин B_1 (тиамин) должен поступать в организм в количестве 2–3 мг в сутки. Им богаты мука грубого помола (содержащая отруби), дрожжи, печень, почки и яйца. Нарушение поступления витамина B_1 приводит к развитию болезни *бери-бери*, симптомами которой являются расстройства нервной системы (полиневрит), сердечно-сосудистые заболевания и мышечная атрофия.

Витамин B_2 (рибофлавин) требуется организму в количестве 1–3 мг в сутки. Сравнительно высокие его концентрации содержатся в дрожжах, им богаты хлеб (с мукой грубого помола), семена злаков, яйца, мясо, свежие овощи и фрукты, частично он синтезируется микрофлорой кишечника. При недостатке витамина B_2 происходит поражение слизистых оболочек, воспаление слизистой языка, поражения глаз, общая мышечная слабость и слабость сердечной мышцы, анемии.

Витамин B_3 (пантотеновая кислота) поступает в организм в количестве 10 мг в сутки. Им богаты мясные продукты, особенно печень и растительные продукты (зернобобовые), дрожжи и др. Недостаток витамина сопровождается развитием дерматитов, нарушением работы пищеварительного тракта, снижением умственных способностей.

Витамин B_6 (пиридоксин) требуется организму в количестве 2–3 мг в сутки. Он находится в пшеничной и кукурузной муке, крупе, дрожжах, печени, почках, молоке, мясе, рыбе, синтезируется кишечными бактериями. Гиповитаминоз по витамину B_6 сопровождается нарушениями белкового и жирового обмена, тошнотой, рвотой, нервными расстройствами, повышенной возбудимостью нервной системы, заболеваниями кожи.

Витамин B_{12} (цианкобаламин) должен поступать в организм в количестве 2,5–5 мг в сутки. Им богаты печень, почки, частично он синтезируется в кишечнике. Недостаток данного витамина приводит к нарушению пищеварения, малокровию, а иногда даже и к злокачественной *анемии*. Дефицит витамина B_{12} зачастую связан не с его недостатком в пище, а с нарушением его всасывания в пищеварительном тракте.

Витамин C (аскорбиновая кислота) требуется организму в количестве 80–100 мг в сутки, причем богаты им плоды черной смородины, шиповника, цитрусовые, капуста, шпинат и другие зеленые растения. Несмотря на то, что в картофеле содержится небольшое количество витамина C, это компенсируется значительным количеством потребляемого картофеля. При недостатке витамина C развивается *цинга* (скорбут), симптомами которой являются исхудание лица, отек и кровоточивость десен, многочисленные пятна, синяки и кровоизлияния на теле и внутренних органах, ломкость костей, нервно-психические расстройства, снижение устойчивости к различным заболеваниям. Поэтому при простудных и вирусных заболеваниях в первые дни рекомендуют принимать повышенные дозы витамина C (до 1 г).

Витамин D (кальциферол) требуется человеку в количестве 2,5–25 мг в сутки, причем наибольшие его количества нужны в детском возрасте. Частично витамин D синтезируется в коже на солнце. Источниками витамина являются рыбий жир, печень, масло и яйца. Гиповитаминоз по витамину D сопровождается нарушением формирования костной ткани, размягчением и искривлением костей — рахитом, нарушением формирования зубов.

Витамин E (токоферол) требуется человеку в количестве 20–50 мг в сутки. Им богаты растительные масла: подсолнечное, кукурузное, оливковое. Особенно высоко его содержание в масле, полученном из зародышей пшеницы, и в зеленом горошке. Продукты животного происхождения бедны токоферолом. Недостаток витамина E приводит к нарушению формирования половых желез и бесплодию, мышечной дистрофии, появлению некрозов в печени, тканях мозга, особенно в мозжечке.

Витамины — нестойкие соединения, которые разрушаются в процессе хранения продуктов питания и приготовления пищи, особенно при термической обработке. Например, витамин C разрушается уже при 80 °C. Кроме того, значительная часть витаминов находится в поверхностных слоях овощей и фруктов, поэтому следует срезать как можно более тонкий их слой.

Таким образом, рациональное питание является залогом здоровья, хотя здоровый образ жизни заключается не только в нем.

5.4. Нервная и эндокринная системы. Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности организма как основа его целостности, связи со средой

Нервная 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.

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 регуляция обеспечивается функционированием нервной системы. В основе деятельности нервной системы лежат раздражимость и возбудимость.

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.

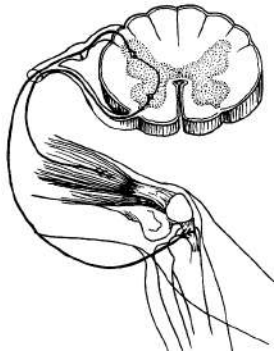


Рис. 5.43. Рефлекторная дуга коленного рефлекса

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. 5.43). 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.

Рефлекс осуществляется только в том случае, если все звенья рефлекторной дуги возбуждены. Если хоть в одном из них происходит торможение, то и рефлекс проявляться не будет.

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.

Спинной мозг располагается в позвоночном канале, образованном телами и дугами позвонков. Снаружи он покрыт тремя оболочками: твердой, паутинной и мягкой. Спинной мозг имеет вид длинного шнура, разделенного продольными бороздами на правую и левую половины.

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. 5.44). Белое вещество образовано длинными отростками

нейронов, образующими проводниковые пути. Серое вещество состоит из тел двигательных и вставочных нейронов. От спинного мозга отходят 31–33 пары спинномозговых нервов, иннервирующих органы тела. Спинномозговые нервы образуются в результате слияния передних (двигательных) и задних (чувствительных) корешков.

Спинной мозг выполняет проводниковую и рефлекторную функции. В нем находятся центры таких рефлексов, как коленный и мочеиспускательный. Однако работа спинного мозга осуществляется под контролем головного мозга, поэтому, сосредоточившись, мы можем не реагировать на постукивание неврологического молоточка под коленом.

При повреждении спинного мозга нарушается его проводимость: ниже места повреждения утрачивается чувствительность частей организма и способность к движению.

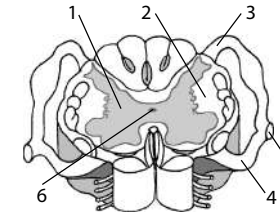


Рис. 5.44. Поперечный срез спинного мозга:
1 — серое вещество;
2 — белое вещество;
3 — задний корешок;
4 — передний корешок;
5 — спинномозговой нерв;
6 — спинномозговой канал

Головной мозг человека находится в полости черепа и имеет такие же три оболочки, как и спинной мозг — твердую, паутинную и мягкую (рис. 5.45). Снаружи и изнутри, в желудочках, мозг омывается особой жидкостью — ликвором. Масса головного мозга в среднем составляет около 1300–1400 г, однако мозг И. С. Тургенева весил более 2 кг, а мозг А. Франса — чуть более 1 кг, и это не помешало им стать классиками мировой литературы.

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), тонуса мышц, 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.

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 мышц и тонких движений рук.

Промежуточный мозг образован таламусом (зрительным бугром) и гипоталамусом (подбугорьем). 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 состав промежуточного мозга входят также гипоталамус, который является высшим центром нейрогуморальной регуляции в организме человека, и шишковидное тело — *эпифиз*, относящийся к эндокринной системе. 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.

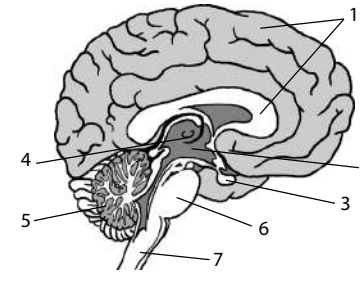


Рис. 5.45. Строение головного мозга:
1 — передний мозг;
2 — гипоталамус;
3 — гипофиз;
4 — таламус;
5 — мозжечок;
6 — мост;
7 — продолговатый мозг

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 основной 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 белое вещество. Серое вещество коры больших полушарий в основном состоит из тел нейронов и их коротких отростков, тогда как белое вещество 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. 5.46). 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.

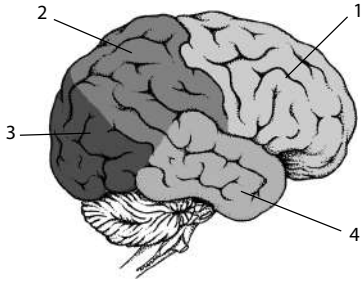


Рис. 5.46. Доли коры больших полушарий головного мозга:
1 — лобная; 2 — теменная;
3 — затылочная; 4 — височная

В лобной доле расположены двигательные центры, в теменной — вкусовые, а также центры 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.

Подкорка участвует в координации движений, регуляции работы внутренних органов и формировании эмоций. Таким образом, передний мозг в основном выполняет рефлекторную функцию, а также является основой психической деятельности человека.

В прошлом считалось, что у левшей доминирует правое полушарие, а у правшей — левое. 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. Симпатический отдел вегетативной нервной системы отвечает за мобилизацию резервов организма в ответ на сильные раздражители. При этом увеличиваются частота и сила сердечных сокращений и дыхательных движений, сужаются многие сосуды, расширяются зрачки, повышается концентрация сахара в крови, но в то же время ослабляются процессы пищеварения и выделения.

Узлы *парасимпатического* отдела находятся в среднем и продолговатом мозге, крестцовом отделе спинного мозга и во внутренних органах и возле них. Парасимпатический отдел нормализует

жизнедеятельность организма, при этом снижается частота и сила сердечных сокращений и дыхательных движений, расширяются сосуды, сужаются зрачки, снижается концентрация сахара в крови, однако усиливается пищеварение и выделение.

Ряд внутренних органов иннервируется одновременно обоими отделами вегетативной нервной системы, однако ко многим кровеносным сосудам, селезенке, органам чувств и ЦНС подходят только симпатические или парасимпатические нервы.

Эндокринная система

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 другие вещества. Витамины в большинстве своем поступают в организм человека извне, тогда как гормоны и другие вещества 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 железами внутренней и смешанной секреции 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 и смешанной 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. 5.47).

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 быстрой 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

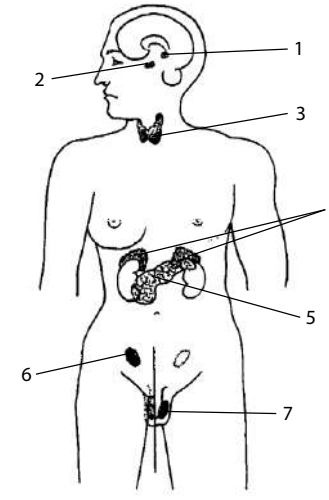


Рис. 5.47. Эндокринная система человека:
1 — эпифиз;
2 — гипофиз;
3 — щитовидная железа;
4 — надпочечники;
5 — поджелудочная железа;
6 — яичник;
7 — семенник

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 их гормонов. 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 продуцирует гормон *мелатонин*, вызывающий посветление кожи.

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*.

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 является усиленная пигментация кожи, слабость, головокружение, артериальная гипотония, неопределенные боли в области кишечника и поносы.

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 связыванию в печени и других органах, 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.

5.5. Анализаторы. Органы чувств, их роль в организме. Строение и функции. Высшая нервная деятельность. Сон, его значение. Сознание, память, эмоции, речь, мышление. Особенности психики человека

Анализаторы. 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 приспособление организма к происходящим изменениям и поддержание гомеостаза. Особенностью анализаторов 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.

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.

В зависимости от источника раздражителя рецепторы подразделяют на внешние, или *экстерорецепторы*, и внутренние, или *интерорецепторы*. Анализаторы, обеспечивающие восприятие раздражителей из окружающей среды, по традиции называют также *органами чувств*. К ним относятся органы зрения, слуха, обоняния, вкуса и осязания.

Другая классификация рецепторов основана на физической природе стимула, который воспринимается рецептором: фоторецепторы реагируют на световые волны (зрение), хеморецепторы — на химические вещества (обоняние, вкус), механорецепторы — на механические воздействия (слух, равновесие, осязание), а терморецепторы — на температурные колебания (осязание).

Рецепторы могут располагаться как свободно (обонятельные рецепторы, вкусовые сосочки языка), так и входить в состав сложно устроенных органов (глаз, ухо).

Все анализаторы имеют общие свойства: специфичность воспринимаемого раздражения, порог возбудимости, адаптация, трансформация энергии в нервные импульсы.

Сенсорная информация, поступающая от разных анализаторов, суммируется и позволяет сформировать целостное восприятие объекта или явления. Например, только внешний вид клубники не дает полноты информации о ней, которая достигается исключительно в результате взаимодействия зрительного, обонятельного и вкусового анализаторов.

Строение и функции органа зрения

Орган зрения обеспечивает восприятие и анализ зрительной информации, которая составляет до 90 % информации, поступающей в организм. Сенсорным стимулом для зрительной сенсорной системы является свет — электромагнитное излучение с длиной волны от 400 до 700 нм.

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 (рис. 5.48).

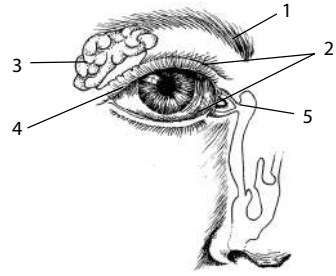


Рис. 5.48. Наружные органы глаза:
1 — бровь;
2 — веки;
3 — слезная железа;
4 — ресницы;
5 — слезный проток

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.

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 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 (рис. 5.49).

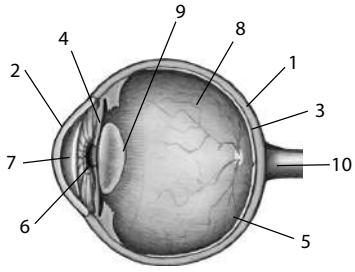


Рис. 5.49. Строение глаза:
1 — склера;
2 — роговица;
3 — сосудистая оболочка;
4 — радужная оболочка;
5 — сетчатка;
6 — зрачок;
7 — передняя камера;
8 — стекловидное тело;
9 — хрусталик;
10 — зрительный нерв

Сетчатка глаза. 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 (рис. 5.49).

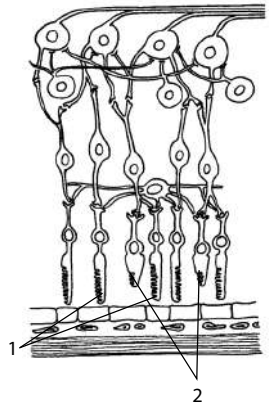


Рис. 5.50. Строение сетчатки:
1 — палочки; 2 — колбочки

Зрительные рецепторы сетчатки называются палочками и колбочками (рис. 5.50). *Палочек* в сетчатке до 125 млн, они сравнительно равномерно распределены в ней. Палочки ответственны за восприятие света. Они содержат зрительный пигмент родопсин, или зрительный пурпур. При попадании кванта света на палочку родопсин переходит в возбужденное состояние, а затем разлагается (выцветает), при этом возникает нервный импульс, который передается в головной мозг. В состав родопсина входит производное витамина А, поэтому его дефицит сопровождается утратой способности человека видеть в сумерках и темноте («куриная слепота»).

Колбочек в сетчатке около 6 млн, бóльшая их часть сосредоточена напротив просвета зрачка в так называемом *желтом пятне*, которое является местом наилучшего видения. Колбочки содержат зрительный пигмент йодопсин и отвечают за восприятие цвета. Механизм восприятия цвета, по-видимому, аналогичен описанному выше для света. Считается, что сетчатка человека содержит три типа колбочек, которые различают красный, синий и зеленый цвета. Отсутствие всех или части колбочек приводит к нарушению цветового восприятия, или *дальтонизму*.

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 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. Бóльшая часть этих характеристик воспринимается только с помощью двух глаз, формирующих единое видение — *бинокулярное зрение*.

Нарушения зрения. Наиболее распространенными заболеваниями органа зрения являются близорукость, дальнозоркость, астигматизм, катаракта, глаукома, конъюнктивит и др. Эти болезни во многом связаны с пренебрежением правилами гигиены зрения, в частности чтением лежа, длительной работой за компьютером и т. д., а также неправильным питанием, малоподвижным образом жизни и другими факторами.

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 (рис. 5.51).

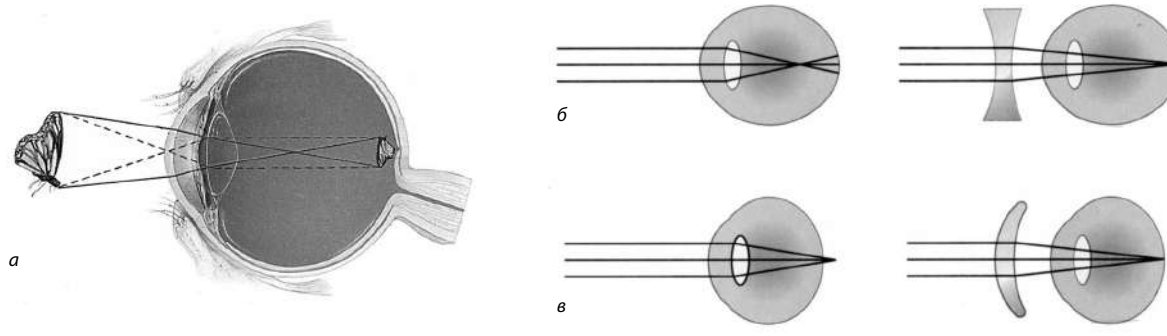


Рис. 5.51. Фокусировка изображения на сетчатке глаза и его корректировка:
а — нормальное зрение; *б* — близорукость; *в* — дальнозоркость

Астигматизмом называется искажение светового потока оптической системой глаза, вследствие чего формируется расплывчатое изображение объекта на сетчатке. В основном астигматизм обусловлен нарушением сферичности роговицы. Он исправляется цилиндрическими очковыми и контактными линзами.

Строение и функции органа слуха

Слух обеспечивает человеку восприятие звуковых колебаний в диапазоне от 16 до 20 000 Гц. Периферический отдел слуховой сенсорной системы человека устроен очень сложно и состоит из наружного, среднего и внутреннего уха (рис. 5.52).

Наружное ухо образовано ушной раковиной и наружным слуховым проходом, который соединяет наружное ухо со средним.

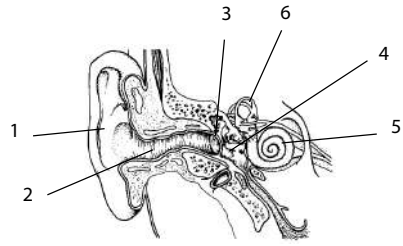


Рис. 5.52. Строение органа слуха:
1 — ушная раковина;
2 — внешний слуховой проход;
3 — барабанная перепонка;
4 — слуховые косточки;
5 — улитка;
6 — полукружные каналы

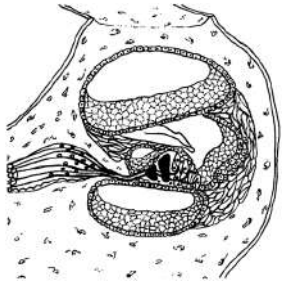


Рис. 5.53. Поперечный срез улитки

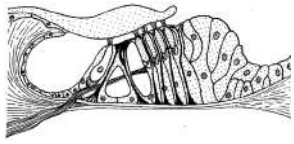


Рис. 5.54. Кортиев орган

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 (рис. 5.53). 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 окошечко — геликотрему. В среднем канале расположен рецепторный аппарат улитки — *кортиев орган*, волосковые клетки которого воспринимают звуковые колебания (рис. 5.54).

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.

Значение слуха и болезни органа слуха. Около 10 % информации из окружающей среды человек получает при помощи органа слуха. Благодаря органу слуха мы определяем силу звука, его частоту и примерное расстояние до источника. В большинстве случаев это возможно только при восприятии двумя ушами сразу — *бинауральном слухе*.

Основными нарушениями остроты слуха являются тугоухость и воспаление среднего уха — отит. Они главным образом обусловлены травматическими повреждениями (например, контузией), перенесенными заболеваниями, наследственными факторами и т. д.

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, или купулы. 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 тела в пространстве, тогда как полукружные каналы ответственны за восприятие положения головы. Кроме того, вестибулярный аппарат позволяет различать даже самое незначительное ускорение или замедление прямолинейного движения и вращения.

Длительные и сильные нагрузки на вестибулярный аппарат могут вызвать явление укачивания, или морскую болезнь, которая сопровождается головокружением, тошнотой, рвотой и даже обмороком. Человек с чрезмерно чувствительным или поврежденным органом равновесия обычно не может летать на самолетах, плавать на кораблях, ездить в наземном транспорте и даже кататься на качелях и каруселях. Частично или полностью устранить эти явления можно с помощью тренировок (вращение, качели) или приема лекарственных средств.

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. 5.55). 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.

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.

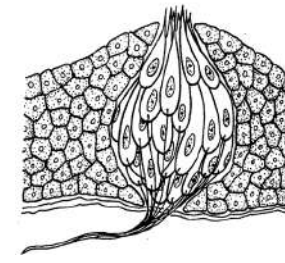


Рис. 5.55. Вкусовые сосочки языка

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.

Как уже упоминалось выше, анализаторы тесно связаны между собой, и при недостаточном развитии или повреждении одного из них происходит повышение остроты восприятия другими, т. е. компенсация. Например, у слепых людей обычно повышается острота слуха и осязания, а у глухих развиваются зрение и тактильная чувствительность.

Высшая нервная деятельность

Приспособление животных и человека к изменяющимся условиям существования во внешней среде обеспечивается функционированием нервной системы и реализуется через рефлекторную деятельность, что было доказано великими русскими физиологами И. М. Сеченовым и И. П. Павловым. *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 (дыхательный), 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*. Например, при рождении ребенка обрывается его связь с матерью через пуповину и прекращается газообмен, в результате чего в крови повышается концентрация углекислого газа, включается дыхательный центр и происходит вдох. Вследствие того, что в эмбриональном периоде легкие и дыхательные пути не функционировали, для вдоха необходимо их открытие, которое сопровождается инстинктивным криком.

Однако непрерывно меняющаяся внешняя среда требует от организма индивидуального приспособления, не предусмотренного генетическими программами, в результате чего безусловные рефлексы могут возникать, тормозиться и видоизменяться в ответ на самые разнообразные раздражения, с которыми сталкивается индивидуум.

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.

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 (1875–1942).

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; социальные, 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.

Примерами динамического стереотипа могут служить езда на велосипеде, письмо, различные привычки. Это характерная особенность психической деятельности человека.

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 обратил внимание на то, что животные ведут себя по-разному. Он установил, что формирование и характер высшей нервной деятельности различных животных и человека зависит от типа их нервной системы. В основу классификации типов высшей нервной деятельности были положены сила, уравновешенность и подвижность возбуждения и торможения. Исследования этих процессов дали И. П. Павлову возможность выделить четыре основных типа высшей нервной деятельности, которые в основном совпадают с классическими типами темперамента, выделенными еще Гиппократом:

1. *Сангвинический тип* характеризуется достаточной силой и подвижностью нервных процессов (сильный, уравновешенный, подвижный).
2. *Флегматический тип* отличается достаточной силой нервных процессов на фоне относительно слабой их подвижности (сильный, уравновешенный, инертный).
3. *Холерическому типу* присуща значительная сила нервных процессов с явным преобладанием возбуждения над торможением (сильный, неуравновешенный, безудержный).
4. *Меланхолический тип* характеризуется низкой силой и подвижностью нервных процессов с преобладанием торможения над возбуждением (слабый, неуравновешенный, инертный).

Рассудочная деятельность — это способность прогнозировать возможное появление новых связей.

Рассудочная деятельность базируется на ранее найденных связях. 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, его значение

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 и формируется в процессе индивидуального развития.

Сознание включает в себя все формы психической деятельности человека: ощущения, представления, восприятие, 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 воздействующих на наши органы чувств. Все ощущения суммируются в виде восприятия, однако лишь более обобщенное представление может нам позволить оперировать предметом.

Восприятие — это процесс приема с помощью органов чувств и преобразование информации, обеспечивающей 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 составляющих его признаков и свойств. Оно является более высокой формой конкретно-чувственного отражения действительности, формирующегося в процессе индивидуальной жизни организма, чем ощущение и восприятие.

Накопление индивидуального опыта в процессе жизни личности 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 наиболее важная информация переходит в долговременную («вечную») память.

В основе механизмов памяти лежат 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 быть 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 «потребности» и «мотивации», поскольку именно с возможностью их удовлетворения или неудовлетворения связаны проявления эмоций. С физиологической точки зрения эмоции — это активные состояния структур мозга, регулирующие поведение таким образом, чтобы достичь максимально положительных результатов на фоне минимизации отрицательных.

Различают эмоциональные реакции, эмоциональные состояния и эмоциональные отношения. *Эмоциональные состояния*, или настроения — это субъективные переживания, отражающие отношение данного индивидуума к окружающему миру и к самому себе, например радость, грусть, ярость и др. Изменения же в организме, сопровождающие эмоциональные состояния, называются *эмоциональными реакциями*. К ним относятся улыбка, смех, плач. Эмоции же, порождаемые социальными или духовными потребностями, принято называть *эмоциональными отношениями*, или *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 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, для которого характерна системность организации единиц языка, хотя строение, словарный состав и другие 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.

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, математических 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.

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 фор-

ма 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.

Соотношение активности двух полушарий может быть очень различным. На этом основании И. П. Павлов выделил 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 изменение 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) и *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.

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.

5.6. Личная и общественная гигиена, здоровый образ жизни. Профилактика инфекционных заболеваний (вирусных, бактериальных, грибковых, вызываемых животными). Предупреждение травматизма, приемы оказания первой помощи. Психическое и физическое здоровье человека. Факторы здоровья (аутотренинг, закаливание, двигательная активность). Факторы риска (стрессы, гиподинамия, переутомление, переохлаждение). Вредные и полезные привычки. Зависимость здоровья человека от состояния окружающей среды. Соблюдение санитарно-гигиенических норм и правил здорового образа жизни. Репродуктивное здоровье человека. Последствия влияния алкоголя, никотина, наркотических веществ на развитие зародыша человека

Личная и общественная гигиена, здоровый образ жизни

Гигиена — это область медицины, которая изучает влияние условий жизни и труда на здоровье человека и разрабатывает меры профилактики заболеваний, обеспечения оптимальных условий существования, сохранения здоровья и продления жизни.

Здоровье является первой и важнейшей потребностью человека, которая определяет его способность к труду и обеспечивает гармоническое развитие личности. Оно является важнейшей предпосылкой к познанию окружающего мира, к самоутверждению и счастью человека.

Согласно Уставу Всемирной организации здравоохранения под *здоровьем* понимают «состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов».

Различают три вида здоровья: физическое, психическое и нравственное.

Физическое здоровье обусловлено нормальным функционированием всех его органов и систем, это естественное состояние организма.

Психическое здоровье характеризуется уровнем и качеством мышления, развитием внимания и памяти, степенью эмоциональной устойчивости, развитием волевых качеств, в значительной степени определяется состоянием головного мозга.

Нравственное здоровье определяется моральными принципами, которые являются основой социальной жизни человека, т. е. жизни в определенном человеческом обществе. Отличительными признаками нравственного здоровья человека являются, прежде всего, сознательное отношение к труду, овладение сокровищами культуры, активное неприятие нравов и привычек, противоречащих нормальному образу жизни.

Здоровый и духовно развитый человек счастлив — он отлично себя чувствует, получает удовлетворение от своей работы, стремится к самоусовершенствованию, достигая неувядающей молодости духа и внутренней красоты. Он надолго сохраняет молодость, продлевая созидательную деятельность.

Согласно данным ВОЗ, на здоровье в первую очередь влияют условия и образ жизни, а также питание (50 %), генетика и наследственность (20 %), внешняя среда и природные условия (20 %), здравоохранение (10 %). Таким образом, активная жизненная позиция может способствовать существенному укреплению состояния здоровья.

Помимо индивидуального здоровья, выделяют также здоровье социальных и этнических групп (групповое), здоровье населения административных территорий (региональное) и здоровье популяции, общества в целом (общественное).

В связи с таким делением уровней здоровья выделяют два раздела гигиены: личную и общественную. *Личная гигиена* включает в себя общие гигиенические правила: режим труда и отдыха,

занятия физкультурой, регулярные приемы полноценной пищи, гигиенические требования к уходу за телом и полостью рта, отказ от вредных привычек, разрушающих здоровье.

Общественная гигиена — это раздел гигиены, изучающий закономерности общественного здоровья и здравоохранения. Он подразумевает под собой не только многочисленные санитарные мероприятия и охрану окружающей среды, в том числе путем благоустройства улиц, дворов, квартир, регулярной очистки мусорных баков, помойных ям, но и меры по укреплению здоровья населения, индивидуальные и общественные профилактические программы.

Здоровый образ жизни — это образ жизни, основанный на принципах нравственности, рационально организованный, активный, трудовой, закаливающий и в то же время защищающий от неблагоприятных воздействий окружающей среды, позволяющий сохранять здоровье до глубокой старости.

Профилактика инфекционных заболеваний (вирусных, бактериальных, грибковых, вызываемых животными)

Инфекция — это внедрение и размножение в организме болезнетворных микроорганизмов, которое сопровождается инфекционным заболеванием, носительством этих организмов или их гибелью.

К *инфекционным* относятся заболевания, которые развиваются как ответная реакция организма на внедрение и размножение болезнетворных микроорганизмов — бактерий, грибов, вирусов. В отличие от инфекционных заболеваний, заболевания, вызываемые животными, называются *инвазионными*.

Массовое распространение какого-либо возбудителя, превышающее обычно наблюдаемое в данной местности, называется *эпидемией*. В России ежегодно фиксируется, например, эпидемия гриппа, однако ранее случались и эпидемии холеры, оспы, чумы и др.

Большинство инфекционных заболеваний имеет несколько стадий развития: инкубационную, латентную, собственно инфекционную стадию и стадию выздоровления. Инкубационной стадией называется состояние, когда человек уже заразился, но внешних проявлений болезни еще нет, и он не опасен для окружающих. В отличие от нее, на латентной стадии признаки болезни по-прежнему отсутствуют, однако человек уже становится заразным. Собственно инфекционную стадию диагностируют по проявлениям всех признаков болезни, когда заболевший опасен для окружающих. Некоторые инфекционные болезни могут иметь последствия тяжелых осложнений, часть из которых ведет к инвалидности.

Внедрение возбудителя сопровождается иммунной реакцией, когда организм стремится подавить его при помощи антител, выделяемых лимфоцитами, и фагоцитов.

Возбудитель заболевания заражает здорового человека при соприкосновении (в том числе и через бытовые предметы), через рот (с пищей или водой), воздух (с капельками слюны или слизи), кровь и другие жидкости тела, половым путем, вследствие распространения членистоногих переносчиками.

В связи с этим основными мерами профилактики инфекционных и инвазионных заболеваний являются регулярное мытье рук, овощей и фруктов, кипячение воды, стерилизация медицинских инструментов, протравливание мест обитания переносчиков заболеваний, ношение марлевых повязок при контакте с больными, массовая вакцинация, введение сывороток, а также своевременное выявление больных и помещение их на карантин.

Предупреждение травматизма, приемы оказания первой помощи

Травмой называют повреждение органа или ткани в результате внешнего воздействия.

Различают механические, термические, химические, электро- (удар электрическим током, попадание молнии) и психические (испуг) травмы.

Предупреждение травматизма прежде всего заключается в строгом соблюдении правил дорожного движения, техники безопасности и общей осторожности во время повседневных занятий.

Если же вы оказались свидетелями травмы и должны оказать первую доврачебную помощь, не следует проявлять испуг или нервозность, делать суетливые движения, говорить громче или тише обычного, а тем более молчать.

Механические травмы — это ушибы, вывихи, растяжения, раны, переломы.

Ушибами называют внутренние повреждения тканей организма, возникающие в результате резкого воздействия большой силы. Последствием ушиба является нарушение целостности сосудов без повреждения кожи, внутреннее кровоизлияние, а первыми признаками — боль, припухлость и покраснение на месте ушиба.

Первая помощь состоит в уменьшении степени кровоизлияния и снижении ощущения боли. Для этого к ушибленному месту прикладывают холодный предмет (лед, снег, емкость с холодной водой, мокрую холодную ткань, металлическую ложку). При подозрении на ушиб внутренних органов следует немедленно доставить пострадавшего к врачу.

Растяжение связок — это нарушение эластичности связочного аппарата. Его причиной может быть неосторожное движение, прыжок, падение, поднятие тяжестей. Первые признаки растяжения — боль, припухлость, затруднение движения в поврежденном месте.

Первая помощь заключается в охлаждении места поражения, его фиксации и обеспечении покоя пострадавшего. Для этого накладывается тугая повязка, пораженное место переводят в возвышенное по отношению к туловищу положение, к нему прикладывают холод.

Под *вывихом* подразумевают смещение суставных отделов костей, при котором нарушается целостность суставной сумки, иногда с разрывом связок. Причиной вывиха может также служить неосторожное движение, прыжок, падение или поднятие тяжестей. Признаками вывиха являются резкая боль, нарушение подвижности в суставе, изменение его формы.

При оказании первой помощи следует приложить к поврежденному месту холодный предмет, руку подвесить на платке или бинте, на ногу наложить тугую повязку. При этом категорически запрещается вправлять вывих без врача, так как это может привести к серьезным повреждениям.

Ранами являются открытые повреждения мягких тканей. Опасность ран состоит не только в нарушении целостности и функционирования отдельных органов, но и в возможности проникновения в них болезнетворных организмов, а также в последствиях для всего организма в целом. Первыми признаками ранения являются нарушения целостности покровов, кровотечения различной силы и боль.

Первая помощь заключается в очистке раны путем промывания перекисью водорода или чистой водой, смазывания ее краев антисептическим средством, сближении краев раны и наложении на рану чистой мягкой ткани, которую необходимо закрепить.

Кровотечения — это потеря крови в результате нарушения целостности сосудов. Различают артериальное, венозное и капиллярное кровотечения.

Артериальное кровотечение возникает при повреждении артерий, при этом из них вытекает пульсирующей струей ярко-алая кровь.

При оказании первой помощи место над раной, где будет жгут, оборачивают несколькими слоями марли, жгут дважды или трижды оборачивают вокруг конечности, концы жгута закрепляют с помощью крючка или завязывают узлом, обозначают время наложения жгута на записке, так как он не должен находиться на теле более 2 ч.

Венозное кровотечение возникает в результате повреждения вен, при этом из раны вытекает непрерывная струя крови темно-вишневого цвета.

Для остановки венозного кровотечения рану смазывают раствором антисептического средства, например спиртовым раствором йода, прикрывают несколькими слоями стерильных марлевых салфеток, накладывают толстый слой ваты, а поверх нее — тугую повязку из бинта. Повязку можно закрепить лейкопластырем, чтобы она не смещалась.

Капиллярное кровотечение возникает при поверхностном ранении, и кровь вытекает из раны по каплям.

Такую рану обрабатывают перекисью водорода и накладывают повязку.

Перелом — это нарушение целостности кости. Переломы бывают открытыми с наружным кровотечением и повреждением мягких тканей и закрытыми. Закрытые переломы могут сопровождаться смещением обломков костей. Признаками перелома являются боль, припухлость, кровоподтек, подвижность в нетипичном месте и нарушение функции органа.

При открытом переломе следует обработать рану дезинфицирующим раствором и наложить чистую повязку, обездвижить конечность, наложив на нее шину. Если шины нет, стоит использовать подручные материалы (дощечки, палки) или прибинтовать переломанную ногу к здоровой, а переломанную руку — к туловищу. Чтобы шина не давила на перелом, подложить под нее мягкую подложку. Накладывая шину, необходимо охватывать не только пораженную, но и соседние участки, шину тщательно прикрепить к конечности с помощью широких бинтов, полотенца.

Травмы черепа (сотрясение и ушиб головного мозга, перелом костей черепа) сопровождаются потерей сознания, тошнотой, рвотой, сильными головными болями, головокружением. Часто, придя в сознание, больной не помнит, что с ним произошло.

Первая помощь при травмах черепа заключается в обеспечении пострадавшему полного покоя и наложении холода на голову, с последующим обязательным медицинским обследованием.

Травмы могут сопровождаться *травматическим шоком* — опасным для жизни состоянием, характеризующимся расстройством деятельности центральной нервной системы, кровообращения, обмена веществ. Первая короткая фаза шока длится 10–15 мин и отличается повышенным возбуждением пострадавшего, вторая характеризуется резкой заторможенностью при сохранении сознания. Пульс ослабляется, дыхание урежается. Больного необходимо согреть, можно дать теплое питье. Обращаться с больным нужно очень бережно, не делать лишних движений, снизить уровень шума.

Термические травмы — это ожоги, отморожения, солнечный и тепловой удары.

Ожог — это повреждение тканей организма, вызванное действием высокой температуры, кислот, щелочей, солей тяжелых металлов. Различают четыре степени ожогов: покраснение кожи, появление пузырей, омертвение всей толщи кожи и обугливание тканей. Особой формой ожогов являются лучевые поражения: солнечные, рентгеновские и др.

В случае термического ожога пораженное место обеззараживают и накладывают повязку, при этом необходимо напоить пострадавшего чаем или минеральной водой. При химическом ожоге предварительно смывают ядовитую жидкость струей холодной воды и ополаскивают пораженную поверхность, в случае поражения кислотой — раствором соды. При солнечном ожоге прежде всего следует перевести пострадавшего в тень и приложить к поврежденному месту ткань, смоченную холодной водой.

При тепловом и солнечном ударах больного необходимо перенести в тень и понизить температуру тела, приложив холодный компресс, напоив прохладительными напитками и т. д.

При обморожении пораженное место смазывают гусиным жиром, а потерпевшего поят теплым чаем.

В случае поражения электрическим током или молнией в первую очередь необходимо вынести пострадавшего из зоны поражения, соблюдая меры предосторожности.

Факторы здоровья (аутотренинг, закаливание, двигательная активность)

К факторам здоровья относят те элементы жизни и деятельности человека, которые способствуют его укреплению. Поскольку здоровье рассматривается и как наличие в организме физиологических и психических резервов, то, наряду с задающими эти особенности факторами, первостепенное значение приобретают расширяющие и регулирующие их. В связи с этим важнейшими факторами здоровья являются наследственность, личная гигиена, аутотренинг, закаливание, состояние окружающей среды, рациональный режим труда и отдыха, оптимальный двигательный режим, отказ от вредных привычек, плодотворный труд, рациональное питание и др.

Аутотренинг (аутогенная тренировка) — это концентрированное саморасслабление и самовнушение. Это система приемов саморасслабления мышц (мышечная релаксация), психического расслабления, погружения в дремотный сон, которые сопровождаются самовнушением. Аутогенную тренировку широко используют в медицине, спорте, на производстве, в самовоспитании. Она является одним из механизмов саморегуляции личности и позволяет решить широкий спектр задач, к которым относятся регуляция функционального состояния организма, регуляция различных психических состояний, мобилизация физиологических и психических резервов личности, эмоционально-волевая подготовка человека к соответствующей деятельности, снятие нравственно-эмоционального напряжения, развитие познавательных процессов — внимания, памяти, мышления, смена мотивации, самооценки личности и т. д. Аутотренинг можно использовать в группах и индивидуально, однако если индивидуальный аутотренинг позволяет учитывать индивидуальные особенности личности и применять широкий спектр приемов, то при групповом аутотренинге, хотя он и является более эффективным, следует очень осторожно подходить к комплектованию групп, поскольку отрицательное отношение хотя бы одного из членов группы к этому мероприятию существенно снижает его эффект.

Закаливанием называют систему использования физических факторов внешней среды для повышения сопротивляемости организма к простудным и инфекционным заболеваниям. Оно оказывает общеукрепляющее действие на организм, повышает тонус нервной системы, улучшает кровообращение, нормализует обмен веществ и тем самым укрепляет здоровье, улучшает самочувствие и настроение, дает заряд бодрости, увеличивает работоспособность и продолжительность жизни в целом.

Сущность закаливания состоит в тренировке физиологических механизмов терморегуляции в организме и повышения его невосприимчивости к простудным и инфекционным заболеваниям.

Закаливание можно производить с помощью обливания холодной водой, купания в водоемах или закаливания воздухом, однако температуру закаливающего агента следует снижать постепенно, так как резкое охлаждение нетренированного организма может привести к нежелательным последствиям.

Двигательная активность не в меньшей степени способствует укреплению здоровья, чем аутотренинг и закаливание, поскольку мышечные усилия, которые прикладывает человек, сказываются не только на развитии опорно-двигательной системы, но и оказывают стимулирующее влияние на дыхательную, сердечно-сосудистую, нервную системы, общее состояние организма и его устойчивость к факторам окружающей среды. Поэтому длительные пешие, лыжные и велосипедные прогулки на открытом воздухе, плавание в открытых водоемах, а также занятия спортом являются неотъемлемой составляющей здорового образа жизни.

Факторы риска (стрессы, гиподинамия, переутомление, переохлаждение, перегрев)

Факторами риска называются различные факторы, которые могут привести к ухудшению состояния здоровья и повышают вероятность заболевания. К ним относятся стрессы, болезни, гиподинамия, нерациональное питание, избыточная масса тела, загрязнение окружающей среды, злоупотребление алкоголем, курение, наркотики, старение.

Комплексный неспецифический ответ организма человека на любой действующий фактор называется **стрессом**. Человек остро реагирует не только на перепады температуры, давления, прием алкоголя, внедрение возбудителей различных заболеваний, но и на словесные, эмоциональные раздражители.

Стресс делится на три фазы: реакцию тревоги, фазу адаптации и фазу истощения и гибели. Реакция тревоги запускается под действием сильнодействующего раздражителя. В ней участвуют гипоталамус, гипофиз и надпочечники, высвобождающие адреналин. Под действием последнего происходит мобилизация резервов организма на преодоление неблагоприятных условий. В фазу адаптации происходит приспособление организма к изменившимся условиям. Однако, если резервы организма исчерпаны этим приспособлением, он может погибнуть.

Стрессы часто проявляются в виде пограничной активизации внутренних резервов личности, физиологических и психических. Поэтому выделяют физиологический и психический (эмоциональный) стрессы. При *физиологическом* стрессе адаптационный синдром возникает в момент встречи с раздражителем, а при *психическом* — адаптация предшествует ситуации и наступает преждевременно. Деление на физиологический и психический стрессы условно, поскольку в физиологическом стрессе всегда есть элементы психического и наоборот.

Гиподинамия — ослабление мышечной деятельности, обусловленное сидячим образом жизни и ограничением двигательной активности.

Распространенность гиподинамии возрастает с урбанизацией, автоматизацией и механизацией труда, увеличением роли средств коммуникации, иногда ее называют «болезнью цивилизации».

По своей выраженности гиподинамия может быть различной и обусловлена условиями работы человека, длительностью и степенью недостаточности мышечных нагрузок. В сочетании с другими факторами гиподинамия может явиться предпосылкой к возникновению целого ряда болезненных состояний и даже заболеваний. Прежде всего она вызывает снижение энергозатрат, замедление распада и образования макроэргических соединений, снижение фосфорилирования в скелетных мышцах. Это сопровождается снижением газообмена и легочной вентиляции и общей работоспособности. Масса и объем мышц снижается, размеры сердца уменьшаются, в них наблюдаются выраженные дистрофические изменения. Снижение объема мышечной деятельности приводит к снижению количества сигналов, направляемых от мышц в ЦНС и обратно, происходит своеобразная «физиологическая денервация» мышц. В них уменьшается содержание миоглобина и гликогена, происходит изменение сократительного аппарата мышц и их тонуса, а также ослабление выносливости.

Вследствие уменьшения при гиподинамии нагрузки на сердечно-сосудистую систему ухудшается функциональное состояние сердца, работа его становится менее «экономной», появляется учащение и снижение силы сердечных сокращений, уменьшение ударного и минутного объема и венозного возврата крови. Кроме того, увеличивается вероятность атеросклероза и ожирения. Одним из серьезных последствий гиподинамии является потеря сознания при переходе к вертикальному положению вследствие недостаточной подачи крови к мозгу.

Длительная гиподинамия, уменьшая нагрузки на костный аппарат, сопровождается нарушением минерального и белкового обменов. Это приводит к остеопорозу и снижению прочности всей костной ткани.

Основной профилактикой является движение, физические нагрузки и здоровый образ жизни, поскольку курение и другие вредные привычки всегда только усугубляют состояние.

Переутомление — это физиологическое состояние организма, возникающее в результате чрезмерной деятельности и проявляющееся временным снижением работоспособности. Различают физическое, умственное и психическое переутомления.

При *физическом* переутомлении наблюдается нарушение функций мышц: снижаются их сила, скорость, точность, согласованность и ритмичность движений.

Умственное переутомление характеризуется снижением продуктивности интеллектуального труда, ослаблением внимания (трудностью сосредоточения), замедлением мышления и др.

Психическое (душевное) переутомление возникает на фоне интенсивного интеллектуального труда и психического напряжения, вызванного, например, чрезмерным чувством ответственности, а также при сильных эмоциональных переживаниях.

О переутомлении свидетельствуют нарушения сна, аппетита, частые болезни, вредные привычки, нарушения памяти и речи, неэффективное расходование физических сил, капризы, повышенная подвижность и агрессивность, уставший вид.

Переохлаждение и перегрев. Температура тела определяется количеством образованного в процессе обмена веществ тепла, теплоотдачей и поведенческими реакциями. Она контролируется специальными центрами в гипоталамусе и больших полушариях переднего мозга благодаря сигналам, поступающим от рецепторов кожи и подкожных тканей, а также термочувствительных клеток самого гипоталамуса. Снижение температуры окружающей среды и тела приводит к усилению обмена веществ, в том числе к напряжению и сокращению мелких мышц кожи,

а также к выбросу гормонов щитовидной железы и надпочечников, которые вызывают активацию обмена веществ и сужение сосудов, что снижает теплоотдачу. Повышение температуры окружающей среды и тела, наоборот, снижает теплопродукцию и повышает теплоотдачу. Основными механизмами теплоотдачи являются излучение, теплопроводность, конвекция и испарение пота с поверхности тела.

Переохлаждение, или *гипотермия*, — это понижение температуры тела ниже нормы вследствие сильной теплоотдачи. Она приводит к снижению жизнедеятельности организма, повышает устойчивость его к кислородному голоданию. Иногда искусственную гипотермию используют как метод лечения: местную (при кровотечениях, травмах, воспалениях), и общую (при операциях, требующих временной остановки кровообращения).

Причиной гипотермии являются не только длительное нахождение на морозе, но и пребывание в воде, на ветру, во влажной одежде, особенно эти факторы усиливаются во влажном климате (тропики, субтропики).

В первую очередь переохлаждению подвержены те части тела, которые слабо снабжаются кровью, например пальцы рук и ног, кончики носа и ушей.

Симптомами переохлаждения являются интенсивная дрожь, онеменение, посинение кожи, нарушение координации, затруднение речи, резкие перемены настроения, при которых раздражительность переходит в безразличие ко всему (апатию), замедление движений, урежение дыхания и ослабление пульса, возможна потеря сознания. Гипотермия потенциально опасна для жизни.

С целью предотвращения гипотермии следует одеваться в соответствии с природно-климатическими условиями, при малейших симптомах переохлаждения нужно найти укрытие от холода и ветра, закутаться во что-либо теплое, согреваться теплым сладким питьем и едой. Однако ни в коем случае нельзя растирать конечности, нос и уши, помещать пострадавшего в горячую ванну, отпаивать алкоголем и заставлять совершать резкие движения. Если симптомы переохлаждения не проходят, то следует доставить пострадавшего к врачу.

Перегревом, или *гипертермией*, называется повышение температуры тела человека до 38–39 °С вследствие нарушения жизненно важной функции — терморегуляции. При гипертермии наблюдаются головная боль, головокружение, общая слабость, сухость во рту, тошнота, рвота, обильное выделение пота. Частота сердечных сокращений и дыхательных движений при перегреве повышаются. Симптомами гипертермии являются бледность, синюшность, расширение зрачков, судороги и потеря сознания.

Пострадавшего от перегрева переносят в прохладное помещение или в тень, дают прохладное подсоленное питье (можно также дать понюхать нашатырный спирт) и создают покой до прихода врача.

Вредные и полезные привычки

Привычки относят к числу вредных или полезных в зависимости от того, как они отражаются на здоровье человека и окружающих. Вредными привычками являются курение, злоупотребление алкоголем (пьянство), наркомания, токсикомания и различные детские привычки, например, когда дети берут в рот предметы, грызут ногти, ковыряют в носу и др. Они закладываются в основном в подростковом возрасте под влиянием различных внутренних и внешних факторов. У подростков основным внутренним фактором является гормональный фон, способствующий развитию состояния тревоги и неуверенности, которые надо заглушить. Побудительным мотивом показать свою «взрослость» служит и желание преодолеть комплекс неполноценности, занять лидирующие позиции в компании. Внешними же факторами выступают социальное окружение (диктат компании), экономическая нестабильность, семейные отношения и т. д. Постоянное желание покурить, выпить, уколоться стимулирует к поискам средств, в том числе и противоправными путями: кражей, убийством, проституцией.

Курение является следствием возникновения зависимости дыхательного центра от веществ, вызывающих его стимуляцию. На первых порах курение вызывает отрицательную реакцию — дискомфорт, тошноту, головокружение, а через 5–6 месяцев организм адаптируется к раздражителю и уже не может без него обойтись. Однако постоянное воздействие ядовитых веществ на организм не проходит бесследно: курение способствует развитию ишемической болезни сердца, хронического бронхита, рака легких, язвы желудка, нарушению репродуктивной сферы, рождению детей с хроническими заболеваниями. Избавиться от этой вредной привычки крайне трудно, и даже достаточно волевые люди со временем часто вновь берутся за сигарету.

Пьянство — это результат адаптации организма к повышению концентрации ядовитого продукта распада этилового спирта — уксусного альдегида, хотя на первых порах алкоголь вызывает рвоту и затмение сознания. Опасность алкоголизма состоит не только в том, что он ведет к потере человеком контроля над собой и совершению асоциальных поступков, но и к таким хроническим заболеваниям, как цирроз печени, заболевания сердечно-сосудистой системы, язва желудка, алкогольное слабоумие. Алкогольная зависимость усугубляется тем, что она служит средством для снятия физического и психического напряжения, а также обусловлена энергетическими механизмами.

Наркомания — это болезненное непреодолимое влечение к употреблению наркотических веществ, таких как морфин, героин, гашиш, ЛСД, «экстази» и др. В малых дозах они вызывают эйфорию, радостное состояние, необыкновенную душевную и телесную легкость, а в больших погружают человека в глубокий бесчувственный комфортный сон или приводят к смерти. В строгом смысле наркомания не может считаться вредной привычкой — это болезнь, которая возникает практически с первого же случая употребления данных средств. В отсутствие наркотика человек испытывает тяжелейшие физические и психические муки — происходит так называемая ломка, которая толкает наркомана на любые действия с целью получить новую дозу. Вначале наркоман утрачивает интерес к действительности, к семье и друзьям, начинается деградация его личности, снижение интеллекта и полное физическое разрушение. Современные синтетические наркотики убивают человека за 1–2 года. Помимо иных причин, инъекционные наркоманы при употреблении общих шприцев подвергаются риску заражения ВИЧ.

Токсикоманией называют зависимость от вдыхания ароматических углеводородов, имеющих галлюциногенное действие. Токсикомания вызывает необратимые изменения во внутренних органах, прежде всего печени и почках, а также в нервной системе, вследствие чего снижается острота зрения и слуха, страдает интеллект. Большие дозы вдыхаемого вещества могут привести к остановке дыхания и летальному исходу.

Привычка ребенка брать в рот несъедобные предметы — пуговицы, карандаши, игрушки — является признаком нервозности. Эта привычка сопряжена с опасностью занесения инфекции, возможностью перекрытия проглоченным предметом дыхательных путей, риском поранить пищевод или желудок, хотя в большинстве случаев предмет выходит впоследствии с каловыми массами.

Избавиться от вредных привычек намного труднее, чем приобрести их, поскольку замена вредных привычек на полезные предполагает перестройку стереотипа поведения, установок, мотиваций. Этот процесс может быть болезненным, трудным и вызывать внутреннее противодействие. Только волевые усилия и выполнение ряда правил могут обеспечить успех данного мероприятия. Для этого необходимо:

1. Сформировать для себя твердое и бесповоротное решение действовать в намеченном направлении.
2. Избегать условий, при которых проявляются старые привычки.
3. Создать условия для формирования новых, полезных привычек.
4. Не отступать от новых привычек, пока они не закрепятся. Постоянная тренировка является главным условием их формирования.

Выработка полезных привычек укрепляет здоровье человека, а у больных с ранними проявлениями болезни приостанавливается их прогрессирование.

Полезными привычками являются занятия зарядкой и спортом, высокая степень двигательной активности, соблюдение правил личной гигиены, режима дня, рациональное питание и др.

Зависимость здоровья человека от состояния окружающей среды

Окружающая среда в значительной степени определяет состояние здоровья человека, поскольку воздух необходим человеку для дыхания, вода — для пополнения ее содержания в теле, а на почве растут растения, которые служат пищей для человека.

Качество атмосферного воздуха является неотъемлемым фактором здоровья, поскольку недостаток кислорода в атмосфере вызывает нарушения жизнедеятельности организма, а иногда приводит к смерти. Повышение концентрации углекислого газа ослабляет работу сердца, вызывает головную боль, рвоту, потерю сознания.

Особую опасность для здоровья человека представляет оксид углерода (II), или угарный газ — продукт неполного сгорания топлива. В больших количествах угарный газ выделяется также и при пожарах в закрытых помещениях, а также при недостаточном поступлении кислорода при нарушении тяги в печи или камине. Угарный газ соединяется с гемоглобином крови в 200–300 раз быстрее и прочнее, чем кислород, и образует крайне стойкое соединение. Вследствие этого обеспеченность тканей организма кислородом падает, развивается гипоксемия, человек теряет сознание, и лишь своевременно оказанная помощь может спасти жизнь пострадавшего.

Значительно загрязняют воздух автотранспорт и промышленные предприятия, которые выбрасывают ежегодно миллионы тонн взвешенных частиц, а также оксиды углерода (II, IV), серы (IV), соединения тяжелых металлов, опасные органические вещества и др. Попадание в дыхательную систему частичек пыли и сажи, взвешенных в воздухе, оказывает раздражающее влияние на эпителий дыхательных путей, что при сильном загрязнении воздуха может привести к развитию тяжелых заболеваний, например силикоза легких. Вместе с химическими соединениями они способны вызывать хронические заболевания аллергического характера, такие как астма, а в некоторых случаях даже приводить к развитию рака легких.

Следует также бережно относиться и к голосовому аппарату, поскольку слишком громкий голос, неумелое пение, крик перенапрягают голосовые связки, которые со временем болезненно изменяются. В результате голос может стать хриплым, глухим и даже совсем пропасть. Негативно влияет на голосовой аппарат и курение.

Профилактика заболеваний дыхательной системы связана с очисткой воздуха в результате влажной уборки, при эпидемиях — с применением индивидуальных средств защиты.

Правила гигиены дыхания: дышать глубоко и медленно; рабочие движения, связанные со значительными усилиями, должны совпадать со вдохом; регулярно бывать на свежем воздухе, заниматься физическими упражнениями: зарядкой, греблей, плаванием и т. д.; дышать только носом; при кашле и чихании закрывать нос и рот платком; проводить борьбу с пылью на улицах и в помещениях; сформировать правильную осанку; во время общения с людьми, заболевшими инфекционными заболеваниями, необходимо придерживаться осторожности: носить марлевые повязки; отказаться от вредных привычек.

Через воздух проникают в организм и различные излучения, например, радиация и электромагнитные, которые могут привести к тяжелым расстройствам здоровья, например к раку, нарушениям нервной, сердечно-сосудистой и репродуктивной систем. Поэтому даже ношение мобильного телефона на теле может привести к подобным последствиям, а разговоры более 17 минут в день приводят к нарушениям функций головного мозга.

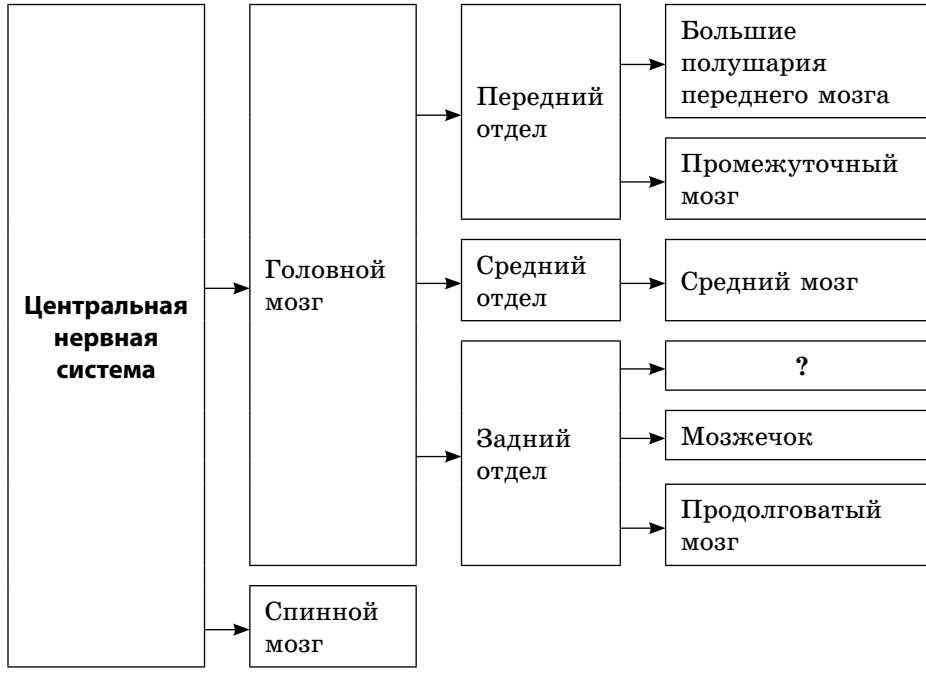
В воде могут содержаться возбудители различных заболеваний и вредные для здоровья примеси, поэтому пить воду из неустановленного источника или загрязненную ни в коем случае нельзя. Перед употреблением воду следует кипятить. По возможности нужно использовать столовую минеральную воду, которая содержит сбалансированный состав солей, необходимых для организма.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 5 «ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ЗДОРОВЬЕ»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–21 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему строения центральной нервной системы. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме знаком вопроса.



Ответ:_____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

При физической нагрузке у человека
1) возрастает частота и сила сердечных сокращений
2) эритроциты депонируются в печени и селезенке
3) расширяются капилляры кожи
4) снижается потоотделение
5) подавляется слюноотделение

Ответ: ☐☐

3 Длительность сердечного цикла у здорового человека в состоянии покоя — 0,8 с, а систолический объем — 80 мл. Каков минутный объем крови при этом? В ответе запишите только количество литров.

Ответ:_____

4 Все перечисленные ниже признаки, кроме двух, можно использовать для описания строения почки. Определите два признака, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) заключена в соединительнотканную капсулу
2) имеет корковое и мозговое вещество
3) единица строения — нейрон
4) полый мышечный орган
5) в центре находится почечная лоханка

Ответ: ☐☐

5 Установите соответствие между признаками костей скелета человека и типами, к которым они принадлежат: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ	ТИПЫ КОСТЕЙ
А) служит местом прикрепления плечевой кости, лежит со спинной стороны	1) плоская 2) губчатая
Б) образует грудную клетку	
В) самая крупная кость стопы	
Г) защищает головной мозг сверху	
Д) сочленяет кости предплечья и кисти	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

6 Какое соотношение углеводов, жиров и белков должно быть в суточном рационе человека? Ответ запишите в виде последовательности цифр, показывающих соотношение компонентов пищи в указанном порядке.

Ответ:_____

7 Все приведенные ниже термины, кроме двух, используются для описания половой системы человека. Определите два термина, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) яйцевод
2) фолликул
3) мошонка
4) простата
5) клоака

Ответ: ☐☐

8 Установите соответствие между изменениями функций различных органов и отделами вегетативной нервной системы, которые их вызывают: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

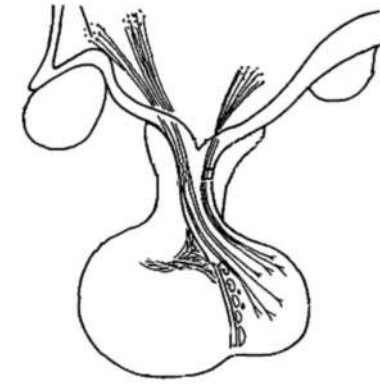
ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИЙ	ОТДЕЛЫ
А) сужение зрачка	1) симпатический отдел 2) парасимпатический отдел
Б) увеличение частоты и силы сердечных сокращений	
В) снижение вентиляции легких	
Г) расслабление мочевого пузыря	
Д) угнетение слюноотделения	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

9 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



Железа внутренней секреции, изображенная на рисунке, вырабатывает гормоны, которые регулируют

1) обмен углеводов
2) развитие и функционирование половых желез
3) рост и развитие костной системы, хрящей и мышц
4) метаболизм белков и углеводов
5) пигментацию кожи
6) тонус вегетативной нервной системы

Ответ:

10 Установите соответствие между особенностями строения и функций и форменными элементами крови, для которых они характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИЙ	ФОРМЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
А) является хранителем иммунной памяти	1) лейкоцит
Б) может осуществлять фагоцитоз	2) эритроцит
В) содержит ядро часто сложной формы	
Г) в 1 мл крови содержится около 4,9 – 5,5 млрд	
Д) имеет форму двояковогнутого диска	
Е) цитоплазма обогащена молекулами хромопротеина	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

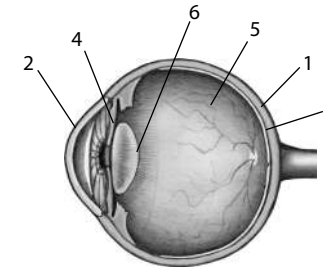
А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите последовательность процесса вдоха в организме человека. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) поднятие ребер и опускание диафрагмы
2) растяжение легких
3) сокращение межреберных мышц и диафрагмы
4) увеличение объема грудной полости
5) возбуждение хеморецепторов дыхательного центра
6) повышение концентрации углекислого газа в крови

Ответ:

12 Выберите три **верно обозначенные** подписи к рисунку «Строение глаза». Запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



1) склера
2) сетчатка
3) сосудистая оболочка
4) хрусталик
5) стекловидное тело
6) задняя камера глаза

Ответ: | | | |

13 Установите соответствие между процессами пищеварения и органами пищеварительной системы человека, в которых они происходят: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРОЦЕСС ПИЩЕВАРЕНИЯ	ОРГАН
А) полная эмульгация липидов	1) ротовая полость
Б) образование пищевого комка	2) желудок
В) начало расщепления белков	3) тонкий кишечник
Г) снижение pH среды	
Д) обеззараживание пищи лизоцимом	
Е) всасывание продуктов расщепления всех питательных веществ в кровь и лимфу	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

14 Установите последовательность процессов сердечного цикла. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) закрытие створчатых клапанов
2) снижение давления в желудочках
3) открытие полулунных клапанов
4) сокращение предсердий
5) сокращение желудочков

Ответ: | | | | | |

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых даны описания функций **жирорастворимых витаминов**. Запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

(1) Витамины — это незаменимые компоненты пищи, принимающие участие в процессе обмена веществ как регуляторы процессов жизнедеятельности. (2) Витамин А (ретинол) является компонентом зрительного пигмента палочек сетчатки — родопсина, его недостаток вызывает снижение остроты сумеречного зрения (так называемую куриную слепоту). (3) Витамины B_1 (тиамин) и B_6 (пиридоксин) участвуют в энергетическом обмене в качестве коферментов. (4) Авитаминоз по витамину B_1 приводит к развитию болезни бери-бери, а по B_6 — пеллагры. (5) Витамин С (аскорбиновая кислота) необходим для нормального функционирования соединительной ткани, при нарушении его поступления в организм развивается цинга. (6) Витамин D (кальциферол) способствует поглощению кальция организмом, его дефицит вызывает рахит и кариес. (7) Витамин Е (токоферол) является антиоксидантом, авитаминоз по витамину Е у человека сопровождается мышечной дистрофией.

Ответ: | | |

16 Установите соответствие между характеристиками раздражителей и сенсорными системами, которые эти раздражители воспринимают: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ
А) длина волны	1) зрительная
Б) интенсивность	2) слуховая
В) сила	
Г) скорость движения	
Д) тембр	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

В состав промежуточного мозга входят
1) зрительные бугры
2) гипофиз
3) гипоталамус
4) мозолистое тело
5) червь
6) эпифиз

Ответ:

18 Установите соответствие между функциями головного мозга и отделами, которые за них отвечают: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ФУНКЦИИ	ОТДЕЛЫ
А) обеспечивает ориентировочные рефлексы	1) продолговатый мозг
Б) содержит центры защитных рефлексов	2) средний мозг
В) отвечает за акт глотания	
Г) первичный анализ сенсорной информации	
Д) контролирует поддержание позы	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

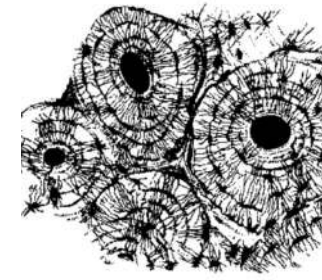
А	Б	В	Г	Д

19 Установите последовательность движения антибиотика, введенного внутривенно, по кровеносной системе человека. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) верхняя полая вена
2) правое предсердие
3) левый желудочек
4) легочная вена
5) сонная артерия

Ответ:

20 Рассмотрите рисунок с изображением ткани человека и определите тип ткани, систему органов, которую она образует, и выполняемую ею функцию. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин из предложенного списка.



Тип ткани	Система органов	Функция
_____ (А)	_____ (Б)	_____ (В)

Список терминов:

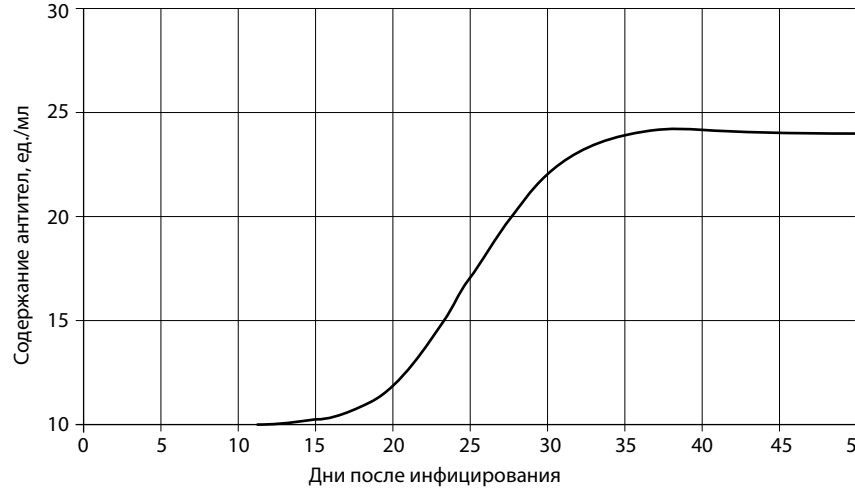
1) кровеносная
2) эпителиальная
3) скелет
4) кровь
5) секреторная
6) соединительная
7) питательная
8) опорная

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте график изменения количества антител к ВИЧ.



Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.

Количество антител к ВИЧ в крови:

1) прямо пропорционально количеству вирусов в крови
2) зависит от генетической предрасположенности организма
3) изменяется с возрастом инфицированного
4) начинает возрастать после латентного периода
5) не позволяет выявить инфекцию на ранних стадиях

Запишите в ответе **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

Ответ:_____

Часть 2

Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

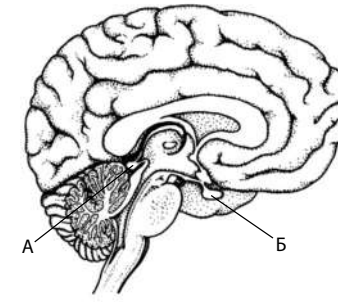
22 В состоянии покоя частота сердечных сокращений у человека составляет 75 уд. / мин. Сравните электрокардиограммы, снятые у пациента в состоянии покоя (рис. А) и после проведения функциональных проб (рис. Б). Объясните наблюдаемое явление. Определите частоту сердечных сокращений у пациента при нагрузке (ниже 75 уд./мин, равна 75 уд./мин, выше 75 уд./мин).

Рис. А

Рис. Б

Ответ: _____

23 Назовите отделы головного мозга человека, обозначенные на рисунке буквами А и В. Укажите, какие функции они выполняют.



Ответ: _____

24 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Кровеносная система человека замкнутая, образована сердцем и сосудами. (2) Сердце человека находится в околосердечной сумке — миокарде. (3) Правая половина сердца заполнена артериальной кровью, а левая — венозной. (4) Сердце и сосуды образуют два круга кровообращения: большой и малый. (5) Большой круг кровообращения начинается в левом желудочке и заканчивается в правом предсердии. (6) Малый круг начинается в правом желудочке и заканчивается в левом предсердии. (7) Артерии большого круга кровообращения несут венозную кровь, а вены — артериальную.

Ответ: ☐☐☐

25 В 1902 г. русский ученый Иван Петрович Павлов провел эксперимент, в котором он использовал: собаку с выработанным условным слюноотделительным рефлексом на стук метронома с частотой 120 уд./мин; метрономы с частотами 120 уд./мин и 60 уд./мин, безусловное подкрепление — пищу. После предъявления метронома с частотой 120 уд./мин он продолжал давать подкрепление, а после метронома с частотой 60 уд./мин — нет, и начал чередовать предъявления этих метрономов. Через некоторое время И. П. Павлов обнаружил изменения в выделении слюны у собаки на стук метрономов. Как изменилось выделение слюны у собаки на стук метрономов? Объясните причину. Сформулируйте закономерность, установленную И. П. Павловым.

Ответ: _____

26 Как регулируется давление крови в организме человека? Приведите не менее трех факторов и поясните свой ответ.

Ответ:_____

27 Одним из методов установления группы крови по системе АВ0 является ее определение по стандартным сывороткам. Стандартные сыворотки изготавливают из крови доноров с заранее известной группой крови. Данный метод основан на реакции агглютинации одноименных агглютиногенов и агглютининов. Агглютинацию обозначают знаком «+», а ее отсутствие — «–». Рассмотрите результаты определения групп крови у четырех испытуемых. Сделайте вывод о группе крови у испытуемых. Результаты определения групп крови занесите в таблицу в виде **римских цифр**.

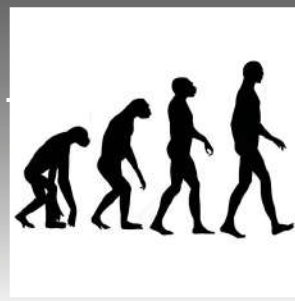
Испытуемый	Агглютинация при реакции со стандартными сыворотками			Группа крови по системе АВ0
	I группа	II группа	III группа	
№ 1	+	–	–	
№ 2	+	+	+	
№ 3	+	+	–	
№ 4	+	–	+	

28 У девушки 18 лет, ростом 170 см провели анализ функциональных показателей дыхания. Дыхательный объем (ДО) у нее составил 500 мл, резервный объем выдоха ($РО_{выд}$) — 1000 мл, а фактическая жизненная емкость легких (ФЖЕЛ) — 3200 мл. Определите резервный объем вдоха ($РО_{вд}$) у девушки. Сравните полученный показатель ФЖЕЛ с должной жизненной емкостью легких (ДЖЕЛ) по формуле Людвига:

$$ДЖЕЛ = (21{,}73 – (0{,}101 \times возраст\ в\ годах)) \times рост\ в\ см.$$

Сделайте заключение о состоянии дыхательной системы у испытуемой, учитывая, что ФЖЕЛ не должна быть меньше ДЖЕЛ более чем на 15%.

Ответ:_____



Раздел 6

Эволюция живой природы

6.1. Вид, его критерии. Популяция — структурная единица вида и элементарная единица эволюции. Микроэволюция. Образование новых видов. Способы видообразования. Сохранение многообразия видов как основа устойчивости биосферы

Вид, его критерии

Основатель современной систематики К. Линней рассматривал вид как группу сходных по морфологическим признакам организмов, которые свободно скрещиваются между собой. По мере развития биологии были получены свидетельства того, что различия между видами намного глубже, и затрагивают химический состав и концентрацию веществ в тканях, направление и скорость химических реакций, характер и интенсивность процессов жизнедеятельности, число и форму хромосом, т. е. вид является наименьшей группой организмов, отражающей их близкое родство. К тому же виды не существуют вечно — они возникают, развиваются, дают начало новым видам и исчезают.

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*. Так как ни один из критериев не является абсолютным, для правильного определения вида необходимо использовать совокупность критериев.

Основными критериями вида являются морфологический, физиологический, биохимический, экологический, географический, этологический (поведенческий) и генетический.

1. *Морфологический* — совокупность внешних и внутренних признаков организмов одного вида. Несмотря на то, что у некоторых видов существуют уникальные признаки, с помощью одних только морфологических черт часто очень трудно различить близкородственные виды. Так, в последнее время открыт ряд видов-двойников, обитающих на одной территории, например домовая и курганчиковая мыши, поэтому использовать исключительно морфологический критерий для определения вида недопустимо.
2. *Физиологический* — сходство процессов жизнедеятельности у организмов, в первую очередь, размножения. Он также не является универсальным, поскольку некоторые виды в природе скрещиваются и дают плодовитое потомство.

3. *Биохимический* — сходство химического состава и протекания процессов обмена веществ. Несмотря на то что данные показатели могут значительно варьировать у разных особей одного вида, в настоящее время им уделяется большое внимание, поскольку особенности строения и состава биополимеров помогают идентифицировать виды даже на молекулярном уровне и устанавливать степень их родства.
4. *Экологический* — различие видов по их принадлежности к определенным экосистемам и экологическим нишам, которые они занимают. Однако многие неродственные виды занимают сходные экологические ниши, поэтому данный критерий может быть использован для выделения вида только в совокупности с другими признаками.
5. *Географический* — существование популяции каждого вида в определенной части биосферы — ареале, который отличается от ареалов всех остальных видов. В связи с тем, что у множества видов границы ареалов совпадают, а также имеется ряд видов-космополитов, ареал которых охватывает огромные пространства, географический критерий также не может служить маркерным «видовым» признаком.
6. *Генетический* — постоянство признаков хромосомного набора — кариотипа — и нуклеотидного состава ДНК у особей одного вида. В связи с тем, что негомологичные хромосомы не могут конъюгировать во время мейоза, потомство от скрещивания особей разных видов с неодинаковым набором хромосом либо не появляется вовсе, либо не плодовито. Это создает репродуктивную изоляцию вида, поддерживает его целостность и обеспечивает реальность существования в природе. Данное правило может нарушаться в случае скрещивания близких по происхождению видов с одинаковым кариотипом или возникновения различных мутаций, однако исключение лишь подтверждает общее правило, и виды следует рассматривать как устойчивые генетические системы. Генетический критерий является основным в системе критериев вида, но также не исчерпывающим.

При всей сложности системы критериев вид нельзя представить как группу абсолютно идентичных по всем параметрам организмов, то есть клонов. Наоборот, для многих видов характерно значительное разнообразие даже внешних признаков, как, например, для одних популяций божьих коровок характерно преобладание в окраске красного цвета, а для других — черного.

Популяция — структурная единица вида и элементарная единица эволюции

Трудно представить, чтобы в реальности особи одного вида были равномерно распределены по земной поверхности в пределах ареала, поскольку, например, лягушка озерная обитает в основном в достаточно редких стоячих пресных водоемах, и вряд ли ее можно встретить на полях и в лесах. Виды в природе чаще всего распадаются на отдельные группы, в зависимости от подходящих по совокупности условий местам обитания — популяции.

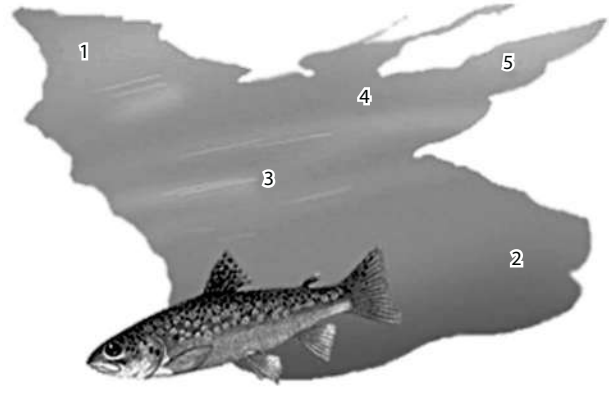


Рис. 6.1. Популяции севанской форели (1–5)

Популяция — группа особей одного вида, занимающих часть его ареала, свободно скрещивающихся между собой и относительно обособленных от других совокупностей особей того же вида в течение более или менее длительного времени.

Популяции могут быть разделены не только пространственно, они могут обитать даже на одной территории, но иметь различия в пищевых предпочтениях, сроках размножения и т. д. (рис. 6.1).

Таким образом, *вид* — это совокупность популяций особей, обладающих рядом общих морфологических, физиологических, биохимических признаков и ти-

пов взаимоотношений с окружающей средой, населяющих определенный ареал, а также способных скрещиваться между собой с образованием плодовитого потомства, но почти или совсем не скрещивающихся с другими группами особей того же вида.

Внутри видов с большими ареалами, охватывающими территории с разными условиями жизни, иногда различают и *подвиды* — большие популяции или группы соседних популяций, имеющих стойкие морфологические отличия от других популяций.

Популяции разбросаны по земной поверхности не случайным образом, они привязаны к конкретным ее участкам. Совокупность всех факторов неживой природы, необходимых для проживания особей данного вида, называется *местообитанием*. Однако только этих факторов может быть недостаточно для занятия этого участка популяцией, поскольку она должна быть еще вовлечена в тесное взаимодействие с популяциями других видов, то есть занять определенное место в сообществе живых организмов — *экологическую нишу*. Так, австралийский сумчатый медведь коала при всех прочих равных условиях не может существовать без своего основного источника питания — эвкалипта.

Образующие неразрывное единство в одних и тех же местообитаниях популяции различных видов обыкновенно обеспечивают более или менее замкнутый круговорот веществ и являются элементарными экологическими системами (экосистемами) — *биогеоценозами*.

При всей своей требовательности к условиям окружающей среды популяции одного вида неоднородны по занимаемой площади, численности, плотности и пространственному размещению особей, часто образующих более мелкие группы (семьи, стаи, стада и др.), полу, возрасту, генофонду и т. д., поэтому различают их размерную, возрастную, половую, пространственную, генетическую, этологическую и другие структуры, а также динамику.

Важными характеристикыми популяции являются *генофонд* — совокупность генов, характерных для особей данной популяции или вида, а также частоты определенных аллелей и генотипов. Разные популяции одного и того же вида изначально имеют неодинаковый генофонд, так как новые территории осваивают особи со случайными, а не специально подобранными генами. Под действием внутренних и внешних факторов генофонд подвергается еще более существенным изменениям: обогащается за счет возникновения мутаций и нового сочетания признаков и обедняется в результате выпадения отдельных аллелей при гибели или миграции некоторого числа особей.

Новые признаки и их сочетания могут быть полезными, нейтральными или вредными, поэтому в популяции выживают и успешно размножаются только приспособленные к данным условиям окружающей среды особи. Однако в двух различных точках земной поверхности условия окружающей среды никогда не бывают полностью идентичными, поэтому и направление изменений даже в двух соседних популяциях может быть совершенно противоположным или они будут протекать с различной скоростью. Результатом изменений генофонда является расхождение популяций по морфологическим, физиологическим, биохимическим и другим признакам. Если популяции при этом еще и изолированы друг от друга, то они могут давать начало новым видам.

Так, возникновение каких-либо препятствий в скрещивании особей различных популяций одного вида, например, вследствие образования горных массивов, изменения русел рек, различий в сроках размножения и т. д., приводит к тому, что популяции постепенно приобретают все больше различий и, в конце концов, становятся различными видами. Некоторое время на границах этих популяций происходит скрещивание особей и возникают гибриды, однако со временем и эти контакты исчезают, т. е. популяции из открытых генетических систем становятся закрытыми.

Несмотря на то что действию факторов окружающей среды подвергаются в первую очередь отдельные особи, изменение генетического состава у единичного организма является незначительным и проявится в лучшем случае только у его потомков. Подвиды, виды и более крупные таксоны также не подходят на роль элементарных единиц эволюции, поскольку они не отличаются морфологическим, физиологическим, биохимическим, экологическим, географическим и генетическим единством, тогда как популяции как наименьшие структурные единицы вида, накапливающие разнообразие случайных изменений, худшие из которых будут отсеяны, соответствуют этому условию и являются элементарными единицами эволюции.

Микроэволюция

Изменение генетической структуры популяций не всегда приводит к образованию нового вида, а может лишь улучшать приспособление популяции к конкретным условиям среды, однако виды не являются вечными и неизменными — они способны развиваться. Этот процесс необратимого исторического изменения живого называется *эволюцией*. 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*.

Популяции характеризуются огромным генетическим разнообразием, которое часто не проявляется фенотипически. Генетическое разнообразие возникает вследствие спонтанного мутагенеза, который происходит непрерывно. Большинство мутаций неблагоприятны для организма и снижают жизнеспособность популяции в целом, но, если они рецессивны, то могут сохраняться в гетерозиготе в течение продолжительного времени. Некоторые мутации, не имеющие приспособительной ценности в данных условиях существования, способны приобрести такую ценность в будущем или при освоении новых экологических ниш, создавая таким образом резерв наследственной изменчивости.

Значительное влияние на микроэволюционные процессы оказывают колебания численности особей в популяциях, миграции и катастрофы, а также изоляция популяций и видов.

Новый вид является промежуточным результатом эволюции, но никак не ее итогом, поскольку на этом микроэволюция не прерывается — она продолжается далее. Возникающие новые виды в случае удачного сочетания признаков заселяют новые местообитания, и, в свою очередь, дают начало новым видам. Такие группы близкородственных видов объединяются в роды, семейства и т. д. Эволюционные процессы, происходящие в надвидовых группах, называются уже *макроэволюцией*. В отличие от макроэволюции, микроэволюция протекает в гораздо более сжатые сроки, тогда как первой требуются десятки и сотни тысяч и миллионов лет, как, например, эволюция человека.

В результате микроэволюции формируется все многообразие видов живых организмов, когда-либо существовавших и ныне живущих на Земле.

Вместе с тем эволюция необратима, и уже исчезнувшие виды никогда не возникают вновь. Появляющиеся виды закрепляют все достигнутое в процессе эволюции, однако это не гарантирует того, что в будущем не появятся новые виды, которые будут иметь более совершенные приспособления к условиям окружающей среды.

Образование новых видов

В широком смысле под образованием новых видов понимается не только отщепление от основного ствола вида нового или распад материнского вида на несколько дочерних, а и общее развитие вида как целостной системы, приводящее к существенным изменениям его морфоструктурной организации. Однако чаще все же *видообразование* рассматривают как процесс формирования новых видов посредством разветвления «родословного древа» вида.

Принципиальное решение проблемы видообразования было предложено Ч. Дарвином. Согласно его теории расселение особей одного вида приводит к образованию популяций, которые вследствие различий условий окружающей среды вынуждены адаптироваться к ним. Это, в свою очередь, влечет за собой обострение внутривидовой борьбы за существование, направляемой естественным отбором. В настоящее время считается, что борьба за существование вовсе не является обязательным фактором видообразования, наоборот, давление отбора в ряде популяций может снижаться. Различие условий существования способствует возникновению неодинаковых приспособительных изменений в популяциях вида, следствием которого является расхождение признаков и свойств популяций — *дивергенция*.

Однако накопления различий, даже на генетическом уровне, отнюдь не достаточно для появления нового вида. До тех пор, пока различающиеся по каким-либо признакам популяции не только контактируют, но и способны к скрещиванию с образованием плодовитого потомства, они относятся к одному виду. Лишь невозможность перетока генов из одной группы особей в другую, даже в случае разрушения разделяющих их преград, т. е. скрещивания, означает завершение сложнейшего эволюционного процесса формирования нового вида.

Видообразование является продолжением микроэволюционных процессов. Существует точка зрения, что видообразование не может быть сведено к микроэволюции, оно представляет качественный этап эволюции и осуществляется благодаря другим механизмам.

Способы видообразования

Выделяют два основных способа видообразования: аллопатрическое и симпатрическое.

Аллопатрическое, или *географическое*, видообразование является следствием пространственного разделения популяций физическими преградами (горные хребты, моря и реки) вследствие их возникновения или расселения в новые места обитания (географическая изоляция). Поскольку в данном случае генофонд отделившейся популяции существенно отличается от материнской, да и условия в месте ее обитания не будут совпадать с исходными, со временем это приведет к дивергенции и формированию нового вида. Ярким примером географического видообразования является обнаруженное Ч. Дарвином во время путешествия на корабле «Бигль» разнообразие видов вьюрков на Галапагосских островах вблизи побережья Эквадора. По-видимому, отдельные особи единственного обитающего на южноамериканском континенте вьюрка каким-то образом попали на острова, и, вследствие различия условий (в первую очередь доступности пищи) и географической изоляции, они постепенно эволюционировали, образовав группу родственных видов.

В основе *симпатрического*, или *биологического*, видообразования лежит какая-либо из форм репродуктивной изоляции, при этом новые виды возникают внутри ареала исходного вида. Обязательным условием симпатрического видообразования является быстрая изоляция образовавшихся форм. Это более быстрый процесс, чем аллопатрическое видообразование, а новые формы похожи на исходные предковые.

Симпатрическое видообразование может быть вызвано быстрыми изменениями хромосомного набора (полиплоидизация) или хромосомными перестройками. Иногда новые виды возникают вследствие гибридизации двух исходных видов, как, например, у домашней сливы, являющейся гибридом терна и алычи. В некоторых случаях симпатрическое видообразование связано с разделением экологических ниш у популяций одного вида в пределах единого ареала или сезонной изоляции — расхождения сроков репродукции у растений (разные виды сосны в Калифорнии пылят в феврале и апреле) и сроков размножения у животных.

Из всего многообразия вновь возникающих видов только немногие, наиболее приспособленные, могут существовать длительное время и дать начало новым видам. Причины гибели большинства видов до сих пор неизвестны, скорее всего это обусловлено резкими изменениями климата, геологическими процессами и вытеснением их более приспособленными организмами. В настоящее время одной из причин гибели значительного числа видов является человек, который истребляет наиболее крупных животных и самые красивые растения, и если в XVII веке этот процесс только начался истреблением последнего тура, то в XXI веке ежечасно исчезает более 10 видов.

Сохранение многообразия видов как основа устойчивости биосферы

Несмотря на то что на планете, по разным оценкам, обитает 5–10 млн еще не описанных видов организмов, о существовании большинства из них мы никогда не узнаем, поскольку ежечасно с лица Земли исчезает около 50 видов. Исчезновение живых организмов в настоящее время со-

всем не обязательно связано с их физическим истреблением, чаще это обусловлено разрушением в результате человеческой деятельности их природных мест обитания. Гибель отдельного вида вряд ли способна привести к фатальным последствиям для биосферы, однако уже давно установлено, 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.

Накопленные за предыдущие десятилетия печальные факты вынудили Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) начать в 1949 году сбор информации о редких и находящихся под угрозой исчезновения видах растений и животных. В 1966 году МСОП издал первую «Красную книгу фактов».

Красная книга — это официальный документ, содержащий регулярно обновляемые данные о состоянии и распространении редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений, животных и грибов.

В этом документе принята пятиступенчатая шкала статуса охраняемого вида, причем к первой ступени охраны относят виды, спасение которых невозможно без осуществления специальных мероприятий, а к пятой — восстановленные виды, состояние которых благодаря принятым мерам не вызывает опасений, но они еще не подлежат промышленному использованию. Разработка такой шкалы позволяет направить первоочередные усилия в области охраны именно на самые редкие виды, такие как амурские тигры.

Помимо международного варианта Красной книги, существуют также национальные и региональные ее варианты. В СССР Красная книга была учреждена в 1974 году, а в Российской Федерации порядок ее ведения регламентируется Федеральными законами «Об охране окружающей среды», «О животном мире» и Постановлением Правительства РФ «О Красной книге Российской Федерации». Сегодня в Красную книгу РФ занесено 610 видов растений, 247 видов животных, 42 вида лишайников и 24 вида грибов. Популяции некоторых из них, в свое время оказавшиеся под угрозой исчезновения (бобр европейский, зубр), уже довольно успешно восстановлены.

Под охрану в России взяты следующие виды животных: русская выхухоль, тарбаган (монгольский сурок), белый медведь, кавказская европейская норка, калан, манул, амурский тигр, леопард, снежный барс, сивуч, морж, тюлени, дельфины, киты, лошадь Пржевальского, кулан, розовый пеликан, фламинго обыкновенный, аист черный, лебедь малый, орел степной, беркут, журавль черный, стерх, дрофа, филин, чайка белая, черепаха средиземноморская, полоз японский, гюрза, жаба камышовая, минога каспийская, все виды осетровых рыб, лосось озерный, жук-олень, шмель необыкновенный, аполлон обыкновенный, рак-богомол, жемчужница обыкновенная и др.

К растениям Красной книги РФ относятся 7 видов подснежников, некоторые виды полыни, женьшень настоящий, 7 видов колокольчиков, дуб зубчатый, пролеска пролесковидная, 11 видов касатиков, рябчик русский, тюльпан Шренка, лотос орехоносный, башмачок венерин настоящий, пион тонколистный, ковыль перистый, первоцвет Юлии, прострел (сон-трава) луговой, красавка белладонна, сосна пицундская, тис ягодный, щитовник китайский, полушник озерный, сфагнум мягкий, филлофора курчавая, хара нитевидная и др.

Редкие грибы представлены трюфелем летним, или русским черным трюфелем, трутовиком лакированным и др.

Охрана редких видов в большинстве случаев связана с запретом их уничтожения, сохранением их самих в искусственно созданной среде обитания (зоопарках), охране их местообитаний и созданием низкотемпературных генетических банков.

Наиболее эффективной мерой охраны редких видов является сохранение их местообитаний, которое достигается организацией сети особо охраняемых заповедных территорий, имеющих, в соответствии с Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях» (1995), международное, федеральное, региональное или местное значение. К ним относятся государственные природные заповедники, национальные парки, природные парки, государственные природные заказники, памятники природы, дендрологические парки, ботанические сады и др.

Государственный природный заповедник — это полностью изъятый из хозяйственного использования особо охраняемый природный комплекс (земля, водные объекты, недра, раститель-

ный и животный мир), имеющий природоохранное, научное, эколого-просветительское значение как образец естественной природной среды, типичные или редкие ландшафты, места сохранения генетического фонда растительного и животного мира.

Заповедники, которые входят в международную систему биосферных резерватов, осуществляющих глобальный экологический мониторинг, имеют статус *государственных природных биосферных заповедников*. Заповедник является природоохранным, научно-исследовательским и эколого-просветительским учреждением, имеющим целью сохранение и изучение естественного хода природных процессов и явлений, генетического фонда растительного и животного мира, отдельных видов и сообществ растений и животных, типичных и уникальных экологических систем. В настоящее время в России насчитывается около 100 государственных природных заповедников, 19 из которых носят статус биосферного, в т. ч. Байкальский, Баргузинский, Кавказский, «Кедровая падь», Кроноцкий, Приокско-Террасный и др.

В отличие от заповедников, территории (акватории) *национальных парков* включают в себя природные комплексы и объекты, имеющие особую экологическую, историческую и эстетическую ценности, и предназначены для использования в природоохранных, просветительских, научных и культурных целях и для регулируемого туризма. Такой статус имеют 39 особо охраняемых природных территорий, в т. ч. Забайкальский и Сочинский национальные парки, а также национальные парки «Куршская коса», «Русский Север», «Шушенский бор» и др.

Природные парки являются природоохранными рекреационными учреждениями, находящимися в ведении субъектов Российской Федерации, территории (акватории) которых включают в себя природные комплексы и объекты, имеющие значительную экологическую и эстетическую ценности, и предназначены для использования в природоохранных, просветительских и рекреационных целях.

Государственными природными заказниками являются территории (акватории), имеющие особое значение для сохранения или восстановления природных комплексов или их компонентов и поддержания экологического баланса.

6.2. Развитие эволюционных идей. Значение эволюционной теории Ч. Дарвина. Взаимосвязь движущих сил эволюции. Формы естественного отбора, виды борьбы за существование. Синтетическая теория эволюции. Элементарные факторы эволюции. Исследования С. С. Четверикова. Роль эволюционной теории в формировании современной естественнонаучной картины мира

Развитие эволюционных идей

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. Данное направление сформировалось в результате установления господства христианской церкви в Европе, опиравшейся на библейские тексты. Видными представителями креационизма были К. Линней и Ж. Кювье.

«Князь ботаников» К. Линней, открывший и описавший сотни новых видов растений, и создавший первую стройную их систему, тем не менее, доказывал, что общее количество видов организмов неизменно со времени сотворения Земли, то есть они не только не появляются вновь, но и не исчезают. Только к концу жизни он пришел к заключению, что делом рук Божьих являются роды, тогда как виды могут развиваться вследствие приспособления к местным условиям.

Вкладом выдающегося французского зоолога Ж. Кювье (1769–1832) в биологию было опиравшееся на многочисленные данные палеонтологии, сравнительной анатомии и физиологии *учение о корреляциях* — взаимосвязях частей организма. Благодаря этому стало возможным реконструировать по отдельным частям внешний облик животного. Однако в процессе палеонтологических исследований Ж. Кювье не мог не обратить внимания как на явное изобилие ископаемых форм, так и на резкие изменения групп животных в течение геологической истории. Эти данные послужили отправной точкой для формулировки *теории катастроф*, согласно которой все или почти все организмы на Земле неоднократно погибали в результате периодических стихийных бедствий, а потом планета вновь заселялась видами, пережившими катастрофу. Последователи Ж. Кювье насчитывали до 27 таких катастроф в истории Земли. Соображения же об эволюции представлялись Ж. Кювье оторванными от реальности.

Противоречия в исходных положениях креационизма, которые становились все более очевидными по мере накопления научных фактов, послужили отправной точкой для формирования другой системы взглядов — *трансформизма*, признающего реальное существование видов и их историческое развитие. Представители данного течения — Ж. Бюффон, И. Гете, Э. Дарвин и Э. Жоффруа Сент-Илер, будучи не в силах вскрыть истинные причины эволюции, сводили их к приспособлению к условиям окружающей среды и наследованию приобретенных признаков. Корни трансформизма можно найти в работах еще древнегреческих и средневековых философов, которые признавали исторические изменения органического мира. Так, Аристотель высказал идею о единстве природы и постепенности перехода от тел неживой природы к растениям, а от них — к животным — «лестнице природы». Основной причиной изменений живых организмов он считал их внутреннее стремление к совершенству.

Французский естествоиспытатель Ж. Бюффон (1707–1788), главным трудом жизни которого была 36-томная «Естественная история», вопреки представлениям креационистов, раздвинул рамки истории Земли до 80–90 тыс. лет. При этом он констатировал единство растительного и животного мира, а также возможность изменения родственных организмов под воздействием факторов окружающей среды в результате одомашнивания и гибридизации.

Английский врач, философ и поэт Э. Дарвин (1731–1802), дед Ч. Дарвина, полагал, что история органического мира насчитывает миллионы лет, а разнообразие животного мира является результатом смешения нескольких «естественных» групп, влияния внешней среды, упражнения и неупражнения органов, и других факторов.

Единство плана строения групп животных считал одним из главных доказательств развития живого мира Э. Жоффруа Сент-Илер (1772–1844). Однако, в отличие от своих предшественников, он склонялся к тому, что изменение видов обусловлено воздействием факторов среды не на взрослые особи, а на зародыши.

Несмотря на то, что в разгоревшейся в 1831 году дискуссии между Ж. Кювье и Э. Жоффруа Сент-Илером в виде серии докладов в Академии наук, явный перевес остался на стороне первого, именно трансформизм стал предтечей эволюционизма. *Эволюционизм* (теория эволюции, эволюционное учение) — это система взглядов, признающая развитие природы по определенным законам. Он является теоретической вершиной биологии, которая позволяет объяснять наблюдаемые нами многообразие и сложность живых систем. Однако в связи с тем, что эволюционное учение описывает труднодоступные для наблюдения явления, оно сталкивается со значительными затруднениями. Иногда теорию эволюции называют «дарвинизмом» и отождествляют с учением Ч. Дарвина, что является в корне неверным, поскольку, хотя теория Ч. Дарвина и внесла неоценимый вклад в развитие не только эволюционного учения, но и биологии в целом (а также многих других наук), основы эволюционной теории были заложены другими учеными, она продолжает развиваться и по сей день, а «дарвинизм» во многих аспектах имеет лишь историческое значение.

Создателем первой эволюционной теории — ламаркизма — был французский естествоиспытатель Ж. Б. Ламарк (1744–1829). Движущей силой эволюции он считал внутреннее стремление организмов к совершенству (*закон градации*), однако приспособление к условиям внешней среды вынуждает их к отклонению от этой магистральной линии. При этом органы, которые интенсивно используются животным в процессе 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. Так, наличие перепонок между пальцами ног у водоплавающих птиц он объяснял попытками их предков передвигаться в водной среде, а длинная шея жирафов, по Ламарку, является следствием того, что их предки старались доставать листья с верхушек деревьев.

Недостатками ламаркизма были теоретичность многих построений, а также допущение вмешательства Творца в эволюцию. В процессе развития биологии выяснилось, что индивидуальные изменения, приобретаемые организмами в процессе жизни, большей частью укладываются в пределы фенотипической изменчивости, а их передача практически невозможна. Например, немецкий зоолог и теоретик эволюционного учения А. Вейсман (1834–1914) на протяжении многих поколений отрезал мышам хвосты и всегда получал в потомстве только хвостатых грызунов. Теория Ж. Б. Ламарка не была принята современниками, но на рубеже веков легла в основу так называемого *неоламаркизма*.

Значение эволюционной теории Ч. Дарвина

Предпосылками для создания наиболее известной эволюционной теории Ч. Дарвина, или дарвинизма, стали публикация в 1778 году труда английского экономиста Т. Мальтуса «Трактат о народонаселении», работы геолога Ч. Лайеля, формулировка клеточной теории, успехи селекции в Англии и собственные наблюдения Ч. Дарвина (1809–1882), сделанные в годы учебы в Кембридже, в экспедиции в качестве натуралиста на корабле «Бигль» и по ее завершении.

Так, Т. Мальтус утверждал, что население Земли увеличивается в геометрической прогрессии, что существенно превышает возможности планеты по обеспечению его продовольствием и ведет к гибели части потомства. Параллели, проведенные Ч. Дарвиным и его соавтором А. Уоллесом (1823–1913), указывали на то, что и в природе особи размножаются с очень большой скоростью, однако численность популяций остается относительно постоянной. Исследования английского

геолога Ч. Лайеля позволили установить, что поверхность Земли далеко не всегда была такой, как в настоящее время, а ее изменения были вызваны воздействием воды, ветра, вулканическими извержениями и деятельностью живых организмов. Самого же Ч. Дарвина еще в студенческие годы поразила крайняя степень изменчивости жуков, а во время путешествия — сходство флоры и фауны континентальной Южной Америки и лежащих вблизи нее Галапагосских островов, и в то же время значительное разнообразие видов, например вьюрков и черепах. Кроме того, в экспедиции он мог наблюдать скелеты гигантских вымерших млекопитающих, сходных с современными броненосцами и ленивцами, что существенно поколебало его веру в сотворение видов.

Основные положения теории эволюции были высказаны Ч. Дарвином в 1859 году на заседании Лондонского Королевского общества, а впоследствии развиты в книгах «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» (1859), «Изменение домашних животных и культурных растений» (1868), «Происхождение человека и половой отбор» (1871), «Выражение эмоций у человека и животных» (1872) и др.

Сущность разработанной Ч. Дарвиным *концепции эволюции* можно свести к ряду вытекающих друг из друга положений, имеющих соответствующие *доказательства*:

1. Особи, составляющие любую популяцию, производят гораздо больше потомков, нежели это необходимо для поддержания численности популяции.
2. В связи с тем, что жизненные ресурсы для любого вида живых организмов ограничены, между ними неизбежно возникает *борьба за существование*. Ч. Дарвин различал внутривидовую и межвидовую борьбу, а также борьбу с факторами окружающей среды. При этом он указывал и на то, что речь идет не только о борьбе конкретной особи за существование, но и за оставление потомства.
3. Следствием борьбы за существование является *естественный отбор* — преобладающее выживание и размножение организмов, случайно оказавшихся наиболее приспособленными к данным условиям существования. Естественный отбор во многом аналогичен искусственному, который человек использует с глубокой древности для выведения новых сортов растений и пород домашних животных. Отбирая особей, которые имеют какой-нибудь желательный признак, человек сохраняет эти признаки путем искусственного разведения с помощью избирательного размножения или опыления. Особой формой естественного отбора является половой отбор по признакам, которые обычно не имеют прямого приспособительного значения (длинные перья, огромные рога и т. п.), однако способствуют достижению успеха в размножении, поскольку делают особь более привлекательной для противоположного пола или более грозной для соперников того же пола.
4. Материалом для эволюции служат различия организмов, возникающие вследствие их изменчивости. Ч. Дарвин различал неопределенную и определенную изменчивости. *Определенная* (групповая) изменчивость проявляется у всех особей вида одинаково под действием определенного фактора и исчезает у потомков, когда действие этого фактора прекращается. *Неопределенная* (индивидуальная) изменчивость — это изменения, которые возникают у каждой отдельной особи, независимо от колебаний значений факторов окружающей среды, и передаются потомкам. Такая изменчивость не имеет приспособительного (адаптивного) характера. Впоследствии выяснилось, что определенная изменчивость является ненаследственной, а неопределенная — наследственной.
5. Естественный отбор в конечном итоге приводит к расхождению признаков отдельных изолированных разновидностей — дивергенции, и, в конце концов — к образованию новых видов.

Теория эволюции Ч. Дарвина не только постулировала процесс возникновения и развития видов, но и вскрыла сам механизм эволюции, который зиждется на принципе естественного отбора. Дарвинизм также отрицал запрограммированность эволюции и постулировал ее непрерывный характер.

Вместе с тем эволюционная теория Ч. Дарвина не могла ответить на целый ряд вопросов, например, о природе генетического материала и его свойствах, сущности наследственной и ненаследственной изменчивости, их эволюционной роли. Это привело к кризису дарвинизма и возникновению новых теорий: неоламаркизма, сальтационизма, концепции номогенеза и др. *Неоламаркизм* основывается на положении теории Ж. Б. Ламарка о наследовании приобретенных

признаков. *Сальтационизм* — это система взглядов на процесс эволюции как скачкообразные изменения, приводящие к быстрому появлению новых видов, родов и более крупных систематических групп. Концепция *номогенеза* постулирует запрограммированность направления эволюции и развитие различных признаков на основе внутренних законов. Лишь синтез дарвинизма и генетики в 20–30-е годы XX века смог преодолеть противоречия, неизбежно возникавшие при объяснении ряда фактов.

Взаимосвязь движущих сил эволюции

Эволюция не может быть связана с действием какого-либо одного фактора, поскольку мутации сами по себе являются случайными и ненаправленными изменениями, и не могут обеспечивать приспособление особей к факторам среды, тогда как естественный отбор уже сортирует эти изменения. Равным образом и сам отбор не может быть единственным фактором эволюции, поскольку для отбора нужен соответствующий материал, поставляемый мутациями.

Тем не менее можно отметить, что мутационный процесс и поток генов создают изменчивость, тогда как естественный отбор и дрейф генов сортируют эту изменчивость. Это значит, что факторы, создающие изменчивость, запускают процесс микроэволюции, а сортирующие изменчивость продолжают ее, приводя к установлению новых частот вариантов. Таким образом, эволюционное изменение в пределах популяции можно рассматривать как результат действия противоположных сил, создающих и сортирующих генотипическую изменчивость.

Примером взаимодействия между мутационным процессом и отбором служит гемофилия у человека. Гемофилия — это заболевание, обусловленное пониженной свертываемостью крови. Ранее оно приводило к смерти в дорепродуктивном периоде, поскольку любое повреждение мягких тканей потенциально могло привести к большой кровопотере. Это заболевание обусловлено рецессивной мутацией сцепленного с полом гена Н (X^h). Женщины болеют гемофилией крайне редко, чаще бывают гетерозиготными носительницами, однако их сыновья могут унаследовать данное заболевание. Теоретически в течение нескольких поколений такие мужчины умирают до половой зрелости и постепенно данный аллель должен исчезнуть из популяции, однако частота встречаемости этого заболевания не снижается ввиду повторных мутаций в данном локусе, как это произошло у королевы Виктории, передавшей заболевание трем поколениям королевских домов Европы. Постоянная частота данного заболевания свидетельствует о равновесии между мутационным процессом и давлением отбора.

Формы естественного отбора, виды борьбы за существование

Естественным отбором называют избирательное переживание и оставление потомства наиболее приспособленными особями и гибель наименее приспособленных.

Сущность естественного отбора в теории эволюции заключается в дифференцированном (неслучайном) сохранении в популяции определенных генотипов и избирательном их участии в передаче генов следующему поколению. При этом он влияет не на отдельный признак (или ген), а на весь фенотип, который формируется вследствие взаимодействия генотипа с факторами окружающей среды. Естественный отбор в разных условиях среды будет носить неодинаковый характер. В настоящее время различают несколько форм естественного отбора: стабилизирующий, движущий и разрывающий (рис. 6.2).

Стабилизирующий отбор направлен на закрепление узкой нормы реакции, которая оказалась наиболее благоприятной при данных условиях существования. Он характерен для тех случаев, когда фенотипические признаки являются оптимальными для неизменяющихся условий среды. Ярким примером действия стабилизирующего отбора является сохранение относительно посто-

янной температуры тела теплокровных животных. Эта форма отбора была детально исследована выдающимся отечественным зоологом И. И. Шмальгаузеном.

Движущий отбор возникает в ответ на изменения условий среды, в результате чего сохраняются мутации, отклоняющиеся от среднего значения признака, тогда как господствовавшая ранее форма подвергается уничтожению, так как недостаточно отвечает новым условиям существования. Например, в Англии в результате загрязнения воздуха промышленными выбросами широко распространились доселе невиданные во многих местах бабочки березовые пяденицы с темной окраской крыльев, которые были хуже заметны для птиц на фоне закопченных стволов берез. Движущий отбор не способствует полному уничтожению формы, против которой он действует, поскольку вследствие мер, предпринятых правительством и природоохранными организациями, ситуация с загрязнением атмосферы резко улучшилась, и наблюдается возвращение окраски крыльев бабочек к исходному варианту.

Разрывающий, или *дизруптивный*, *отбор* благоприятствует сохранению крайних вариантов признака и удаляет промежуточные, как, например, в результате применения ядохимикатов появляются устойчивые к нему группы особей насекомых. По своему механизму дизруптивный отбор является противоположностью стабилизирующему отбору. Благодаря этой форме отбора в популяции возникают несколько резко разграниченных фенотипов. Это явление называется *полиморфизмом*. Возникновение репродуктивной изоляции между резко выраженными формами может приводить к видообразованию.

Иногда также отдельно рассматривают *дестабилизирующий отбор*, который сохраняет мутации, приводящие к широкому разнообразию какого-либо признака, например, расцветки и строения раковин некоторых моллюсков, живущих в разнородных микроусловиях скалистой полосы прибоя моря. Эта форма отбора была открыта Д. К. Беляевым при изучении одомашнивания животных.

В природе ни одна из форм естественного отбора не существует в чистом виде, а наоборот, имеются разнообразные их комбинации, и по мере изменения условий среды на первый план выходит то одна, то другая из них. Так, по завершении изменений в среде движущий отбор сменяется стабилизирующим, который оптимизирует группу особей в новых условиях существования.

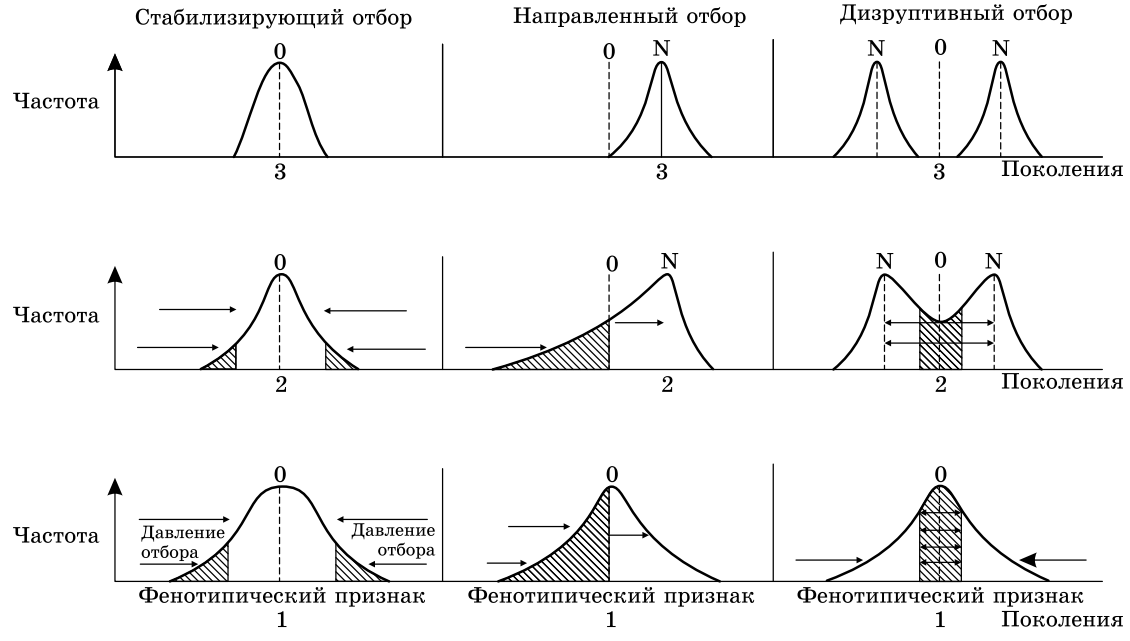


Рис. 6.2. Формы естественного отбора

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, полезного не отдельной особи, а группе в целом. Под давлением группового отбора могут полностью вымирать целые популяции, виды и более крупные группы организмов без оставления потомства. В отличие от индивидуального отбора, групповой сокращает разнообразие форм в природе.

Половой отбор осуществляется внутри одного пола. Он способствует выработке признаков, которые обеспечивают успех в оставлении наибольшего потомства. Благодаря этой форме естественного отбора развился половой диморфизм, выражающийся в величине и окраске хвоста у павлина, рогов у оленей и т. д.

Естественный отбор является результатом борьбы за существование на основе наследственной изменчивости. Под *борьбой за существование* понимают всю совокупность взаимосвязей между особями своего и других видов, а также с абиотическими факторами окружающей среды. Эти отношения определяют успех или неудачу определенной особи в выживании и оставлении потомства. Причиной борьбы за существование является появление избыточного числа особей по отношению к доступным ресурсам. Помимо конкуренции, в эти взаимоотношения следует включать и взаимопомощь, которая повышает шансы особей на выживание.

Еще Ч. Дарвин выделял три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и взаимодействие с факторами окружающей среды. *Внутривидовая борьба* происходит между особями одного вида. Она может быть не только прямой (за пищу, места размножения, территорию), но и косвенной (по устойчивости к паразитам, хищникам и другим неблагоприятным факторам). Внутривидовая борьба является наиболее острой, и обеспечивает выживание наиболее приспособленных из них в борьбе за существование с организмами других видов и абиотическими факторами.

Межвидовая борьба подразумевает взаимоотношения между особями разных видов. При этом, помимо конкуренции за пищу, территорию и другие ресурсы, возможны и другие формы взаимодействия (паразитизм, хищничество, мутуализм).

Взаимодействие с факторами окружающей среды также может приводить к гибели подавляющего большинства особей, например, у насекомых, лишь незначительная часть которых переживает зиму.

Синтетическая теория эволюции

Успехи генетики в начале XX века, например открытие мутаций, наводили на мысль о том, что наследственные изменения фенотипа организмов происходят внезапно, а не формируются длительное время, как это постулировала эволюционная теория Ч. Дарвина. Однако дальнейшие исследования в области популяционной генетики привели к формулировке в 20–50-е годы XX века новой системы эволюционных воззрений — *синтетической теории эволюции*. Значительный вклад в ее создание внесли ученые разных стран: советские ученые С. С. Четвериков, И. И. Шмальгаузен и А. Н. Северцов, английский биохимик и генетик Д. Холдейн, американские генетики С. Райт и Ф. Добржанский, эволюционист Д. Хаксли, палеонтолог Д. Симпсон и зоолог Э. Майр.

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, волны жизни, поток генов — имеют ненаправленный, случайный характер.

5. Единственным направленным фактором эволюции является естественный отбор, который носит творческий характер. Естественный отбор бывает стабилизирующим, движущим и разрывающим (дизруптивным).
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. Видообразование как этап эволюционного процесса является последовательной сменой одной популяции чередой других временных популяций.
8. Различают два вида эволюционного процесса: микроэволюция и макроэволюция. Макроэволюция не имеет своих особых механизмов и осуществляется только благодаря микроэволюционным механизмам.
9. Любая систематическая группа может или процветать (биологический прогресс), или вымирать (биологический регресс). Биологический прогресс достигается благодаря изменениям в строении организмов: ароморфозам, идиоадаптациям или общей дегенерации.
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. процесс это ненаправленный.

Несмотря на то, что эволюционная теория за прошедшие десятилетия обогатилась данными смежных наук — генетики, селекции и др., все же она не учитывает целого ряда аспектов, например направленного изменения наследственного материала, поэтому в будущем возможно создание новейшей концепции эволюции, которая заменит синтетическую теорию.

Элементарные факторы эволюции

Согласно синтетической теории эволюции элементарное эволюционное явление заключается в изменении генетического состава популяции, а события и процессы, которые приводят к изменению генофондов, называются *элементарными факторами эволюции*. К ним относятся мутационный процесс, популяционные волны, дрейф генов, изоляция и естественный отбор. Ввиду исключительности значения естественного отбора в эволюции он будет рассмотрен отдельно.

Мутационный процесс, который так же непрерывен, как и сама эволюция, поддерживает генетическую неоднородность популяции за счет возникновения все новых и новых вариантов генов. Мутации, возникающие под воздействием внешних и внутренних факторов, относят к генным, хромосомным и геномным.

Генные мутации возникают с частотой 10^{-4}–10^{-7} на одну гамету, однако, ввиду того, что у человека и большинства высших организмов общее число генов может достигать нескольких десятков тысяч, невозможно себе представить, чтобы два организма были абсолютно идентичными. Большинство возникающих мутаций является рецессивными, тем более что доминантные мутации тотчас же подвергаются естественному отбору. Рецессивные мутации и создают тот самый резерв наследственной изменчивости, однако прежде чем проявиться в фенотипе, они должны закрепиться у многих особей в гетерозиготном состоянии благодаря свободному скрещиванию в популяции.

Хромосомные мутации, связанные с потерей или переносом части хромосомы (целой хромосомы) на другую, также довольно часты у различных организмов, например, разница между некоторыми видами крыс заключается в единственной паре хромосом, что затрудняет их скрещивание.

Геномные мутации, связанные с полиплоидизацией, также ведут к репродуктивной изоляции вновь возникшей популяции ввиду нарушений в митозе первого деления зиготы. Тем не менее у растений они довольно широко распространены и такие растения могут произрастать в Арктике и на альпийских лугах ввиду их большей устойчивости к факторам окружающей среды.

Комбинативная изменчивость, которая обеспечивает возникновение новых вариантов объединения генов в генотипе, и, соответственно, повышает вероятность появления новых фенотипов,

также вносит свой вклад в эволюционные процессы, поскольку только у человека количество вариантов комбинаций хромосом составляет 2^{23}, то есть появление организма, аналогичного уже существующему, практически невозможно.

Популяционные волны. 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*». Увеличение или уменьшение численности особей в популяциях может быть как *периодическим*, так и *непериодическим*. Первые являются сезонными или многолетними, как, например, миграции у перелетных птиц, или размножение у дафний, у которых весной и летом имеются только женские особи, а к осени появляются мужские, необходимые для полового размножения. Непериодические колебания численности обусловлены зачастую резким увеличением количества пищи в благоприятный год, нарушением условий обитания, размножением вредителей или хищников.

Поскольку восстановление численности популяции происходит за счет небольшого количества особей, имеющих 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*. Он имеет место также при освоении новых территорий, ведь на них попадает чрезвычайно ограниченное число особей данного вида, которые могут дать начало новой популяции. Поэтому здесь особое значение приобретают генотипы данных особей (*эффект основателя*). В результате дрейфа генов зачастую выщепляются новые гомозиготные формы (по мутантным аллелям), которые могут оказаться приспособительно ценными, и будут в дальнейшем подхвачены естественным отбором.

Так, у индейского населения американского континента и лапландцев очень высока доля лиц с I (0) группой крови, тогда как III и IV группы крайне редки. Вероятно, в первом случае основателями популяции были лица, не имевшие аллеля I^B, либо он был утрачен в процессе отбора.

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. По сути, поток генов представляет собой запаздывающий мутационный процесс.

Изоляция. Любые изменения генетической структуры популяции должны быть закреплены, что и происходит благодаря *изоляции* — возникновению любых барьеров (географических, экологических, поведенческих, репродуктивных и др.), затрудняющих и делающих невозможным скрещивание особей различных популяций. Хотя сама по себе изоляция не создает новых форм, она, тем не менее, сохраняет генетические различия между популяциями, подвергающихся действию естественного отбора. Различают две формы изоляции: географическую и биологическую.

Географическая изоляция возникает в результате разделения ареала физическими барьерами (водными препятствиями для наземных организмов, участками суши для видов-гидробионтов, чередованием приподнятых участков и равнин); этому оказывает содействие малоподвижный или прикрепленный (у растений) образ жизни. Иногда географическая изоляция может быть вызвана расширением ареала какого-нибудь вида с последующим вымиранием его популяций на промежуточных территориях.

Биологическая изоляция является следствием определенных расхождений организмов в пределах одного вида, которые каким-то образом предотвращают свободное скрещивание. Существует несколько разновидностей биологической изоляции: экологическая, сезонная, этологическая, морфологическая и генетическая. *Экологическая изоляция* достигается благодаря разделению экологических ниш (например, предпочтение определенных местообитаний или характера пищи, как у клеста-еловика и клеста-сосновика). *Сезонная* (временная) изоляция наблюдается в случае размножения особей одного вида в разные сроки (разные стада сельди). *Этологическая* изоляция зависит от особенностей поведения (особенности ритуала ухаживания, окраска, «пение» самок и самцов из разных популяций). При *морфологической изоляции* препятствием к скрещиванию служат расхождение в структуре органов размножения или даже размерах тела (пекинес и дог). *Генетическая изоляция* оказывает наибольшее влияние и проявляется в несовместимости поло-

вых клеток (гибель зиготы после оплодотворения), стерильности или сниженной жизнеспособности гибридов. Причинами этого являются особенности числа и формы хромосом, вследствие чего становится невозможным полноценное деление клеток (митоз и мейоз).

Нарушая свободное скрещивание между популяциями, изоляция тем самым закрепляет в них те различия, которые возникли на генотипическом уровне вследствие мутаций и колебаний численности. При этом каждая из популяций подвергается действию естественного отбора отдельно от другой, и это в конечном итоге приводит к дивергенции.

Творческая роль естественного отбора в эволюции

Естественный отбор выполняет функцию своеобразного «сита», сортирующего генотипы по степени приспособленности. Однако еще Ч. Дарвин подчеркивал, что отбор не только и не столько направлен на сохранение исключительно наилучших, но на удаление наихудших, то есть он позволяет сохранить многовариантность. Этим функция естественного отбора не ограничивается, поскольку он обеспечивает размножение приспособленных генотипов, и, таким образом, определяет направление эволюции, последовательно слагая случайные и многочисленные уклонения.

Естественный отбор не имеет определенной цели: на основе одного и того же материала (наследственной изменчивости) в различных условиях могут быть получены неодинаковые результаты. В связи с этим рассматриваемый фактор эволюции нельзя сравнивать с работой скульптора, обтесывающего мраморную глыбу, скорее он действует как далекий предок человека, изготавливающий орудие труда из каменного обломка, не представляя себе конечного результата, который зависит не только от природы камня и его формы, но и от силы, направления удара и т. д. Однако в случае неудачи отбор, как и человекообразное существо, отбраковывает «неправильную» форму.

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.

Под давлением естественного отбора формируется не только разнообразие видов, но и повышается их уровень организации, в том числе происходит их усложнение или специализация. Однако, в отличие от искусственного отбора, осуществляемого человеком только на хозяйственно ценные признаки, зачастую в ущерб приспособительным свойствам, естественный отбор не может способствовать этому, поскольку ни одно приспособление в природе не может компенсировать вред от снижения жизнеспособности популяции.

Исследования С. С. Четверикова

Один из важных шагов к примирению дарвинизма и генетики был сделан московским зоологом С. С. Четвериковым (1880–1959). Основываясь на результатах исследования генетического состава природных популяций плодовой мушки дрозофилы, доказал, что они несут множество рецессивных мутаций в гетерозиготной форме, не нарушающих фенотипического однообразия. Большинство этих мутаций являются неблагоприятными для организма и создают так называемый *генетический груз*, снижающий приспособленность популяции в целом к среде обитания. Некоторые мутации, не имеющие приспособительного значения в данный момент развития вида, могут приобрести определенную ценность впоследствии, и тем самым являются *резервом наследственной изменчивости*. Распространение таких мутаций среди особей популяции вследствие последовательных свободных скрещиваний может привести в конечном итоге к их переходу в гомозиготное состояние и проявлению в фенотипе. Если данное состояние признака — *фен* — является приспособительным, то через несколько поколений оно полностью вытеснит из популяции менее соответствующий данным условиям доминантный фен вместе с его носителями. Таким образом,

вследствие подобных эволюционных изменений сохраняется только рецессивная мутантная аллель, а ее доминантная аллель исчезает.

Попробуем доказать это на конкретном примере. При исследовании какой-либо конкретной популяции можно обнаружить, что не только ее фенотипическая, но и генотипическая структуры могут оставаться неизменными в течение длительного времени, что обусловлено свободным скрещиванием, или *панмиксией* диплоидных организмов.

Данное явление описывается **законом Харди – Вайнберга**, согласно которому в идеальной популяции неограниченно больших размеров в отсутствие мутаций, миграций, популяционных волн, дрейфа генов, естественного отбора и при условии свободного скрещивания частоты аллелей и генотипов диплоидных организмов не будут изменяться на протяжении ряда поколений.

Например, в популяции некий признак кодируется двумя аллелями одного и того же гена — доминантной (*A*) и рецессивной (*a*). Частота доминантной аллели обозначается при этом как *p*, а рецессивной — *q*. Сумма частот данных аллелей составляет 1: $p + q = 1$. Следовательно, если нам известна частота доминантной аллели, то можно определить и частоту рецессивной аллели: $q = 1 - p$. Фактически частоты аллелей равны вероятностям образования соответствующих гамет. Тогда после формирования зигот частоты генотипов уже в первом поколении составят:

$$(pA + qa)^2 = p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1,$$

где p^2AA — частота доминантных гомозигот;
$2pqAa$ — частота гетерозигот;
q^2aa — частота рецессивных гомозигот.

Несложно рассчитать, что и в последующих поколениях частоты генотипов останутся прежними, поддерживая генетическое разнообразие популяции. Но в природе идеальные популяции отсутствуют, и поэтому в них мутантные аллели не только могут сохраняться, но и распространяться, и даже замещать ранее более распространенные аллели.

С. С. Четвериков четко осознавал, что естественный отбор не просто устраняет отдельные менее удачные признаки, и, соответственно, кодирующие их аллели, но и действует на весь комплекс генов, влияющих на проявление определенного гена в фенотипе, или *генотипическую среду*. В качестве генотипической среды в настоящее время рассматривается весь генотип как совокупность генов, которая способна усиливать или ослаблять проявление конкретных аллелей.

Не менее важны в развитии эволюционного учения и исследования С. С. Четверикова в области динамики популяций, в частности «волн жизни», или популяционных волн. Еще будучи студентом, в 1905 году он опубликовал статью о возможности вспышек массового размножения насекомых и столь же быстром снижении их численности.

Роль эволюционной теории в формировании современной естественнонаучной картины мира

Значение эволюционной теории в развитии биологии и других естественных наук трудно переоценить, так как она впервые объяснила условия, причины, механизмы и результаты исторического развития жизни на нашей планете, т. е. дала материалистическое объяснение развития органического мира. Кроме того, теория естественного отбора явилась первой подлинно научной теорией биологической эволюции, так как при ее создании Ч. Дарвин опирался не на умозрительные построения, а исходил из собственных наблюдений и опирался на реальные свойства живых организмов. Вместе с тем она обогатила биологический инструментарий историческим методом.

Формулировка эволюционной теории не только вызвала бурную научную дискуссию, но и дала толчок развитию таких наук, как общая биология, генетика, селекция, антропология и целый ряд других. В связи с этим нельзя не согласиться с утверждением, что теория эволюции увенчала собой очередной этап развития биологии и стала отправной точкой для ее прогресса в XX веке.

6.3. Доказательства эволюции живой природы. Результаты эволюции: приспособленность организмов к среде обитания, многообразие видов

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. К ним относятся не только хорошо сохранившиеся организмы, вмерзшие в лед или заключенные в янтарь, но и «мумии», обнаруженные в кислых торфяных болотах, а также сохранившиеся в осадочных породах остатки организмов и окаменелости. Наличие в древних породах более простых организмов, чем в позднейших слоях, и то, что виды, встречающиеся на одном уровне, исчезают на другом, считают одним из наиболее значимых доказательств эволюции и объясняют возникновением и вымиранием видов в соответствующие эпохи вследствие изменения условий окружающей среды.

Несмотря на то что ископаемых остатков обнаружено пока немного и в палеонтологической летописи отсутствуют многие фрагменты вследствие низкой вероятности сохранения органических остатков, все же найдены формы организмов, у которых имеются признаки как эволюционно более древних, так и более молодых групп организмов. Такие формы организмов называют *переходными формами*. Яркими представителями переходных форм, иллюстрирующими переход от рыб к наземным позвоночным, являются кистеперые рыбы и стегоцефалы, а между рептилиями и птицами определенное место занимает археоптерикс.

Ряды ископаемых форм, последовательно связанных между собой в процессе эволюции не только общими, но и частными чертами строения, называются *филогенетическими рядами*. Они могут быть представлены ископаемыми остатками с разных континентов, и претендовать на большую или меньшую полноту, однако их изучение невозможно без сравнения с живущими ныне формами, чтобы продемонстрировать поступательность эволюционного процесса. Классическим примером филогенетического ряда является эволюция предков лошади, исследованная основателем эволюционной палеонтологии В. О. Ковалевским (рис. 6.3).

Биогеографические доказательства. *Биогеография* как наука изучает закономерности распространения и распределения по поверхности нашей планеты видов, родов и других групп живых организмов, а также их сообществ.

Отсутствие в какой-либо части земной поверхности видов организмов, которые приспособлены к такой среде обитания и хорошо приживаются при искусственном завозе, как кролики в Австралии, а также наличие близких форм организмов в отстоящих на значительных расстояниях друг от друга частях суши свидетельствуют, прежде всего, о том, что облик Земли не всегда был таким, и геологические преобразования, в частности, дрейф континентов, образование гор, подъем и опускание уровня Мирового океана влияют на эволюцию организмов. Например, в тропических областях Южной Америки, в Южной Африке и Австралии обитают четыре сходных вида двоякодышащих рыб, ареалы же относящихся к одному отряду верблюдов и лам располагаются в Северной Африке, большей части Азии и в Южной Америке. Палеонтологические исследования показали, что верблюды и ламы происходят от общего предка, обитавшего некогда в Северной Америке, а затем распространившегося в Азию через существовавший ранее перешеек на месте Берингова пролива, а также через Панамский перешеек в Южную Америку. Впоследствии все представители

данного семейства в промежуточных областях вымерли, а в краевых в процессе эволюции сформировались новые виды. Более раннее отделение Австралии от остальных массивов суши позволило сформироваться там совершенно особой флоре и фауне, в которой сохранились такие формы млекопитающих, как однопроходные — утконос и ехидна.

С точки зрения биогеографии можно объяснить и разнообразие дарвиновых вьюрков на Галапагосских островах, отстоящих от побережья Южной Америки на 1200 км и имеющих вулканическое происхождение. По-видимому, некогда на них залетели или были занесены представители единственного в Эквадоре вида вьюрков, а затем, по мере размножения, часть особей расселялась по остальным островам. На центральных крупных островах борьба за существование (пищу, места гнездования и т. д.) была наиболее острой, поэтому и сформировались незначительно отличающиеся друг от друга по внешним признакам виды, потребляющие различную пищу (семена, плоды, нектар, насекомых и т. д.).

Влияли на распространение различных групп организмов и изменения климатических условий на Земле, способствовавшие процветанию одних групп и вымиранию других. Отдельные виды или группы организмов, сохранившиеся от широко распространенных ранее флор и фаун, называют *реликтами*. К ним относятся гинкго, секвойя, тюльпанное дерево, кистеперая рыба латимерия и др. В более широком смысле виды растений и животных, обитающие на ограниченных участках территории или акватории, называются *эндемичными*, или *эндемиками*. Например, эндемиками являются все представители аборигенной флоры и фауны Австралии, а во флоре и фауне озера Байкал таковых до 75 %.

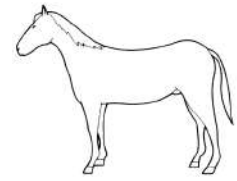
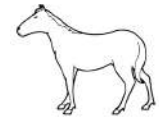
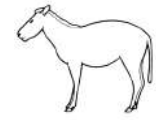
Эпоха и возраст древнейших горных пород	Род	Внешний вид и высота (в холке)	Кости правой передней ноги
Плейстоцен	Equus	 До 1,6 м	
Плиоцен	Pliohippus	 1,0 м	
Миоцен	Merychippus	 До 1,0 м	
Олигоцен	Mesohippus	До 0,6 м	
Эоцен	Hyracotherium	Примерно 0,4 м	

Рис. 6.3. Эволюция предков современной лошади

Сравнительно-анатомические доказательства. Изучение анатомии родственных групп животных и растений дает убедительные свидетельства сходства строения их органов. Несмотря на то что экологические факторы, безусловно, накладывают свой отпечаток на строение органов, у покрытосеменных растений при всем их поразительном разнообразии цветки имеют чашелистики, лепестки, тычинки и пестики, а у наземных позвоночных животных конечность построена по плану пятипалой. Органы, имеющие сходное строение, занимающие одно и то же положение в организме и развивающиеся из одних и тех же зачатков у родственных организмов, но выполняющие разные функции, называются *гомологичными* (рис. 6.4). Так, слуховые косточки (молоточек, наковальня и стремечко) гомологичны жаберным дугам рыб, ядовитые железы змей — слюнным железам других позвоночных, молочные железы млекопитающих — потовым, ласты тюленей и китообразных — крыльям птиц, конечностям лошадей и кротов.

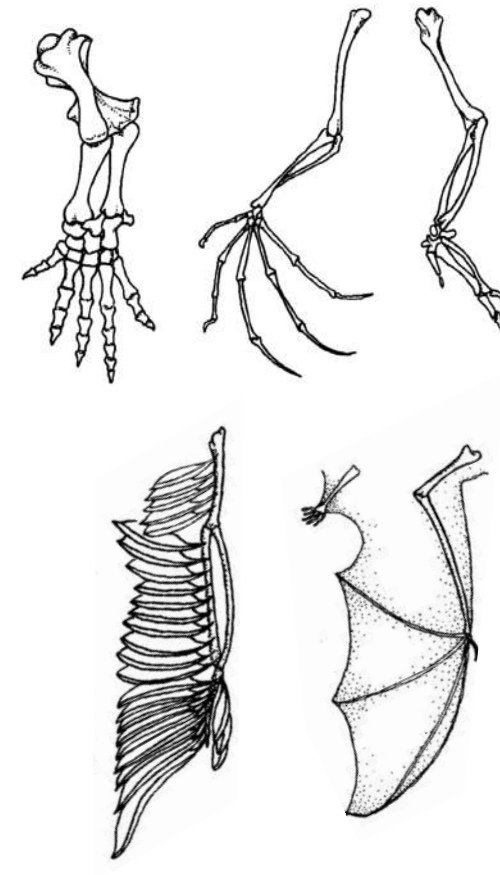


Рис. 6.4. Гомологичные органы

Нефункционирующие длительное время органы, вероятнее всего, в процессе эволюции превращаются в *рудиментарные* (*рудименты*) — недоразвитые по сравнению с предковыми формами структуры, которые потеряли основное значение. К ним относят малую берцовую кость у птиц, глаза у кротов и слепышей, волосяной покров, копчик и червеобразный отросток (аппендикс) у человека и др.

У отдельных особей, тем не менее, могут проявляться признаки, отсутствующие у данного вида, но имевшиеся у отдаленных предков — *атавизмы*, например, трехпалость у современных лошадей, развитие дополнительных пар молочных желез, хвоста и волосяного покрова на всем теле человека.

Если гомологичные органы являются свидетельством в пользу родства организмов и дивергенции в процессе эволюции, то *аналогичные органы* — сходные у организмов различных групп структуры, выполняющие одинаковые функции, наоборот, относятся к примерам конвергенции (*конвергенцией* называется в целом независимое развитие сходных признаков у разных групп организмов, существующих в одинаковых условиях) и подтверждают тот факт, что окружающая среда накладывает значительный отпечаток на организм (рис. 6.5). Аналогами являются крылья насекомых и птиц, глаза позвоночных и головоногих (кальмаров, осьминогов), членистые конечности членистоногих и наземных позвоночных.

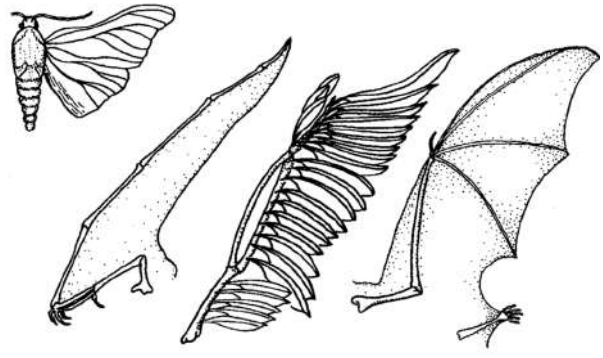


Рис. 6.5. Аналогичные органы

Сравнительно-эмбриологические доказательства. Изучая эмбриональное развитие у представителей разных групп позвоноч-

ных, К. Бэр обнаружил их поразительное структурное единство, особенно на ранних стадиях развития (*закон зародышевого сходства*). Позднее Э. Геккель сформулировал *биогенетический закон*, согласно которому 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.

Так, зародыш позвоночного на первых стадиях развития приобретает черты строения, характерные для рыб, а затем земноводных и, в конце концов, той группы, к которой он относится. Это превращение объясняется тем, что каждый из вышеперечисленных классов имеет общих предков с современными рептилиями, птицами и млекопитающими (рис. 6.6).

Однако биогенетический закон обладает целым рядом ограничений, и поэтому русский ученый А. Н. Северцов существенно ограничил область его применения повторением в онтогенезе исключительно особенностей зародышевых стадий развития предковых форм.

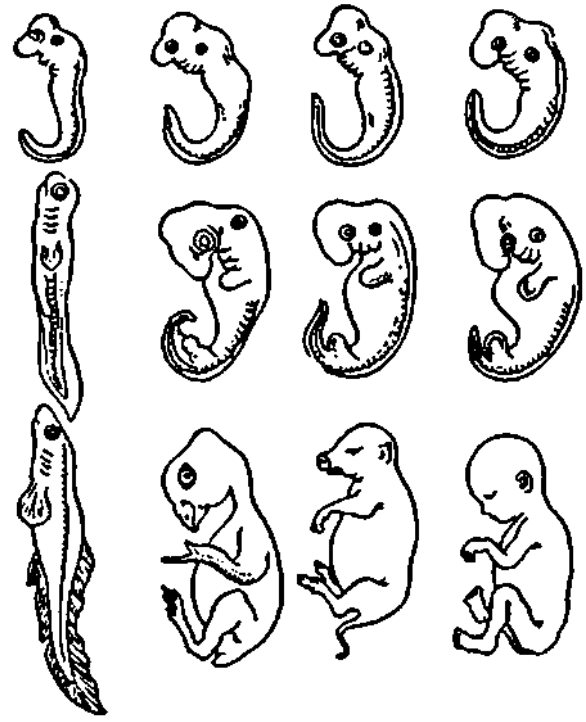


Рис. 6.6. Сравнение стадий эмбрионального развития представителей различных классов позвоночных: *а* — рыбы; *б* — птицы; *в* — млекопитающие; *г* — человек

Сравнительно-биохимические доказательства. Разработка более точных методов биохимического анализа предоставила ученым-эволюционистам новую группу данных в пользу исторического развития органического мира, поскольку наличие одинаковых веществ у всех организмов указывает на возможную биохимическую гомологию, подобной таковой на уровне органов и тканей. Сравнительно-биохимические исследования первичной структуры таких широко распространенных белков, как цитохром *с* и гемоглобин, а также нуклеиновых кислот, особенно рРНК, показали, что многие из них имеют практически одинаковое строение и выполняют те же функции у представителей различных видов, при этом, чем ближе родство, тем большее сходство обнаруживается в строении исследуемых веществ.

Таким образом, теория эволюции подтверждается значительным количеством данных из различных источников, что лишний раз свидетельствует о ее достоверности, но она еще будет изменяться и уточняться, поскольку многие аспекты жизни организмов остаются вне поля зрения исследователей.

Результаты эволюции: приспособленность организмов к среде обитания, многообразие видов

Помимо общих признаков, свойственных представителям того или иного царства, виды живых организмов характеризуются поразительным разнообразием особенностей внешнего и внутреннего строения, жизнедеятельности и даже поведения, появившихся и отобранных в процессе эволюции и обеспечивающих приспособление к условиям обитания. Однако не следует считать, что поскольку у птиц и насекомых есть крылья, то это связано с непосредственным действием воздушной среды, ведь и бескрылых насекомых и птиц предостаточно. Вышеупомянутые приспособления были отобраны в процессе естественного отбора из всего спектра имеющихся мутаций.

Эпифитные растения, обитающие не на почве, а на деревьях, приспособились к поглощению атмосферной влаги при помощи корней без корневых волосков, но со специальной гигроскопичной тканью — *веламеном*. Некоторые бромелии могут впитывать водяные пары во влажной атмосфере тропиков с помощью волосков на листьях.

У насекомоядных растений (росянки, венериной мухоловки), обитающих на почвах, где азот недоступен по тем или иным причинам, выработался механизм привлечения и поглощения мелких животных, чаще всего насекомых, являющихся для них источником искомого элемента.

Для защиты от поедания травоядными животными у многих растений, ведущих прикрепленный способ жизни, сформировались пассивные средства защиты, такие как колючки (боярышник), шипы (роза), жгучие волоски (крапива), накопление кристаллов щавелевокислого кальция (щавель), биологически активных веществ в тканях (кофе, боярышник) и др. У некоторых из них даже семена в незрелых плодах окружены каменистыми клетками, не дающими вредителям добраться до них, и лишь к осени происходит процесс раздревеснения, что позволяет семенам попасть в почву и прорасти (груша).

Среда оказывает формирующее влияние и на животных. Так, многие рыбы и водные млекопитающие имеют обтекаемую форму тела, которая облегчает им передвижение в ее толще. Однако не стоит считать, что вода непосредственно влияет на форму тела, просто в процессе эволюции наиболее приспособленными к ней оказались именно те животные, которые обладали данным признаком.

Тело китов и дельфинов не покрыто при этом волосяным покровом, тогда как у родственной им группы ластоногих имеется в той или иной мере редуцированный шерстный покров, поскольку, в отличие от первых, они часть времени проводят на суше, где без шерсти их кожа тотчас бы обледенела.

Тело большинства рыб покрыто чешуей, которая на нижней стороне более светло окрашена, нежели на верхней, вследствие чего сверху эти животные малозаметны для естественных врагов на фоне дна, а снизу — на фоне неба. Окраска, обеспечивающая незаметность животных для их врагов или жертв, называется *покровительственной*. Она широко распространена в природе. Ярким примером такой окраски является окраска нижней стороны крыльев бабочки каллимы, которая, сев на веточку и сложив крылья вместе, оказывается похожей на сухой листочек. Другие насекомые, например палочники, маскируются под веточки растений.

Пятнистая или полосатая окраска также имеет приспособительное значение, поскольку на фоне почвы таких птиц, как перепела или гаги, не видно даже на близком расстоянии. Незаметны и пятнистые яйца птиц, гнездящихся на земле.

Окраска животных не всегда настолько же постоянна, как у зебры, например, камбала и хамелеон способны менять ее в зависимости от характера того места, где они находятся. Кукушки же, подкладывая свои яйца в гнезда различных птиц, могут варьировать окраску их скорлупы таким образом, чтобы «хозяева» гнезда не заметили различий между ним и собственными яйцами.

Окраска животных далеко не всегда может делать их незаметными — многие из них просто бросаются в глаза, что должно предупреждать об опасности. Большинство таких насекомых и пресмыкающихся в той или иной степени ядовиты, как, например, божья коровка или оса, поэтому хищник, несколько раз испытав неприятные ощущения после употребления в пищу подобного

объекта, избегает его. Тем не менее *предупреждающая окраска* не является универсальной, поскольку некоторые птицы приспособились питаться ими (осоед).

Увеличение шансов на выживание у особей с предупреждающей окраской способствовало ее появлению у представителей других видов без должных для того оснований. Это явление носит название *мимикрии*. Так, неядовитые гусеницы некоторых видов бабочек подражают ядовитым, а божьим коровкам — один из видов тараканов. Однако птицы довольно быстро могут научиться отличать ядовитые организмы от неядовитых и потреблять последних, избегая особей, послуживших образцом для подражания.

В некоторых случаях может наблюдаться и обратное явление — хищные животные подражают по окраске безобидным, что позволяет им приближаться к жертве на близкое расстояние, а затем нападать (саблезубая морская собачка).

Защиту многим видам обеспечивает и приспособительное поведение, которое связано с запасанием пищи на зиму, заботой о потомстве, замирание на месте или наоборот, принятие угрожающей позы. Так, речные бобры заготавливают на зиму несколько кубометров веток, частей стволов и другой растительной пищи, затапливая ее в воде возле «хаток».

Забота о потомстве присуща в основном млекопитающим и птицам, однако и у представителей других классов хордовых она также встречается. Например, известно агрессивное поведение самцов колюшки, отгоняющих всех врагов от гнезда, в котором находится икра. Самцы шпорцевых лягушек наматывают на лапки икру и носят ее до вылупливания из нее головастиков.

Даже некоторые насекомые способны обеспечивать своему потомству более благоприятную среду обитания. Например, пчелы выкармливают своих личинок, а молодые пчелы первое время «работают» только в улье. Муравьи переносят своих куколок вверх и вниз в муравейнике, в зависимости от температуры и влажности, а при угрозе наводнения вообще уносят их с собой. Жуки-скарабеи заготавливают для своих личинок специальные шарики из отходов жизнедеятельности животных.

Многие насекомые при угрозе нападения застывают на месте и принимают вид сухих палочек, веточек и листочков. А гадюки, наоборот, поднимаются и раздувают свой капюшон, тогда как гремучая змея издает специальный звук погремушкой, расположенной на конце хвоста.

Поведенческие адаптации дополняются и физиологическими, связанными с особенностями среды обитания. Так, человек способен находиться под водой без акваланга всего несколько минут, после чего он может потерять сознание и погибнуть из-за недостатка кислорода, а киты не всплывают на протяжении достаточно длительного времени. Объем легких у них не слишком велик, однако существуют другие физиологические приспособления, например, в мышцах высока концентрация дыхательного пигмента — миоглобина, который как бы запасает кислород и отдает его во время погружения. Кроме того, у китов есть особое образование — «чудесная сеть», которая позволяет использовать кислород даже венозной крови.

Животные жарких мест обитания, например пустыни, постоянно подвергаются риску перегрева и потери избыточного количества влаги. Поэтому лисичка-фенек имеет чрезвычайно большие ушные раковины, позволяющие излучать тепло. Земноводные пустынных регионов во избежание потери влаги через кожу вынуждены перейти к ночному образу жизни, когда влажность повышается и появляется роса.

Птицы, освоившие воздушную среду обитания, помимо анатомо-морфологических приспособлений к полету, имеют и важные физиологические особенности. Например, из-за того, что передвижение в воздухе требует чрезвычайно больших затрат энергии, для этой группы позвоночных характерна высокая интенсивность обмена веществ, а выделяемые продукты метаболизма выводятся тотчас же, что способствует снижению удельной плотности тела.

Приспособления к среде обитания, несмотря на все их совершенство, относительны. Так, некоторые виды молочая вырабатывают ядовитые для большинства животных алкалоиды, однако гусеницы одного из видов бабочек — данаиды — не только питаются тканями молочая, но и накапливают эти алкалоиды, становясь несъедобными для птиц.

Кроме того, адаптации являются целесообразными только в конкретной среде обитания и бесполезны в другой среде. Например, редкий и крупный хищник уссурийский тигр, как и все кош-

ки, имеет мягкие подушечки на лапах и втягивающиеся острые когти, острые зубы, отличное зрение даже в темноте, острый слух и сильные мышцы, что позволяет ему обнаружить жертву, незаметно подкрасться к ней и напасть из засады. Однако его полосатая окраска маскирует его только весной, летом и осенью, тогда как на снегу он становится хорошо заметным и тигр может рассчитывать только на молниеносное нападение.

Соцветия инжира, дающие ценные соплодия, имеют настолько специфическое строение, что опыляются только осами бластофагами, и поэтому, введенные в культуру, они длительное время не плодоносили. Только выведение партенокарпических сортов инжира (образующих плоды без оплодотворения) смогло спасти ситуацию.

Несмотря на то что описаны примеры видообразования в течение совсем коротких промежутков времени, как в случае с погремком на кавказских лугах, который из-за регулярного скашивания сначала разделился на две популяции — раноцветущие и плодоносящие и поздноцветущие, на самом деле микроэволюция, скорее всего, требует гораздо больших сроков — многих столетий, ведь человечество, разные группы которого тысячелетиями были оторваны друг от друга, тем не менее, так и не разделилось на разные виды. Однако, поскольку эволюция располагает практически неограниченным временем, за сотни миллионов и миллиарды лет на Земле обитало уже несколько миллиардов видов, большая часть которых вымерла, а дошедшие до нас являются качественными этапами этого незатухающего процесса.

Согласно современным данным на Земле насчитывается свыше 2 млн видов живых организмов, большая часть из которых (приблизительно 1,5 млн видов) относится к царству животных, около 400 тыс. — к царству растений, свыше 100 тыс. — к царству грибов, а остальные — к бактериям.

Такое поразительное разнообразие является результатом дивергенции (расхождения) видов по различным морфологическим, физиолого-биохимическим, экологическим, генетическим и репродуктивным признакам. Например, один из наибольших родов растений, относящийся к семейству Орхидные, — дендробиум — включает свыше 1 400 видов, а род жуков-калоедов — свыше 1 600 видов.

Классификация организмов является задачей систематики, которая в течение уже 2 тыс. лет пытается построить не просто стройную иерархию, а «естественную» систему, отражающую степень родства организмов. Однако все попытки сделать это пока еще не увенчались успехом, так как в ряде случаев в процессе эволюции наблюдалась не только дивергенция признаков, но и конвергенция (схождение), в результате чего у весьма отдаленных групп органы приобрели черты сходства, как, например, глаз головоногих и глаз млекопитающих.

6.4. Макроэволюция. Направления и пути эволюции (А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен). Биологический прогресс и регресс, ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация. Причины биологического прогресса и регресса. Гипотезы возникновения жизни на Земле. Основные ароморфозы в эволюции растений и животных. Усложнение живых организмов в процессе эволюции

Макроэволюция

Образование вида ознаменовывает собой новый виток эволюционного процесса, поскольку особи этого вида, будучи более приспособленными к условиям среды, нежели особи материнского вида, постепенно расселяются на новые территории, и уже в его популяциях играют свою созидательную роль мутагенез, популяционные волны, изоляция и естественный отбор. Со временем эти популяции дают начало новым видам, которые вследствие генетической изоляции имеют гораздо больше признаков сходства между собой, чем с видами того рода, от которого отпочковался вид-родоначальник, и, таким образом, возникает новый род, затем — новое семейство, отряд (порядок), класс и т. д. 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, однако эта позиция постоянно подвергается вполне обоснованной критике.

Возникновение сложной иерархической системы органического мира в значительной степени является результатом неодинаковой скорости эволюционирования различных групп организмов. Так, уже упоминавшийся гинкго двулопастный как бы «законсервировался» на тысячи лет, тогда как достаточно близкие к нему сосны существенно изменились за это время.

Направления и пути эволюции (А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен). Биологический прогресс и регресс, ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация

Анализируя историю органического мира, можно заметить, что в определенные промежутки времени господствовали отдельные группы организмов, которые затем клонились к упадку либо исчезали вовсе. Таким образом, можно различить три магистральных *направления эволюции*: биологический прогресс, биологический регресс и биологическая стабилизация. Значительный вклад в разработку учения о направлениях и путях эволюции внесли русские эволюционисты А. Н. Северцов и И. И. Шмальгаузен.

Биологический прогресс связан с биологическим процветанием группы в целом и характеризует ее эволюционный успех. Он отражает закономерное развитие живой природы от простого к сложному, от более низкой степени организации к более высокой. По А. Н. Северцову, критериями биологического прогресса являются увеличение численности особей данной группы, расширение ее ареала, а также появление и развитие в ее составе групп низшего ранга (преобразование вида в род, рода в семейство и т. д.). В настоящее время биологический прогресс наблюдается у покрытосеменных растений, насекомых, костистых рыб и млекопитающих.

По А. Н. Северцову, биологический прогресс может достигаться вследствие определенных морфофизиологических преобразований организмов, при этом он выделил три основные пути достижения: арогенез, аллогенез и катагенез (рис. 6.7).

Арогенез, или морфофизиологический прогресс, связан со значительным расширением ареала данной группы организмов вследствие приобретения больших изменений строения — ароморфозов.

Ароморфозом называют эволюционное преобразование строения и функций организма, которое повышает его уровень организации и открывает новые возможности для приспособления к разнообразным условиям существования.

Примерами ароморфозов являются возникновение эукариотической клетки, многоклеточности, появление сердца у рыб и разделение его полной перегородкой у птиц и млекопитающих, формирование цветка у покрытосеменных и т. п.

Аллогенез, в отличие от арогенеза, не сопровождается расширением ареала, однако внутри старого возникает значительное разнообразие форм, имеющих частные приспособления к среде обитания — идиоадаптации.

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. Не менее удачным примером являются дарвиновы вьюрки, специализирующиеся на различных видах пищи, у которых преобразования вначале затронули клюв, а затем и другие части тела — оперение, хвост и т. п.

Как это ни парадоксально, но и упрощение организации может вести к биологическому прогрессу. Этот путь называется *катагенезом.*

Дегенерация — это упрощение организмов в процессе эволюции, которое сопровождается потерей определенных функций или органов.

Большей частью она характерна для паразитических организмов и животных, перешедших к прикрепленному способу жизни. Так, растение-паразит повилика европейская лишена хлорофилла, а ее листья редуцированы до чешуек, питается же она за счет поглощения питательных веществ из тела растения-хозяина с помощью специальных присосок. Паразитирующие в тонком кишечнике человека и других животных цепни и лентецы в процессе эволюции принесли свою пищеварительную систему и почти все органы чувств в жертву гипертрофированной половой системе, обеспечивающей необычайную плодовитость (до 11 млрд яиц в течение жизни). Сидячий образ жизни привел у взрослых представителей одной из групп хордовых — асцидий — к исчезновению не только органов чувств и пищеварительной системы, но и самой хорды, обнаруживающейся только у личинок.

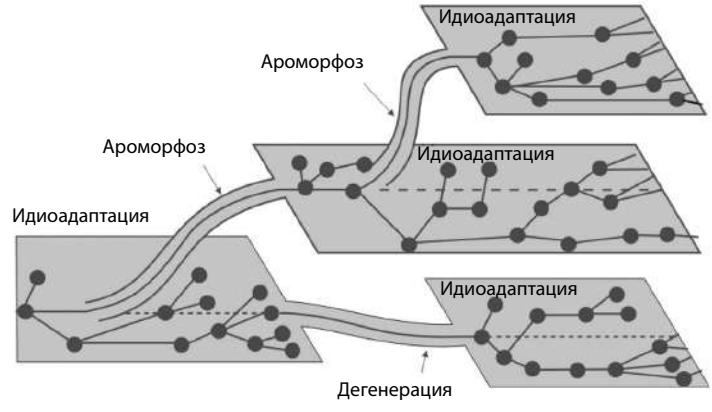


Рис. 6.7. Схема соотношений между ароморфозом, идиоадаптацией и дегенерацией

Фаза биологического прогресса сменяется фазой *биологической стабилизации*, сущность которой заключается в сохранении признаков данного вида как наиболее благоприятных в данном микроокружении. По И. И. Шмальгаузену, она вовсе «не означает прекращения эволюции, наоборот, означает максимальную согласованность организма с изменениями среды». 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. В истории органического мира можно увидеть много примеров такого явления, и в настоящее время регресс характерен для некоторых папоротников, амфибий и рептилий. С появлением человека биологический регресс зачастую обусловлен его хозяйственной деятельностью.

Направления и пути эволюции органического мира не являются взаимоисключающими, то есть появление ароморфоза не означает, что идиоадаптация или дегенерация произойти уже не может. Напротив, согласно разработанному А. Н. Северцовым и И. И. Шмальгаузеном *правилу смены фаз*, различные направления эволюционного процесса и пути достижения биологического прогресса закономерно сменяют друг друга. В ходе эволюции эти пути сочетаются: достаточно редкие ароморфозы переводят группу организмов на качественно новый уровень организации, а в дальнейшем историческое развитие идет по пути идиоадаптации либо дегенерации, обеспечивающих приспособление к конкретным условиям среды обитания.

Причины биологического прогресса и регресса

В процессе эволюции планку естественного отбора преодолевают и, соответственно, прогрессируют только те группы организмов, у которых наследственная изменчивость создает достаточное количество комбинаций, которые могут обеспечить выживание группы в целом.

Те же группы, у которых по каким-то причинам не имеется такого резерва, в большинстве случаев обречены на вымирание. Зачастую это связано с низким давлением отбора на предыдущих этапах эволюционного процесса, приведшим к узкой специализации группы или даже дегенеративным явлениям. Следствием этого является невозможность приспособиться к новым условиям среды при ее резких изменениях. Ярким примером тому является внезапная гибель динозавров вследствие падения гигантского небесного тела на Землю 65 млн лет назад, которое повлекло за собой землетрясение, поднятие в воздух миллионов тонн пыли, резкое похолодание, гибель большей части растений и растительноядных животных. В то же время предки современных млекопитающих, не имея узких предпочтений источников питания и будучи теплокровными, смогли пережить эти условия и занять на планете господствующее положение.

Гипотезы возникновения жизни на Земле

Из всего спектра гипотез образования Земли наибольшее количество фактов свидетельствует в пользу теории «Большого взрыва». Ввиду того, что данное научное допущение зиждется в основном на теоретических расчетах, подтвердить его экспериментально призван большой адронный коллайдер, сооруженный в Европейском центре ядерных исследований вблизи г. Женева (Швейцария). Согласно теории «Большого взрыва», Земля образовалась свыше 4,5 млрд лет назад вместе с Солнцем и другими планетами Солнечной системы в результате конденсации газопылевого облака. Снижение температуры планеты и миграция химических элементов на ней способствовали ее расслоению на ядро, мантию и кору, а происходившие затем геологические процессы (движение тектонических плит, вулканическая деятельность и т. д.) стали причиной формирования атмосферы и гидросферы.

Жизнь существует на Земле также очень давно, о чем свидетельствуют ископаемые остатки разнообразных организмов в горных породах, однако физические теории не могут дать ответа на вопрос о времени и причинах ее возникновения. 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, гипотезу самозарождения и теорию биохимической эволюции А. И. Опарина.

Фундаментальным положением *креационизма* являлось сотворение мира неким сверхъестественным существом (Творцом), что нашло свое отражение в мифах народов мира и религиозных культах, однако возраст планеты и жизни на ней намного превышает указанные в этих источниках сроки, да и несоответствий в них предостаточно.

Основателем *теории самозарождения* жизни считается древнегреческий ученый Аристотель, который утверждал, что возможно многократное появление новых существ, например, дождевых червей из луж, а червей и мух — из гнилого мяса. Однако эти воззрения были опровергнуты в XVII–XIX веках смелыми опытами Ф. Реди и Л. Пастера.

Итальянский врач Франческо Реди в 1688 году поместил кусочки мяса в горшки и плотно запечатал их, однако никаких червей в них не завелось, тогда как в открытых горшках они появились. Дабы опровергнуть бытовавшее тогда убеждение, что жизненное начало содержится в воздухе, он повторил свои опыты, однако горшки не запечатал, а закрыл несколькими слоями кисеи, и вновь жизнь не появилась. Несмотря на убедительные данные, полученные Ф. Реди, исследования А. ван Левенгука дали новую пищу для дискуссий о «жизненном начале», которые продолжились в течение всего следующего века.

Другой итальянский исследователь — Ладзаро Спалланцани — в 1765 году видоизменил опыты Ф. Реди, прокипятив в течение нескольких часов мясные и овощные отвары и запечатав их. По прошествии нескольких дней он также не обнаружил там никаких признаков жизни и сделал вывод, что живое может возникнуть только от живого.

Последний удар теории спонтанного самозарождения нанес великий французский микробиолог Луи Пастер в 1860 году, поместивший прокипяченный бульон в колбу с S-образным горлышком и не получивший никаких зародышей. Казалось бы, это свидетельствовало в пользу теорий биогенеза, однако оставался открытым вопрос о том, каким же путем возник самый-самый первый организм.

Ответить на него попытался советский биохимик А. И. Опарин, пришедший к выводу о том, что состав атмосферы Земли на первых этапах ее существования был совсем не таким, как в наше время. Скорее всего, она состояла из аммиака, метана, углекислого газа и водяных паров, но не содержала свободного кислорода. Под действием электрических разрядов высокой мощности и при высокой температуре в ней могли синтезироваться простейшие органические соединения, что и было подтверждено экспериментами С. Миллера и Г. Юри в 1953 году, получивших из вышеупомянутых соединений несколько аминокислот, простые углеводы, аденин, мочевину, а также простейшие жирные, муравьиную и уксусную кислоты.

Тем не менее синтез органических веществ еще не означает возникновения жизни, поэтому А. И. Опарин выдвинул *гипотезу биохимической эволюции*, согласно которой разнообразные органические вещества возникали и объединялись в более крупные молекулы на мелководьях морей и океанов, где условия для химического синтеза и полимеризации являются наиболее благоприятными. Первыми носителями жизни в настоящее время считаются молекулы РНК.

Некоторые из этих веществ постепенно образовывали в воде устойчивые комплексы — *коацерваты*, или *коацерватные капли*, напоминающие капли жира в бульоне. В эти коацерваты поступали разнообразные вещества из окружающего раствора, которые подвергались химическим превращениям, происходящим в каплях. Как и органические вещества, коацерваты сами по себе не являлись живыми существами, а были очередной ступенью в их возникновении.

Те из коацерватов, которые имели удачное соотношение веществ в своем составе, в особенности белки и нуклеиновые кислоты, благодаря каталитическим свойствам белков-ферментов со временем приобрели способность воспроизводить себе подобных и осуществлять реакции обмена веществ, при этом структуру белков кодировали нуклеиновые кислоты.

Однако, помимо размножения, для живых систем характерна зависимость от поступления энергии извне. Эта проблема первоначально решалась за счет бескислородного расщепления органических веществ из окружающей среды (кислорода в атмосфере на тот момент не было), т. е. гетеротрофного питания. 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.

Таким образом, результатом химической эволюции явилось появление *протобионтов* — первичных живых организмов, от которых в результате биологической эволюции произошли все существующие в настоящее время виды.

Теория биохимической эволюции в наше время является наиболее подтвержденной, однако представление о конкретных механизмах возникновения жизни изменились. Например, выяснилось, что образование органических веществ начинается еще в космосе, а органические вещества играют важную роль даже в самом образовании планет, обеспечивая слипание мелких частей. Также формирование органических веществ происходит и в недрах планеты: при одном извержении вулкан выбрасывает до 15 т органики. Существуют и другие гипотезы относительно механизмов концентрирования органических веществ: замораживания раствора, абсорбции (связывания) на поверхности определенных минеральных соединений, действия природных катализаторов и т. п.

Возникновение жизни на Земле в настоящее время невозможно, поскольку любые органические вещества, спонтанно образовавшиеся в любой точке планеты, тотчас же были бы окислены свободным кислородом атмосферы или использованы гетротрофными организмами. Это понимал еще в 1871 году Ч. Дарвин.

Теории биогенеза отрицают самопроизвольное зарождение жизни. Основными из них являются гипотеза стационарного состояния и гипотеза панспермии. Первая из них базируется на том, что жизнь существует вечно, тем не менее, на нашей планете есть очень древние породы, в которых следы деятельности органического мира отсутствуют.

Гипотеза панспермии утверждает, что зародыши жизни были занесены на Землю из космоса некими пришельцами либо божественным провидением. В пользу этой гипотезы свидетельствуют два факта: необходимость для всего живого достаточно редкого на планете, но часто встречающегося в метеоритах молибдена, а также находка организмов, похожих на бактерии, на метеоритах с Марса. Однако каким образом жизнь возникла на других планетах, остается невыясненным.

Основные ароморфозы в эволюции растений и животных

Растительные и животные организмы, представляющие различные ветви эволюции органического мира, в процессе исторического развития независимо приобретали определенные черты строения, которые будут охарактеризованы далее.

У растений важнейшими из них являются переход от гаплоидности к диплоидности, независимость от воды в процессе оплодотворения, переход от наружного оплодотворения к внутреннему и возникновение двойного оплодотворения, расчленение тела на органы, развитие проводящей системы, усложнение и усовершенствование тканей, а также специализация опыления с помощью насекомых и распространения семян и плодов.

Переход от гаплоидности к диплоидности сделал растения более устойчивыми к действию факторов окружающей среды вследствие снижения риска проявления рецессивных мутаций. По-видимому, это преобразование коснулось предков сосудистых растений, в число которых не входят моховидные, характеризующиеся преобладанием в жизненном цикле гаметофита.

Главные ароморфозы в эволюции животных связаны с возникновением многоклеточности и все большим расчленением всех систем органов, возникновением прочного скелета, развитием центральной нервной системы, а также общественного поведения в различных группах высокоорганизованных животных, что дало толчок и к прогрессу человека.

Усложнение живых организмов в процессе эволюции

Историю органического мира на Земле изучают по сохранившимся остаткам, отпечаткам и другим следам жизнедеятельности живых организмов. Она является предметом науки *палеонтологии*. Исходя из того, что остатки разных организмов расположены в различных пластах горных пород, была создана геохронологическая шкала, согласно которой историю Земли разделили на определенные промежутки времени: эоны, эры, периоды и века (табл. 6.1).

Эоном называют большой промежуток времени в геологической истории, объединяющий несколько эр. В настоящее время выделяют только два эона: криптозой (скрытая жизнь) и фанерозой (явная жизнь). *Эра* — это промежуток времени в геологической истории, являющийся подразделением эона, объединяющий, в свою очередь, периоды. В криптозое выделяют две эры (архей и протерозой), тогда как в фанерозое — три (палеозой, мезозой и кайнозой).

Важную роль в создании геохронологической шкалы сыграли *руководящие ископаемые* — остатки организмов, которые были многочисленны в определенные промежутки времени и хорошо сохранились.

Развитие жизни в криптозое. Архей и протерозой составляют большую часть истории жизни (период 4,6 млрд лет — 0,6 млрд лет назад), однако сведений о жизни в тот период недостаточно. Первые остатки органических веществ биогенного происхождения имеют возраст около 3,8 млрд лет, а прокариотические организмы существовали уже 3,5 млрд лет назад. Первые прокариоты входили в состав специфических экосистем — цианобактериальных матов, благодаря деятельности которых образовались специфические осадочные породы строматолиты («каменные ковры»).

Понять жизнь давних прокариотических экосистем помогло открытие их современных аналогов — строматолитов в заливе Шарк-Бей в Австралии и специфических пленок на поверхности почвы в заливе Сиваш в Украине. На поверхности цианобактериальных матов расположены фотосинтезирующие цианобактерии, а под их слоем — чрезвычайно разнообразные бактерии других групп и археи. Минеральные вещества, которые оседают на поверхность мата и образовываются за счет его жизнедеятельности, откладываются пластами (приблизительно 0,3 мм в год). Такие примитивные экосистемы могут существовать лишь в непригодных для жизни других организмов местах, и действительно, оба вышеупомянутые местообитания характеризуются чрезвычайно высокой соленостью.

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что поначалу Земля имела атмосферу возобновляемого характера, в состав которой входили: углекислый газ, водяной пар, оксид серы, а также угарный газ, водород, сероводород, аммиак, метан и т. п. Первые организмы Земли были анаэробами, однако благодаря фотосинтезу цианобактерий в среду выделялся свободный кислород, который сначала быстро связывался с восстановителями, находящимися в среде, и лишь после связывания всех восстановителей среда начала приобретать окислительные свойства. О таком переходе свидетельствуют отложение окисленных форм железа — гематита и магнетита.

Около 2 млрд лет назад в результате геофизических процессов практически все несвязанное в осадочных породах железо переместилось к ядру планеты, а кислород начал накапливаться в атмосфере из-за отсутствия этого элемента — произошла «кислородная революция». Она явилась переломным этапом в истории Земли, который повлек за собой не только смену состава атмосферы и образование озонового экрана в атмосфере — главной предпосылки для заселения суши, но и состава пород, формирующихся на поверхности Земли.

В протерозое произошло и другое важное событие — возникновение эукариот. В последние годы удалось собрать убедительные доказательства теории эндосимбиогенетического происхождения эукариотической клетки — путем симбиоза нескольких прокариотических клеток. Вероятно, «главным» предком эукариот стали археи, которые перешли к поглощению пищевых частиц путем фагоцитоза. Наследственный аппарат переместился вглубь клетки, сохранив, тем не менее, связь с мембраной благодаря переходу внешней мембраны возникшей ядерной оболочки в мембраны эндоплазматической сети.

Таблица 6.1

Геохронологическая история Земли

Эон	Эра	Период	Начало, млн лет назад	Продолжительность, млн лет	Развитие жизни
Фанерозой	Кайнозой	Антропоген	1,5	1,5	Четыре ледниковых периода, сменявшихся потопами, привели к формированию холодоустойчивой флоры и фауны (мамонты, овцебыки, северные олени, лемминги). Обмен животными и растениями между материками вследствие возникновения сухопутных мостов. Доминирование плацентарных млекопитающих. Вымирание многих крупных млекопитающих. Становление человека как биологического вида и его расселение. Одомашнивание животных и окультуривание растений. Исчезновение многих видов живых организмов вследствие хозяйственной деятельности человека
		Неоген	25	23,5	Распространение злаковых. Формирование всех современных отрядов млекопитающих. Возникновение человекообразных обезьян
		Палеоген	65	40	Доминирование цветковых растений, млекопитающих и птиц. Возникновение копытных, хищных, ластоногих, приматов и др.
	Мезозой	Мел	135	70	Возникновение покрытосеменных растений, млекопитающие и птицы становятся многочисленными
		Юра	195	60	Эпоха рептилий и головоногих моллюсков. Возникновение сумчатых и плацентарных млекопитающих. Господство голосеменных
		Триас	225	30	Первые млекопитающие и птицы. Рептилии многочисленны. Распространение травянистых споровых
	Палеозой	Пермь	280	55	Возникновение современных насекомых. Развитие рептилий. Вымирание ряда групп беспозвоночных. Распространение хвойных
		Карбон	345	65	Первые рептилии. Возникновение крылатых насекомых. Преобладают папоротники и хвощи
		Девон	395	50	Многочисленны рыбы. Первые амфибии. Возникновение основных групп споровых, первых голосеменных и грибов
		Силур	430	35	Обильны водоросли. Первые наземные растения и животные (пауки). Обычны челюстноротые рыбы и ракоскорпионы

Окончание таблицы 6.1

Эон	Эра	Период	Начало, млн лет назад	Продолжительность, млн лет	Развитие жизни
Фанерозой	Палеозой	Ордовик	500	70	Обильны кораллы и трилобиты. Расцвет зеленых, бурых и красных водорослей. Возникновение первых хордовых
		Кембрий	570	70	Многочисленные окаменелости рыб. Обычны морские ежи и трилобиты. Возникновение многоклеточных водорослей
Криптозой	Протерозой		2600	2000	Возникновение эукариот. Распространены в основном одноклеточные зеленые водоросли. Возникновение многоклеточности. Вспышка разнообразия многоклеточных животных (возникновение всех типов беспозвоночных)
	Архей		3500	1500	Первые следы жизни на Земле — бактерии и цианобактерии. Возникновение фотосинтеза

Поглощенные клеткой бактерии могли не перевариваться, а оставаться живыми и продолжать свое функционирование. Считают, что митохондрии ведут свое происхождение от пурпурных бактерий, утративших способность к фотосинтезу и перешедших к окислению органических веществ. Симбиоз с другими фотосинтезирующими клетками привел к возникновению пластид у растительных клеток. Вероятно, жгутики эукариотических клеток возникли вследствие симбиоза с бактериями, которые, подобно современным спирохетам, были способны к извивающимся движениям. Поначалу наследственный аппарат эукариотических клеток был устроен приблизительно так же, как у прокариот, и лишь позднее, вследствие необходимости управления большой и сложной клеткой, образовались хромосомы. Геномы внутриклеточных симбионтов (митохондрий, пластид и жгутиков) в целом сохранили прокариотическую организацию, но большая часть их функций перешла к ядерному геному.

Эукариотические клетки возникали неоднократно и независимо друг от друга. Например, красные водоросли возникли в результате симбиогенеза с цианобактериями, а зеленые водоросли — с бактериями-прохлорофитами.

Остальные одномембранные органеллы и ядро эукариотической клетки, согласно эндомембранной теории, возникли из впячиваний мембраны прокариотической клетки.

Точное время появления эукариот неизвестно, поскольку уже в отложениях возрастом около 3 млрд лет присутствуют отпечатки клеток, имеющих похожие размеры. Точно эукариоты зафиксированы в породах возрастом около 1,5–2 млрд лет, но только после кислородной революции (около 1 млрд лет назад) сложились условия, благоприятные для них.

В конце протерозойской эры (не менее 1,5 млрд лет назад) уже существовали и многоклеточные эукариотические организмы. Многоклеточность, как и эукариотическая клетка, неоднократно возникала у разных групп организмов.

Существуют различные взгляды на происхождение многоклеточных животных. По одним данным их родоначальниками были многоядерные, подобные инфузориям, клетки, которые затем распались на отдельные одноядерные клетки.

Другие гипотезы связывают происхождение многоклеточных животных с дифференцировкой клеток колониальных одноклеточных. Расхождения между ними касаются возникновения слоев клеток у первоначального многоклеточного животного. Согласно гипотезы гастреи Э. Геккеля,

это происходит путем впячивания одной из стенок однослойного многоклеточного организма, как у кишечнополостных. В противовес ей И. И. Мечников сформулировал гипотезу фагоцителлы, считая предками многоклеточных однослойные шарообразные колонии наподобие вольвокса, которые поглощали пищевые частицы путем фагоцитоза. Клетка, захватившая частицу, теряла жгутик и переходила вглубь организма, где и осуществляла пищеварение, а по окончании процесса возвращалась на поверхность. Со временем произошло разделение клеток на два слоя с определенными функциями — внешний обеспечивал движение, а внутренний — фагоцитоз. Такой организм И. И. Мечников назвал фагоцителлой.

В течение продолжительного времени многоклеточные эукариоты проигрывали в конкурентной борьбе прокариотическим организмам, однако в конце протерозоя (800–600 млн лет тому назад) вследствие резкого изменения условий на Земле — снижения уровня морей, роста концентрации кислорода, уменьшения концентрации карбонатов в морской воде, регулярных циклов похолодания — многоклеточные эукариоты получили преимущества над прокариотами. Если до этого времени встречались только отдельные многоклеточные растения и, возможно, грибы, то с этого момента в истории Земли известны и животные. Из возникших в конце протерозоя фаун лучше других изучены эдиакарская и вендская. Животных вендского периода принято включать в состав особой группы организмов или относить к таким типам, как кишечнополостные, плоские черви, членистоногие и др. Однако ни у одной из этих групп нет скелетов, что может свидетельствовать об отсутствии хищников.

Развитие жизни в палеозойской эре. Палеозойская эра, длившаяся более 300 млн лет, делится на шесть периодов: кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный (карбон) и пермский.

В *кембрийском периоде* суша состояла из нескольких материков, расположенных преимущественно в Южном полушарии. Самыми многочисленными фотосинтезирующими организмами в этот период были цианобактерии и красные водоросли. В толще воды жили фораминиферы и радиолярии. В кембрии появляется огромное количество скелетных животных организмов, о чем свидетельствуют многочисленные ископаемые остатки. Эти организмы относились примерно к 100 типам многоклеточных животных, как современным (губки, кишечнополостные, черви, членистоногие, моллюски), так и исчезнувшим, например: огромный хищник аномалокарис и колониальные граптолиты, которые плавали в толще воды или были прикреплены ко дну. Суша на протяжении кембрия оставалась почти незаселенной, однако процесс почвообразования уже начали бактерии, грибы и, возможно, лишайники, а в конце периода на сушу вышли малощетинковые черви и многоножки.

В *ордовикском периоде* уровень вод Мирового океана поднялся, что привело к затоплению материковых низменностей. Основными продуцентами в этот период были зеленые, бурые и красные водоросли. В отличие от кембрия, в котором рифы строили губки, в ордовике их сменяют коралловые полипы. Расцвет переживали брюхоногие и головоногие моллюски, а также трилобиты (ныне вымершие родственники паукообразных). В этом периоде впервые зафиксированы и хордовые, в частности бесчелюстные. В конце ордовика произошло грандиозное вымирание, которое уничтожило около 35 % семейств и более 50 % родов морских животных.

Силурийский период характеризуется усилением горообразования, которое привело к осушению материковых платформ. Ведущую роль в фауне беспозвоночных силура играли головоногие моллюски, иглокожие и гигантские ракоскорпионы, тогда как среди позвоночных сохраняется большое разнообразие бесчелюстных и появляются рыбы. В конце периода на сушу вышли первые сосудистые растения — риниофиты и плауновидные, которые начали колонизацию мелководья и приливно-отливной зоны побережий. На сушу вышли и первые представители класса паукообразных.

В *девонском периоде* вследствие поднятия суши образовались большие мелководья, которые пересыхали и даже промерзали, поскольку климат становился еще более континентальным, чем в силуре. В морях преобладают кораллы и иглокожие, тогда как головоногие моллюски представлены спирально закрученными аммонитами. Среди позвоночных девона расцвета достигли рыбы,

причем на смену панцирным пришли и хрящевые, и костные, а также двоякодышащие и кистеперые. В конце периода появляются первые амфибии, которые сначала жили в воде.

В среднем девоне на суше появились первые леса из папоротников, плаунов и хвощей, которые были заселены червями и многочисленными членистоногими (многоножками, пауками, скорпионами, бескрылыми насекомыми). В конце девона появились первые голосеменные. Освоение суши растениями привело к уменьшению выветривания и усилению почвообразования. Закрепление почв привело к возникновению русел рек.

В *каменноугольном периоде* суша была представлена двумя материками, разделенными океаном, а климат стал заметно более теплым и влажным. К концу периода произошло небольшое поднятие суши, а климат сменился более континентальным. В морях господствовали фораминиферы, кораллы, иглокожие, хрящевые и костные рыбы, а пресные водоемы населяли двухстворчатые моллюски, ракообразные и разнообразные земноводные. В середине карбона возникли мелкие насекомоядные рептилии, а среди насекомых появились крылатые (тараканы, стрекозы).

Для тропиков были характерны заболоченные леса, в которых доминировали гигантские хвощи, плауны и папоротники, отмершие остатки которых образовали впоследствии залежи каменного угля. В середине периода в умеренной зоне, благодаря их независимости от воды в процессе оплодотворения и наличию семени, началось распространение голосеменных.

Пермский период отличался слиянием всех материков в единый суперконтинент Пангею, отступлением морей и усилением континентальности климата до такой степени, что во внутренних районах Пангеи образовались пустыни. К концу периода на суше почти исчезли древовидные папоротники, хвощи и плауны, а господствующее положение заняли засухоустойчивые голосеменные.

Несмотря на то, что крупные амфибии еще продолжали существовать, возникли разные группы рептилий, в том числе крупных растительноядных и хищных. В конце перми произошло самое большое вымирание в истории жизни, так как исчезли многие группы кораллов, трилобиты, большинство головоногих, рыб (в первую очередь хрящевых и кистеперых), а также амфибий. Морская фауна потеряла при этом 40–50 % семейств и около 70 % родов.

Развитие жизни в мезозое. Мезозойская эра продолжалась около 165 млн лет и характеризовалась поднятием суши, интенсивным горообразованием и снижением влажности климата. Она делится на три периода: триасовый, юрский и меловой.

В начале *триасового периода* климат был засушливым, однако позднее вследствие поднятия уровня морей он стал более влажным. Среди растений преобладали голосеменные, папоротники и хвощи, однако древесные формы споровых практически полностью вымерли. Высокого развития достигли некоторые кораллы, аммониты, новые группы фораминифер, двухстворчатых моллюсков и иглокожих, тогда как разнообразие хрящевых рыб уменьшилось, изменились и группы костных рыб. Господствовавшие на суше рептилии начали осваивать и водную среду, как ихтиозавры и плезиозавры. Из пресмыкающихся триаса до нашего времени дожили крокодилы, гаттерии и черепахи. В конце триаса появились динозавры, млекопитающие и птицы.

В *юрском периоде* суперконтинент Пангея раскололся на несколько меньших. Большая часть юры была очень влажной, а к его концу климат стал более засушливым. Доминирующей группой растений были голосеменные, из которых от того времени сохранились секвойи. В морях процветали моллюски (аммониты и белемниты, двухстворчатые и брюхоногие), губки, морские ежи, хрящевые и костные рыбы. Крупные амфибии практически полностью вымерли в юрском периоде, однако появились современные группы земноводных (хвостатые и бесхвостые) и чешуйчатых (ящериц и змей), возросло разнообразие млекопитающих. К концу периода возникли и возможные предки первых птиц — археоптериксы. Однако во всех экосистемах доминировали пресмыкающиеся — ихтиозавры и плезиозавры, динозавры и летающие ящеры — птерозавры.

Меловой период получил название в связи с образованием мела в осадочных породах того времени. На всей Земле, кроме приполярных областей, был стойкий теплый и влажный климат. В этом периоде возникли и приобрели широкое распространение покрытосеменные, вытеснявшие голосеменных, что повлекло за собой резкое увеличение разнообразия насекомых. В морях, помимо моллюсков, костистых рыб, плезиозавров, вновь появилось огромное количество форами-

нифер, раковинки которых и образовали залежи мела, а на суше преобладали динозавры. Лучше приспособленные к воздушной среде птицы начали постепенно вытеснять летающих ящеров.

В конце периода произошло глобальное вымирание, в результате которого исчезли аммониты, белемниты, динозавры, птерозавры и морские ящеры, древние группы птиц, а также некоторые голосеменные. С лица Земли в целом исчезло около 16 % семейств и 50 % родов животных. Кризис в конце мела связывают с падением большого метеорита в Мексиканский залив, однако он, скорее всего, не был единственной причиной глобальных изменений. В ходе последующего похолодания выжили только небольшие рептилии и теплокровные млекопитающие.

Развитие жизни в кайнозое. Кайнозойская эра началась около 66 млн лет назад и продолжается до настоящего времени. Она характеризуется господством насекомых, птиц, млекопитающих и покрытосеменных растений. Кайнозой делят на три периода — палеоген, неоген и антропоген — последний из которых является самым коротким в истории Земли.

В раннем и среднем *палеогене* климат оставался теплым и влажным, к концу периода стало прохладнее и суше. Доминирующей группой растений стали покрытосеменные, однако, если в начале периода преобладали вечнозеленые леса, то в конце появилось много листопадных, а в засушливых зонах образовались степи.

Среди рыб господствующее положение заняли костистые рыбы, а количество видов хрящевых, несмотря на их заметную роль в соленых водоемах, незначительно. На суше из рептилий сохранились только чешуйчатые, крокодилы и черепахи, тогда как млекопитающие заняли большую часть их экологических ниш. В середине периода появились основные отряды млекопитающих, в том числе насекомоядные, хищные, ластоногие, китообразные, копытные и приматы. Изоляция материков сделала фауну и флору географически более разнообразными: Южная Америка и Австралия стали центрами развития сумчатых, а другие материки — плацентарных млекопитающих.

Неогеновый период. Земная поверхность в неогене приобрела современный вид. Климат стал более прохладным и сухим. В неогене уже сформировались все отряды современных млекопитающих, а в африканских саванах возникло семейство Гоминид и род Человек. К концу периода в приполярных областях континентов распространились хвойные леса, появились тундры, а степи умеренного пояса заняли злаки.

Четвертичный период (антропоген) характеризуется периодическими сменами оледенений и потеплений. Во время оледенений высокие широты покрывались ледниками, резко снижался уровень океана, суживались тропический и субтропический пояса. На близлежащих к ледникам территориях устанавливался холодный и сухой климат, который способствовал формированию холодоустойчивых групп животных — мамонтов, гигантских оленей, пещерных львов и др. Сопутствовавшее процессу оледенения снижение уровня Мирового океана привело к образованию сухопутных мостов между Азией и Северной Америкой, Европой и Британскими островами и т. д. Миграции животных, с одной стороны, привели к взаимообогащению флор и фаун, а с другой, к вытеснению реликтов пришельцами, например, сумчатых и копытных в Южной Америке. Эти процессы, однако, не затронули Австралию, оставшуюся изолированной.

В целом, периодические изменения климата привели к формированию чрезвычайно обильного видового разнообразия, характерного для нынешнего этапа эволюции биосферы, а также оказали влияние на эволюцию человека. На протяжении антропогена несколько видов рода Человек расселились из Африки в Евразию. Около 200 тысяч лет назад в Африке возник вид Человек разумный, который после продолжительного периода существования в Африке около 70 тысяч лет назад вышел в Евразию и около 35–40 тыс. лет назад — в Америку. После периода сосуществования с близкородственными видами он вытеснил их и расселился по всей территории земного шара.

Около 10 тыс. лет назад хозяйственная деятельность человека в умеренно теплых областях земного шара начала оказывать влияние как на облик планеты (распашка земель, выжигание лесов, перевыпас пастбищ, опустынивание и т. д.), так и на животный и растительный мир вследствие сокращения ареалов их обитания и истребления, и вступил в действие антропогенный фактор.

6.5. Происхождение человека. Человек как вид, его место в системе органического мира. Гипотезы происхождения человека. Движущие силы и этапы эволюции человека. Человеческие расы, их генетическое родство. Биосоциальная природа человека. Социальная и природная среда, адаптации к ней человека

Происхождение человека

Еще 100 лет назад подавляющее большинство людей на планете даже и мысли не допускало о том, что человек может происходить от столь «малопочтенных» животных, как обезьяны. В дискуссии с одним из защитников дарвиновской теории эволюции, профессором Томасом Гексли его ярый противник епископ оксфордский Сэмюэль Уилберфорс, опиравшийся на религиозные догмы, даже обратился к нему с вопросом, считает ли он себя связанным с обезьяньими предками через дедушку или бабушку.

Тем не менее, мысли об эволюционном происхождении высказывали еще античные философы, а великий шведский систематик К. Линней в XVIII веке по совокупности признаков дал человеку видовое название *Homo sapiens* L. (человек разумный) и отнес его вместе с обезьянами к одному отряду — Приматы. Ж. Б. Ламарк поддержал К. Линнея и считал, что человек даже имел общих предков с современными обезьянами, однако в какой-то момент своей истории он спустился с дерева, что и послужило одной из причин становления человека как вида.

Ч. Дарвин также не обошел вниманием данный вопрос и в 70-е годы XIX века опубликовал труды «Происхождение человека и половой отбор» и «О выражении эмоций у животных и человека», в которых привел не менее убедительные доказательства общности происхождения человека и обезьян, чем немецкий исследователь Э. Геккель («Естественная история творения», 1868; «Антропогенез, или История происхождения человека», 1874), составивший даже родословную царства животных. Однако эти исследования касались лишь биологической стороны становления человека как вида, тогда как социальные аспекты вскрыл классик исторического материализма — немецкий философ Ф. Энгельс.

В настоящее время происхождение и развитие человека как биологического вида, а также разнообразие популяций современного человека и закономерности их взаимодействия изучает наука *антропология*.

Человек как вид, его место в системе органического мира

Человек разумный (*Homo sapiens*) как биологический вид относится к царству животных, подцарству многоклеточных. Наличие в процессе эмбрионального развития хорды, жаберных щелей в глотке, нервной трубки и двусторонней симметрии позволяет отнести его к типу хордовых, тогда как развитие позвоночника, наличие двух пар конечностей и расположение сердца на брюшной стороне тела свидетельствует о его родстве с другими представителями подтипа позвоночных.

Выкармливание детенышей молоком, которое выделяют молочные железы, теплокровность, четырехкамерное сердце, наличие волос на поверхности тела, семи позвонков в шейном отделе позвоночника, преддверия рта, альвеолярных зубов и смена молочных зубов на постоянные являются признаками класса млекопитающих, а внутриутробное развитие зародыша и его связь с организмом матери через плаценту — подкласса плацентарных.

Более частные признаки, такие как хватательные конечности с противопоставленным большим пальцем и ногтями на пальцах, развитие ключиц, направленные вперед глаза, увеличение

размеров черепа и головного мозга, а также наличие всех групп зубов (резцов, клыков и коренных) не оставляют сомнения в том, что его место — в отряде приматов.

Значительное развитие головного мозга и мимической мускулатуры, а также особенности строения зубов позволяют отнести человека к подотряду высших приматов, или обезьян.

Отсутствие хвоста, наличие изгибов позвоночника, развитие больших полушарий переднего мозга, покрытых корой с многочисленными бороздами и извилинами, присутствие верхней губы и изреженность волосяного покрова дают основания размещать его среди представителей семейства высших узконосых, или человекообразных обезьян.

Однако 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 и определяют его принадлежность к роду Человек.

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.

Все современные люди принадлежат к одному виду — Человек разумный (*Homo sapiens*), и подвиду *H. sapiens sapiens*. Этот вид является совокупностью популяций, которые дают при скрещивании плодовитое потомство. Несмотря на достаточно значительное разнообразие морфофизиологических признаков, они не являются свидетельствами более высокой или более низкой степени организации определенных групп людей — все они находятся на одном уровне развития.

В наше время собрано уже достаточное количество научных фактов в интересах становления человека как вида в процессе эволюции — *антропогенеза*. Конкретный ход антропогенеза еще до конца не выяснен, но благодаря новым палеонтологическим находкам и современным методам исследования можно надеяться, что четкая картина появится уже достаточно скоро.

Гипотезы происхождения человека

Если не принимать во внимание не относящиеся к области биологии гипотезы божественного творения человека и его проникновения с других планет, то все более или менее состоятельные гипотезы происхождения человека возводят его к общим предкам с современными приматами.

Так, *гипотеза происхождения человека от древнетропического примата долгопята*, или *тарзиальная гипотеза*, сформулированная английским биологом Ф. Вудом Джонсом в 1929 году, опирается на сходство пропорций тел человека и долгопята, особенности волосяного покрова, укороченность лицевого отдела черепа последнего и т. д. Однако различия в строении и жизнедеятельности этих организмов настолько велики, что она не снискала всеобщего признания.

С человекообразными же обезьянами у человека даже слишком много черт сходства. Так, помимо уже упоминавшихся выше анатомо-морфологических особенностей, следует акцентировать внимание на их постэмбриональном развитии. Например, волосяной покров у маленьких шимпанзе гораздо более редкий, отношение объема головного мозга к объему тела намного больше, а возможности передвижения на задних конечностях несколько шире, чем у взрослых особей. Даже половое созревание у высших приматов наступает намного позже, чем у представителей других отрядов млекопитающих, имеющих сходные размеры тела.

В ходе цитогенетических исследований было выявлено, что одна из хромосом человека образовалась в результате слияния хромосом двух разных пар, присутствующих в кариотипе человекообразных обезьян, и это объясняет различие в числе их хромосом (у человека $2n = 46$, а у крупных человекообразных обезьян $2n = 48$), а также является еще одним свидетельством родства этих организмов.

Очень велико сходство человека и человекообразных обезьян и по молекулярно-биохимическим данным, поскольку у человека и шимпанзе одинаковы белки групп крови АВ0 и резус, многие ферменты, а аминокислотные последовательности цепей гемоглобина имеют всего 1,6 % различий, тогда как с другими обезьянами это расхождение несколько больше. Да и на генетическом

уровне различия в последовательностях нуклеотидов в ДНК между этими двумя организмами составляют менее 1 %. Если учитывать среднюю скорость эволюции таких белков у родственных групп организмов, можно определить, что предки человека отделились от других групп приматов около 6–8 млн лет назад.

Поведение обезьян во многом напоминает поведение человека, так как они живут группами, в которых четко распределены социальные роли. Совместная защита, взаимопомощь и охота — не единственные цели создания группы, поскольку внутри нее обезьяны испытывают привязанность друг к другу, всячески выражают ее, эмоционально реагируют на разнообразные раздражители. Кроме того, в группах происходит обмен опытом между особями.

Таким образом, сходство человека с другими приматами, особенно высшими узконосыми обезьянами, обнаруживается на разных уровнях биологической организации, а отличия человека как вида в значительной степени определяются особенностями этой группы млекопитающих.

К группе гипотез, не подвергающих сомнению происхождение человека от общих предков с современными человекообразными обезьянами, относятся гипотезы полицентризма и моноцентризма.

Исходным положением *гипотезы полицентризма* является возникновение и параллельная эволюция современного вида человека сразу в нескольких районах земного шара от разных форм древнего или даже древнейшего человека, но это противоречит основным положениям синтетической теории эволюции.

Гипотезы единого происхождения современного человека, напротив, постулируют возникновение человека в одном месте, однако расходятся в том, где это произошло. Так, *гипотеза внетропического происхождения* человека базируется на том, что только суровые климатические условия высоких широт Евразии могли способствовать «очеловечиванию» обезьян. В ее пользу свидетельствовало открытие на территории Якутии стоянок времен древнейшего палеолита — дирингской культуры, но впоследствии было установлено, что возраст этих находок составляет не 1,8–3,2 млн лет, а 260–370 тыс. лет. Таким образом, эта гипотеза также недостаточно подтверждена.

Наибольшее число доказательств в настоящее время собрано именно в пользу *гипотезы африканского происхождения человека*, но и она не лишена недостатков, которые призвана учесть комплексная *гипотеза широкого моноцентризма*, объединяющая аргументы гипотез полицентризма и моноцентризма.

Движущие силы и этапы в эволюции человека

В отличие от других представителей животного мира, человек в процессе своей эволюции подвергался действию не только биологических факторов эволюции, но и социальных, что и способствовало возникновению вида качественно новых существ с биосоциальными свойствами. Социальные факторы обусловили прорыв в принципиально новую адаптивную среду, которая давала огромные преимущества для выживания популяций человека и резко убыстряла темпы его эволюции.

Биологическими факторами эволюции, играющими определенную роль в антропогенезе и по сей день, являются наследственная изменчивость, а также поток генов, поставляющих первичный материал для естественного отбора. Вместе с тем изоляция, популяционные волны и дрейф генов почти полностью утратили свое значение в результате научно-технического прогресса. Это дает основания некоторым ученым считать, что в будущем даже минимальные различия между представителями разных рас исчезнут вследствие их смешения.

Поскольку изменение условий окружающей среды вынудило предков человека спуститься с деревьев на открытое пространство, и перейти к передвижению на двух конечностях, высвобожденные верхние конечности были использованы ими для переноса пищи и детей, а также изготовления и использования орудий труда. Однако изготовить такое орудие можно только при условии наличия четкого представления о конечном результате — образа предмета, поэтому развивалось и абстрактное мышление. Хорошо известно, что сложные движения и процесс мышления

являются необходимыми для развития определенных зон коры головного мозга, что и произошло в процессе эволюции. Однако унаследовать такие знания и умения невозможно, их можно лишь передать от одной особи к другой на протяжении жизни последней, следствием чего стало создание особенной формы общения — членораздельной речи.

Таким образом, к социальным факторам эволюции следует отнести трудовую деятельность человека, абстрактное мышление и членораздельную речь. Не следует отбрасывать и проявления альтруизма первобытного человека, который заботился о детях, женщинах и лицах преклонного возраста.

Трудовая деятельность человека не только повлияла на внешний вид его самого, но и позволила вначале частично облегчить условия существования благодаря использованию огня, изготовлению одежды, сооружению жилья, а в дальнейшем и активно изменять их посредством сведения лесов, распахивания земель и т. д. В наше время бесконтрольная хозяйственная деятельность поставила человечество перед угрозой глобальной катастрофы в результате эрозии почв, высыхания пресноводных водоемов, разрушение озонового экрана, что, в свою очередь, может усилить давление биологических факторов эволюции.

Дриопитек, живший около 24 млн лет назад, вероятнее всего, был общим предком человека и человекообразных обезьян (рис. 6.8). Несмотря на то что по деревьям он лазил и бегал на всех четырех конечностях, он мог передвигаться и на двух ногах, а в руках переносить пищу. Полное разделение высших обезьян и линии, ведущей к человеку, произошло около 5–8 млн лет назад.

Австралопитек. От дриопитеков, по-видимому, произошел род *ардипитек*, который сформировался свыше 4 млн лет назад в саваннах Африки в результате похолодания и отступления лесов, что заставило этих обезьян перейти к передвижению на задних конечностях. Это небольшое животное, по всей видимости, дало начало достаточно многочисленному роду *австралопитеков* («южная обезьяна»).

Австралопитеки появились около 4 млн лет назад и жили в африканских саваннах и сухих лесах, где в полной мере сказались преимущества двуногого перемещения. От австралопитеков пошли две ветви — большие растительноядные с мощными челюстями *парантропы* и более мелкие и менее специализированные *люди*. На протяжении определенного времени эти два рода развивались параллельно, что, в частности, проявлялось в увеличении объема мозга, и усложнении используемых орудий. Особенностями нашего рода являются изготовление каменных орудий (парантропы использовали только кость) и относительно крупный мозг.

Первые представители рода Человек появились около 2,4 млн лет назад. Они принадлежали к виду человек умелый (*Homo habilis*) и были невысокими существами (около 1,5 м) с объемом мозга приблизительно 670 см^3. Они использовали грубые галечные орудия. По-видимому, у представителей данного вида была хорошо развита мимика и имелась зачаточная речь. Человек умелый сошел с исторической сцены около 1,5 млн лет назад, дав начало следующему виду — *человеку выпрямленному*.

Человек выпрямленный (*H. erectus*) как биологический вид сформировался в Африке около 1,6 млн лет назад и просуществовал на протяжении 1,5 млн лет, быстро расселившись 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*.

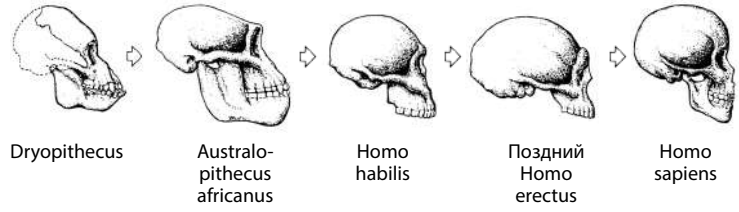


Рис. 6.8. Изменение в строении черепа в процессе эволюции человека

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. Вне всякого сомнения, представители этого рода пользовались огнем и изготавливали обоюдоострые рубила. Как показали недавние находки, этот вид даже освоил мореплавание, ибо его потомки были найдены на отдаленных островах.

Палеоантроп. Около 200 тыс. лет назад от гейдельбергского человека произошел *неандертальский человек* (*H. neandertalensis*), 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 (даже бóльшим, чем у современного человека). 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, эта группа развивалась параллельно. Их вымирание связано с исчезновением мамонтовой фауны после последнего оледенения, а возможно, является также результатом конкурентного вытеснения со стороны нашего вида.

Наиболее древняя находка представителя *человека разумного* (*Homo sapiens*) 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.

Неоантроп. Около 60 тыс. лет назад в результате неизвестных событий наш вид едва не вымер, поэтому все следующие люди являются потомками небольшой группы, которая насчитывала всего несколько десятков особей. Переборов этот кризис, наш вид начал расселяться по Африке и Евразии. От других видов он отличается более стройным телосложением, более высокой скоростью размножения, агрессивностью и, конечно, самым сложным и самым гибким поведением. Людей современного типа, населявших 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.

Человеческие расы, их генетическое родство

При расселении человечества по планете между разными группами людей возникали определенные расхождения, касающиеся цвета кожи, черт лица, характера волос, а также частот встречаемости некоторых биохимических особенностей. Совокупность таких наследственных признаков характеризует группу особей одного вида, различия между которыми являются менее существенными, чем подвиды — *расу*.

Изучение и классификация рас усложнены отсутствием четких границ между ними. Все современное человечество принадлежит к одному виду, внутри которого выделяют три большие расы: австрало-негроидную (черную), европеоидную (белую) и монголоидную (желтую). Каждая из них делится на малые расы. Различия между расами сводятся к особенностям цвета кожи, волос, формы носа, губ и т. д.

Австрало-негроидная, или *экваториальная*, *раса* характеризуется темным цветом кожи, волнистыми или курчавыми волосами, широким и мало выступающим носом, поперечным расположением ноздрей, толстыми губами и рядом черепных признаков. *Европеоидная*, или *евразийская*, *раса* характеризуется светлой или смуглой кожей, прямыми или волнистыми мягкими волосами, хорошим развитием волосяного покрова на лице мужчин (борода и усы), узким выступающим носом, тонкими губами и рядом черепных признаков. *Монголоидная* (азиатско-американская) *раса* характеризуется смуглой или светлой кожей, часто жесткими волосами, средней шириной носа и губ, уплощенностью лица, сильным выступанием скул, сравнительно крупными размерами лица, заметным развитием «третьего века».

Эти три расы различаются и расселением. До эпохи европейской колонизации австрало-негроидная раса была распространена в Старом Свете к югу от тропика Рака; европеоидная раса — в Европе, Северной Африке, Передней Азии и Северной Индии; монголоидная раса — в Юго-Восточной, Северной, Центральной и Восточной Азии, Индонезии, Северной и Южной Америке.

Тем не менее различия между расами касаются лишь второстепенных признаков, имеющих приспособительное значение. Так, кожа негроидов получает ожог при десятикратно большей дозе ультрафиолетового облучения, чем кожа европеоидов, однако европеоиды меньше страдают от рахита в высоких широтах, где может ощущаться нехватка необходимого для образования витамина D ультрафиолета.

Ранее некоторые люди стремились доказать совершенство одной из рас, чтобы получить моральный перевес над другими. В настоящее время понятно, что расовые особенности отражают лишь разные исторические пути групп людей, но никак не связаны с преимуществом или биологической отсталостью той или другой группы. Человеческие расы менее четко очерчены, чем подвиды и расы других животных, и никак не могут быть сравнены, например, с породами домашних животных (которые являются результатом целеустремленного отбора). Как показывают медико-биологические исследования, последствия межрасового брака зависят от индивидуальных особенностей мужчины и женщины, а не от их расовой принадлежности. Поэтому любые запрещения на межрасовые браки или определенные суеверия являются ненаучными и антигуманными.

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, а каждый достаточно большой народ представлен людьми, которые принадлежат к разным расам.

Биосоциальная природа человека

Несомненно, человек как биологический вид должен испытывать давление факторов эволюции, таких как мутагенез, популяционные волны и изоляция. Однако по мере становления человеческого общества одни из них ослабевают, а другие, наоборот, усиливаются, поскольку на планете, захваченной процессами глобализации, почти не осталось изолированных популяций человека, в которых осуществляются близкородственные скрещивания, а численность самих популяций не подвержена резким колебаниям. Соответственно, и движущий фактор эволюции — естественный отбор — благодаря успехам медицины не играет уже той роли в популяциях человека, какая свойственна ему в популяциях других организмов.

К сожалению, ослабление давления отбора ведет к возрастанию частоты наследственных заболеваний в популяциях. Например, в индустриально развитых странах до 5 % населения страдают цветовой слепотой (дальтонизмом), тогда как в менее развитых государствах этот показатель составляет до 2 %. Негативные последствия данного явления могут быть преодолены благодаря профилактическим мероприятиям и прогрессу в таких областях науки, как генная терапия.

Однако это не означает, что эволюция человека завершилась, поскольку естественный отбор продолжает действовать, устраняя, например, гаметы и особей с неблагоприятными комбинациями генов еще на проэмбриональном и эмбриональном периодах онтогенеза, а также по устойчивости к возбудителям различных заболеваний. Кроме того, материал для естественного отбора поставляет не только мутационный процесс, но и накопление знаний, способность к обучению, восприятие культуры и других признаков, которые могут передаваться от человека к человеку. В отличие от генетической информации, накопленный в процессе индивидуального развития опыт передается как от родителей потомкам, так и в обратном направлении. А конкуренция возникает уже между сообществами, различающимися в культурном отношении. Эта форма эволюции, свойственная исключительно человеку, получила название *культурной*, или *социальной*, *эволюции*.

Тем не менее культурная эволюция не исключает биологической, поскольку она стала возможной только вследствие формирования человеческого мозга, а сама биология человека в настоящее

время определяется культурной эволюцией, так как в отсутствие общества и разнообразия движений в мозге не формируются определенные зоны.

Таким образом, человек имеет биосоциальную природу, которая накладывает отпечаток на проявление биологических, в том числе генетических закономерностей, которым подчиняется его индивидуальное и эволюционное развитие.

Социальная и природная среда, адаптации к ней человека

Под *социальной средой* понимают, прежде всего, окружающие человека общественные материальные и духовные условия его существования и деятельности. Помимо экономической системы, общественных отношений, общественного сознания и культуры, в нее включают и непосредственное окружение человека — семью, рабочий и учащийся коллективы, а также другие группы. Среда, с одной стороны, оказывает решающее воздействие на формирование и развитие личности, а с другой, и сама изменяется под влиянием человека, что влечет за собой новые изменения людей и т. д.

Приспособление индивидов или их групп к социальной среде для реализации собственных потребностей, интересов, жизненных целей и включает в себя адаптацию к условиям и характеру учебы, труда, межличностным отношениям, экологической и культурной среде, условиям проведения досуга и быта, а также их активное изменение для удовлетворения своих потребностей. Большую роль в этом играет и изменение самого себя, своих мотивов, ценностей, потребностей, поведения и т. д.

Информационные нагрузки и эмоциональные переживания в современном обществе зачастую являются основной причиной стресса, преодолеть который возможно с помощью четкой самоорганизации, физической подготовки и аутотренинга. В некоторых, особо тяжелых случаях, требуется обращение к врачу-психотерапевту. Попытка найти забвение этих проблем в переедании, курении, употреблении алкоголя и других вредных привычках не приводит к желаемому результату, а лишь усугубляет состояние организма.

Не меньшее влияние оказывает на человека и окружающая природная среда, несмотря на то, что человек уже около 10 тыс. лет пытается сформировать для себя комфортную искусственную среду. Так, подъем на значительную высоту из-за снижения концентрации кислорода в воздухе приводит к возрастанию количества эритроцитов в крови, усилению дыхания и сердцебиения, а длительное нахождение на открытом солнце способствует усилению пигментации кожи — загару. Однако перечисленные изменения укладываются в норму реакции и не наследуются. Тем не менее у народов, длительное время проживающих в подобных условиях, могут иметься некоторые приспособления. Так, у северных народов носовые пазухи имеют гораздо больший объем для согревания воздуха, а размер выступающих частей тела уменьшается для снижения потери тепла.

Африканцы отличаются более темным цветом кожи и курчавыми волосами, поскольку пигмент меланин защищает органы тела от проникновения губительных ультрафиолетовых лучей, а шапка волос обладает термоизоляционными свойствами. Светлые глаза европейцев являются приспособлением к более острому восприятию зрительной информации в сумерках и в тумане, а монголоидный разрез глаз — это результат естественного отбора на действие ветров и пыльных бурь.

Для этих изменений требуются века и тысячелетия, однако и жизнь в цивилизованном обществе влечет за собой некоторые изменения. Так, уменьшение физических нагрузок приводит к облегчению скелета и снижению его прочности, уменьшению мышечной массы. Низкая подвижность, избыток высококалорийной еды, стрессы влекут за собой рост числа людей с избыточным весом, а полноценное белковое питание и продолжение светового дня с помощью искусственного освещения способствуют акселерации — ускорению роста и полового созревания, увеличению размеров тела.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 6 «ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–21 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему классификации направлений эволюции. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме знаком вопроса.

Ответ: _____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

С помощью биогеографических методов можно изучить

1) рудименты
2) атавизмы
3) реликты
4) эндемики
5) аналоги

Ответ: ☐☐

3 Нормальная пигментация кожи доминирует над альбинизмом. Частота аллеля альбинизма в популяции составляет 0,01. Используя закон Харди—Вайнберга, рассчитайте частоту доминантного аллеля в популяции. В ответе запишите только частоту.

Ответ: _____

4 Все перечисленные ниже признаки, кроме двух, используются для описания процесса симпатрического видообразования. Определите два признака, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

1) географическая изоляция
2) репродуктивная изоляция
3) полиплоидизация
4) миграция
5) гибридизация

Ответ: ☐☐

5 Установите соответствие между органами и сравнительно-анатомическими доказательствами эволюции: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ОРГАНЫ	СРАВНИТЕЛЬНО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ
А) рука человека и плавник дельфина	1) аналогичные органы
Б) крыло птицы и крыло насекомого	2) гомологичные органы
В) глаз позвоночного и глаз моллюска	
Г) корневище ландыша и клубень картофеля	
Д) колючка кактуса и усик гороха	
Е) жабры рака и жабры рыбы	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

6 Определите частоту позднеспелых растений в популяции клевера лугового, если частота аллеля раннеспелости составляет 20%. Позднеспелость у клевера доминирует над раннеспелостью. Используйте закон Харди—Вайнберга. В ответе запишите только частоту.

Ответ:_____

7 Все приведенные ниже термины, кроме двух, используются для описания антропогенеза. Определите два термина, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) изготовление орудий труда
2) коллективная охота
3) создание наскальных изображений
4) занятие обширного ареала
5) развитие речевой функции

Ответ:

8 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

В связи с прямохождением у человека
1) стопа приобретает сводчатую форму
2) вороньи кости исчезают
3) грудная клетка сплющивается в спинно-грудном направлении
4) формируются четыре изгиба позвоночника
5) большой палец противостоит всем остальным
6) мозговой отдел черепа преобладает над лицевым

Ответ:

9 Установите соответствие между характеристикой естественного отбора и его видом: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА	ВИД ОТБОРА
А) ведет к образованию новых видов	1) разрывающий
Б) действует при относительно постоянных условиях жизни	2) стабилизирующий
В) благоприятствует особям с крайними значениями признака	
Г) направлен на закрепление узкой нормы реакции признака	
Д) обеспечивает полиморфизм в популяциях	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

10 Установите соответствие между признаками стадий антропогенеза и видами человека, для которых они были характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ	ВИДЫ ЧЕЛОВЕКА
А) появился около 1,6 млн лет назад	1) человек умелый
Б) относится к архантропам	2) человек выпрямленный
В) объем мозга приблизительно 670 $см^3$	
Г) поддержание огня	
Д) использование грубых галечных орудий	
Е) зачаточная речь	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите хронологическую последовательность периодов палеозойской эры. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) девон	3) ордовик	5) карбон
2) кембрий	4) пермь	6) силур

Ответ:

12 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

Для внутривидовой борьбы за существование характерны

1) конкуренция за места гнездования	4) устойчивость к заболеваниям
2) отношения «хищник — жертва»	5) каннибализм
3) ослабление паразитом	6) замерзание в холодную зиму

Ответ:

13 Установите соответствие между признаками ленточных червей и путями эволюции, которые они иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ ЛЕНТОЧНЫХ ЧЕРВЕЙ	ПУТИ ЭВОЛЮЦИИ
А) трехслойность строения	1) ароморфоз
Б) протонефридии	2) общая дегенерация
В) утрата пищеварительной системы	
Г) формирование половой системы	
Д) отсутствие глаз	
Е) упрощение нервной системы	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

14 Установите последовательность эволюционных процессов образования основных ароморфозов высших растений и хордовых животных в хронологическом порядке. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) матка
2) семя
3) сердце
4) побег
5) хорда
6) цветок

Ответ:

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых даны описания **генетического** критерия вида **Пшеница мягкая**. Запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

(1) Пшеница мягкая — вид однолетних травянистых растений рода Пшеница семейства Злаки. (2) Она является гексаплоидом. (3) В ее кариотипе — 42 хромосомы. (4) Половые хромосомы у пшеницы, как и у большинства растений, отсутствуют. (5) Высота растений пшеницы — 40–100 см, редко до 150 см. (6) Соломина тонкая, узлы голые, листовая пластинка сначала мягкая и опушенная, затем становится жесткой и голой. (7) Соцветие — сложный колос.

Ответ:

16 Установите соответствие между примерами и формами естественного отбора, которые этими примерами иллюстрируются: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ФОРМЫ ОТБОРА
А) отсутствие листьев у паразитического растения — повилики	1) стабилизирующий
Б) наличие мощных плавников у кистеперой рыбы латимерии	2) движущий
В) изменение окраски крыльев бабочки березовой пяденицы в XVIII – XIX веках	
Г) сохранение единственного пальца у лошади	
Д) постоянство формы и размера цветка у орхидеи венериного башмачка	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Ненаправленными факторами эволюции являются
1) мутагенез
2) приспособленность к среде обитания
3) миграция
4) видовое разнообразие
5) естественный отбор
6) дрейф генов

Ответ: | | | |

18 Установите соответствие между приспособленностью организмов к среде обитания и эволюционными процессами, в результате которых эти приспособленности возникли: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИСПОСОБЛЕННОСТЬ	ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС
А) разные формы цветка у орхидей	1) дивергенция
Б) колючки кактуса и колючки боярышника	2) конвергенция
В) крылья птиц и роющие конечности крота	
Г) трахеи насекомых и трахеи позвоночных	
Д) усики винограда и луковицы гладиолуса	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

19 Установите последовательность процессов аллопатрического видообразования. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) возникновение новых мутаций
2) разделение ареала вида
3) генетическая изоляция нового вида
4) распространение признака в популяции
5) выживание особей с полезными приспособлениями

Ответ: | | | | | |

20 Рассмотрите рисунки осы и мухи-журчалки, определите эволюционный процесс, приведший к их сходству, соответствующее сравнительно-анатомическое доказательство эволюции и тип возникшего приспособления. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин из предложенного списка.

Эволюционный процесс	Доказательство эволюции	Тип приспособления
_____ (А)	_____ (Б)	_____ (В)

Список терминов:

1) рудимент
2) аналог
3) дивергенция
4) гомолог
5) конвергенция
6) мимикрия
7) маскировка
8) параллелизм

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте фенологический календарь цветения трех подвидов растения погремка большого на разных лугах.

Подвид	Луг	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Некошеный					▒	■	▒					
2	Покосный					■	▒						
3	Покосный							▒	■	▒			

▒ — начало и конец цветения; ■ — пик цветения

Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.

1) Время цветения всех трех подвидов определяется температурой воздуха.
2) Продуктивность подвида 1 больше, чем подвидов 2 и 3.
3) Подвиды 2 и 3 сформировались вследствие биологической изоляции.
4) Время цветения подвидов зависит от высоты растения.
5) Дивергенция подвидов обусловлена действием разрывающего отбора.

Запишите в ответе **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

Ответ:_____

Часть 2

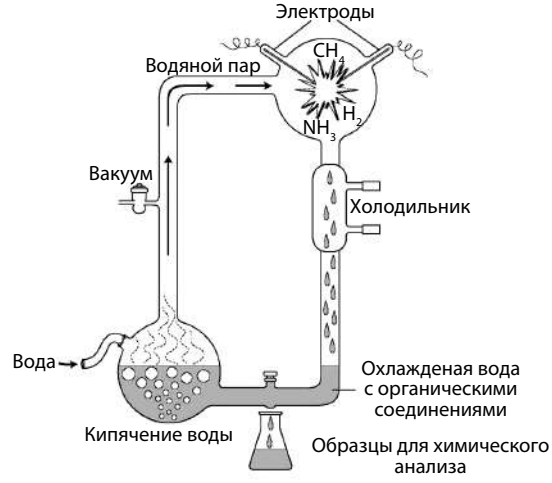
Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

22 Известно, что устойчивость комаров — переносчиков малярии к инсектицидам, например ДДТ, обусловлена наличием в их генотипе рецессивного аллеля r-гена, кодирующего образование натриевого канала плазмалеммы. В африканском государстве Мали для профилактики распространения малярии провели обработку москитных сеток ДДТ. Сравните распределение генотипов отловленных комаров в разные годы. Объясните наблюдаемое явление. Определите, в каком году начали использовать москитные сетки, обработанные ДДТ, в Мали (2002, 2006, 2010).

Год	Генотип		
	RR	Rr	rr
2002	226	0	0
2006	70	7	0
2010	79	127	94

Ответ: _____

23 Экспериментальное подтверждение какой гипотезы происхождения жизни изображено на рисунке? Каков состав газовой смеси в колбе? Что образуется в результате? Дайте обоснованный ответ.



Ответ: _____

24 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Эволюция — это закономерный процесс развития органического мира от возникновения жизни на планете до наших дней. (2) Все эволюционные процессы происходят в популяции, которая является элементарной единицей эволюции. (3) Элементарным материалом эволюции считается ненаследственная изменчивость у особей популяции. (4) Факторами эволюции являются дрейф генов, волны жизни, поток генов и естественный отбор, который имеет ненаправленный характер. (5) Эволюция имеет дивергентный характер, то есть один таксон может дать начало нескольким новым таксонам. (6) Эволюция имеет скачкообразный и продолжительный характер. (7) Основными закономерностями эволюции являются ее необратимый характер, прогрессивное усложнение форм жизни и развитие приспособленности видов к среде обитания.

Ответ: | | | |

25 В 70-е гг. XX века американский исследователь Джон Эндлер провел серию экспериментов, в которых использовал рыбок гуппи и их естественных врагов — цихлид, одинаковые пруды с галькой на дне. Гуппи сначала обитали в пруду без хищников, а затем в часть прудов Эндлер подсадил хищников. Через некоторое время он обнаружил, что количество пятен на теле гуппи в разных прудах изменилось неодинаково.

Как изменилось количество пятен? Объясните причину. Какие еще показатели могли различаться у гуппи в разных прудах?

Ответ:

26 Какое видообразование происходит быстрее: симпатрическое или аллопатрическое? Приведите не менее трех доводов и поясните свой ответ.

Ответ:

27 Подсчитайте количество различающихся нуклеотидов во фрагменте одного из генов семи видов позвоночных животных. На основании проведенного анализа установите их степень родства и в соответствии с этим постройте филогенетическое дерево.

Вид	Нуклеотидная последовательность гена
Homo sapiens	ТГАТГТАГАГГЦГАТТТТТАТТАТГААГТГТТЦЦАЦАЦЦ
Вид 1	ТГАТАТЦТГГГАГГЦАТТТГТЦЦАГААГТГТГТЦАТАЦТ
Вид 2	ТГАТГТАААГГЦГАТТТТТГТТЦАГААГТГТГЦЦАТАЦТ
Вид 3	АГАТГТАГАГГЦАГТЦТТТГТЦЦАГАААТГТЦЦАЦАЦТ
Вид 4	АГАТАТАГАГГЦГАТТТТТГТЦЦАГАААТГТЦЦАТАЦГ
Вид 5	ТГАТГТАГАГГЦГАТТТТТАТТАТГААГТГТТЦЦАТАЦЦ
Вид 6	ТГАТГТАГАГГЦГАТТТТТГТТАТГААГТГТТЦЦАТАЦЦ

Ответ:

28 Для определения возраста ископаемых останков используется радиоуглеродный метод, основанный на том, что исходное содержание изотопов радиоактивного ^{14}C является постоянным, а удельная радиоактивность (A_0) составляет 15,3 распада / мин · ч. После гибели организма содержание изотопа снижается вследствие его распада. Этот процесс протекает с постоянной скоростью, поэтому возраст ископаемых останков (t) в годах может быть рассчитан по формуле:

$$t = \frac{T}{0,693} \ln \frac{A_0}{A},$$

где A — удельная радиоактивность останков на момент проведения анализа;

T — период полураспада радиоактивного элемента (время, необходимое для распада половины радиоактивных изотопов вдвое; для ^{14}C T = 5668 лет);

ln 10 = 2,30259.

При палеонтологических раскопках были обнаружены кости неизвестного животного. Их удельная радиоактивность (A) составила 1,53 распада / мин · ч. Рассчитайте возраст останков. В какую геологическую эру и в какой период обитало животное, останки которого были обнаружены при раскопках?

Ответ:

Раздел 7

Экосистемы и присущие им закономерности

7.1. Среды обитания организмов. Экологические факторы: абиотические, биотические, их значение. Антропогенный фактор

Среды обитания организмов

Организм не может быть полностью изолирован от окружающей среды, поскольку он связан с ней многочисленными прямыми и косвенными взаимодействиями. При этом организм не только испытывает влияние окружающей среды, но и сам активно изменяет ее в процессе своей жизнедеятельности. Например, накопление кислорода в атмосфере вначале было связано с деятельностью фотосинтезирующих бактерий, а затем и растений. В разрушении горных пород немаловажную роль играют такие небольшие организмы, как бактерии и лишайники, которые преобразуют со временем населенные ими участки в пригодные для жизни других существ.

Связи организма с окружающей средой возникают не вдруг, они складываются чаще всего исторически. В результате образуются надорганизменные системы, организацию и функционирование которых изучает наука *экология*. Кроме того, ее предметом являются взаимосвязи и закономерности сосуществования живых организмов в природе, а также законы «здорового» состояния как нормы и основы существования жизни. Поэтому знание истории образования, структуры сообществ живых организмов и факторов окружающей среды, оказывающих воздействие на них, позволит сохранить необходимую для жизни человека среду и рационально использовать природные ресурсы.

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.

Водная среда. Основу водной среды составляет вода, которая, с одной стороны, обладая довольно значительной плотностью, затрудняет передвижение организмов в ней, с другой стороны, обеспечивает им опору, а также большее или меньшее однообразие условий (транспорт газов и питательных веществ, меньшие колебания температуры и т. д.). Вода плохо растворяет кислород и слабо пропускает свет, необходимый для фотосинтеза, что ограничивает, в первую очередь, распространение в ней растительных организмов. Кроме того, в воде не всегда присутствует достаточное количество биогенных элементов. Прибрежные зоны морей и океанов подвержены существенным колебаниям уровня воды, в связи с чем организмы, обитающие в этих зонах, периодически оказываются в наземно-воздушной среде. Водная среда характерна для Мирового океана, морей, континентальных водоемов.

Организмы, приспособившиеся к обитанию в водной среде, называются *гидробионтами*. В зависимости от того, каким образом они приспособились к среде обитания, гидробионтов 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, например 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. К ним относятся киты, ластоногие, рыбы, головоногие и др.

Планктон — это совокупность организмов, населяющих толщу воды в различных водоемах и увлекаемых течениями. Планктонные организмы в основном пассивно парят в толще воды, хотя некоторые из них могут активно передвигаться. Их приспособлениями к обитанию в толще воды являются снижение удельной плотности и сопротивление давлению водного столба. Первое достигается за счет образования многочисленных выростов, вакуолей, наполненных маслом или газом и т. д., второе же обеспечивается наличием внешнего или внутреннего скелета. Так, даже одноклеточные обитатели морей и океанов — простейшие раковинные амебы, фораминиферы, солнечники и лучевики — имеют хорошо выраженные внешние раковинки или даже внутренние скелеты. Активное перемещение планктонных организмов в водной среде возможно благодаря наличию у одноклеточных ложноножек, жгутиков и ресничек, а многоклеточные используют реактивное движение (кишечнополостные) или прикладывают мышечные усилия (плоские и кольчатые черви). В зависимости от систематической принадлежности планктонные организмы относят к фитопланктону либо зоопланктону.

Бентосные организмы приспособились к обитанию на дне водоемов и ведут прикрепленный образ жизни (крупные водоросли, кораллы, губки и др.) либо перемещаются по дну (моллюски, черви). Растения водной среды, особенно высшие, вторично вернувшиеся в воду, имеют значительные воздушные полости, обеспечивающие их размещение на поверхности воды или вблизи нее. Кроме того, обитание в водной среде способствует редукции покровной, механической и проводящей тканей, так как функции, выполняемые этими тканями, существенно утрачивают свое значение.

Наземно-воздушная среда отличается от водной не только более низкой плотностью, лучшей обеспеченностью кислородом и большей интенсивностью освещения, но и существенной изменчивостью условий — резкими перепадами температур, влажности, осадками и т. д. Эта среда отличается наибольшим разнообразием условий, в первую очередь, по температурному фактору, влажности и освещенности. Организмы, освоившие эту наиболее сложную для обитания среду, называются *аэробионтами*. Они отличаются наличием развитой системы опоры или механическими тканями.

Передвижение в наземно-воздушной среде для животных облегчается не только низким сопротивлением воздуха, но и возможностью отталкиваться от твердой опоры (почвы). Ее с успехом освоили многие моллюски, паукообразные и насекомые, а также пресмыкающиеся, птицы и млекопитающие.

Для растений же данная среда создает существенные препятствия в осуществлении процессов жизнедеятельности, прежде всего из-за недостатка воды в атмосфере и ее бедности биогенными элементами, поэтому их выход на сушу повлек за собой возникновение покровных, механических и проводящих тканей, а также расчленение тела на вегетативные органы — побег, осуществляющий функцию воздушного питания, и корень, который обеспечивает растение водой и минеральными солями. На суше обитают в основном высшие растения.

Почвенная среда представляет собой поверхностный слой литосферы, преобразованный в результате взаимодействия многих факторов, не последнюю роль среди которых сыграли живые организмы. Она отличается относительно высокой плотностью, низкой освещенностью, неоднородностью состава, хотя, в отличие от наземно-воздушной среды, в ней обычно не наблюдается такого перепада температур и недостатка воды и минеральных солей. В промежутки между частичками

почвы может проникать и воздух, однако кислород сравнительно быстро расходуется на процессы окисления, поэтому может наблюдаться его дефицит.

Продвижение организма в почве часто сопряжено с существенными препятствиями, поэтому животные в почве передвигаются либо между ее частичками, либо раздвигая ее, как дождевой червь, либо разгребая при помощи конечностей (крот, слепыш, медведка). Рост корней облегчается слущиванием и ослизнением клеток корневого чехлика. При этом они ориентируются к центру земли, а также по направлению к бóльшим концентрациям воды и питательных веществ. Организмы, населяющие почвенную среду, называются *эдафобионтами*.

Внутренняя среда многих организмов также может рассматриваться как среда обитания других видов, причем одни из них используют ее только в качестве местообитания, а другие и как источник питания. Внутренняя среда организмов отличается постоянством условий, что существенно облегчает жизнь «квартирантов», однако многим из них приходится бороться с защитными механизмами организма-хозяина, например с иммунной системой. Если сожительство организма-хозяина и его «квартиранта» являются взаимовыгодными, то это является примером *симбиоза*. В тех же случаях, когда «пришелец» причиняет хозяину какой-либо ущерб, он является *паразитом*, как ленточные черви, сосальщики, круглые черви и др. Обитание какого-либо вида организмов внутри определенного вида приводит к его значительной специализации, что затрудняет размножение и распространение, однако компенсируется огромной плодовитостью.

Экологические факторы: абиотические, биотические, их значение

Среда обитания, кроме того, что она окружает конкретный организм, оказывает на него определенное влияние, как и он на нее. Поэтому тела и явления природы, способные взаимодействовать с организмом, называются *экологическими факторами*. Их делят на две группы: абиотические и биотические.

К **абиотическим** факторам относят все физико-химические влияния, способные вызвать ответную реакцию организма. К ним относят климатические (свет, температура, влажность), химические (химический состав среды обитания), эдафические (типы почв) и другие воздействия.

Светом называется весь диапазон солнечного излучения, который представляет собой поток энергии с длинами волн от 1 до 1000 нм. Далеко не весь свет, излучаемый Солнцем, попадает на поверхность Земли: больше половины его отражает и рассеивает атмосфера. 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. Приспособление к улавливанию света у растений выражается в том, что они выносят листья к солнцу и располагают их таким образом, чтобы один не затенял другой (листовая мозаика). Однако даже светолюбивые растения не всегда способны выдерживать слишком яркое солнце, и поэтому защищаются от него изменением положения листьев и хлоропластов в них, усилением опушения листьев, рассеивающего свет и т. д. Тенелюбивым растениям присуще несколько иное соотношение фотосинтетических пигментов, чем у светолюбивых, большее количество хлоропластов и другие особенности, вследствие которых они не только приобретают темно-зеленую окраску, но и более эффективно улавливают свет.

Спектр света делится на несколько областей:

- 10–400 нм — ультрафиолетовая радиация;
- 400–740 нм — видимый свет;
- 740–1000 нм — инфракрасное излучение.

Длина волны света важна для протекания важнейших процессов жизнедеятельности. Так, малые дозы ультрафиолетового излучения необходимы для видения многих насекомых, образования витамина D в коже у человека, а большие являются губительными, вызывая образование

злокачественных опухолей (рака) кожи при длительном нахождении на открытом солнце. От избыточного количества ультрафиолета Землю защищает озоновый экран в верхних слоях атмосферы, однако в последние годы его состояние вызывает серьезные опасения вследствие применения различных химических соединений, запусков ракет и т. д.

Видимый свет обеспечивает протекание процесса фотосинтеза и транспирации у растений (открывание и закрывание устьиц регулируется в том числе и светом различной длины волны), видение большинства животных и человека, а также является синхронизатором биологических ритмов для обеих групп организмов.

Более длинноволновой диапазон света называют инфракрасным излучением. Это излучение повышает температуру нагреваемого тела и снижает его у испускающего лучи с данной длиной волны. Инфракрасное излучение используют различные холоднокровные животные и некоторые растения, повышая таким образом температуру тела или отдельных его частей. Однако эти же лучи, отражаемые от поверхности Земли и испускаемые животными и растениями, не могут пройти через атмосферу, насыщенную углекислым газом, и отражаются обратно, способствуя усугублению *глобального потепления*. Из-за сходства данного явления с процессами, происходящими в закрытом грунте, оно получило название «*парникового эффекта*».

Фотопериодом называют продолжительность светового дня и ночи, которая имеет суточную и сезонную ритмичность и определяет сроки цветения многих растений и поведение животных вследствие заблаговременного ощущения ими грядущих перемен.

Температура влияет на скорость протекания биохимических реакций, однако значительная часть организмов может существовать только в узком диапазоне температур, поскольку резкие переходы от тепла к холоду и обратно неблагоприятно сказываются на их метаболизме. Исключение составляют, пожалуй, лишь бактерии, споры которых могут выдерживать охлаждение до −200 °C и нагревание до 100 °C.

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. Например, ранние сорта картофеля можно выращивать и в Магаданской области, а подсолнечник — нет.

По отношению к температуре все организмы делят на теплолюбивые (*термофилы*) и холодолюбивые (*криофилы*). К термофилам относятся бактерии, растения и животные. Так, некоторые виды цианобактерий обитают в геотермальных источниках на Камчатке при температурах 75–80 °C, кактусы и верблюжья колючка переносят нагревание воздуха до 70 °C, а целый ряд пустынных видов кузнечиков, бабочек и пресмыкающихся предпочитают температуру около 40 °C. Вместе с тем какао погибает при снижении температуры до +8 °C.

Холодолюбивые виды могут осуществлять свою жизнедеятельность при 8–10 °C, однако редко выживают при повышении температуры. Семена растений, споры бактерий и грибов, коловратки и некоторые круглые черви выдерживают замораживание свыше −270 °C без особого ущерба для последующей жизнедеятельности, а в активном состоянии при отрицательных температурах существует ряд видов животных (пингвины) и растений (водоросли, голосеменные).

Растения не способны поддерживать постоянную температуру тела, но, в отличие от животных, они вынуждены приспосабливаться к ее действию. Как это ни парадоксально, но приспособления к перенесению высоких и низких температур у растений во многом схожи: накопление в цитоплазме растворимых сахаров, аминокислот и других соединений, связывающих воду, повышение интенсивности дыхания. Многие арктические виды отличаются компактными размерами, тогда как их репродуктивные органы относительно велики. Растения южных широт могут иметь очень мелкие листья или вовсе утрачивают их (молочаи, кактусы), при этом функцию фотосинтеза выполняет стебель.

У животных реакции на температуру окружающей среды направлены на регулирование теплоотдачи. Тех, которые не способны поддерживать постоянную температуру тела, относят к *пойкилотермным*, а тех, у которых она постоянна, — к *гомойотермным*.

К пойкилотермным животным относятся все беспозвоночные, рыбы, земноводные и пресмыкающиеся. Они отличаются более низкой интенсивностью метаболизма. Повышение температуры их тела обеспечивается за счет поглощения теплового излучения солнечного света и нагретых предметов (земноводные, пресмыкающиеся), работы мышц (насекомые в полете), общественной жизни (термиты, муравьи, пчелы), интенсивности испарения влаги с поверхности тела и т. д. При существенном снижении температуры пойкилотермные животные впадают в состояние оцепенения (анабиоз).

Гомойотермные животные (птицы и млекопитающие) характеризуются более высоким уровнем обменных процессов, которые и сопровождаются выделением тепла. При низких температурах у гомойотермных животных повышается интенсивность биохимических реакций и возрастает количество тепла, которое распределяется по телу. Высокие температуры сопровождаются у них усилением потоотделения и даже излучением тепла. Важную роль в защите тела от резких перепадов температур играют перьевой или волосяной покровы, а также подкожная жировая клетчатка, выполняющие термоизоляционную функцию. Однако несмотря на столь сложную систему терморегуляции, резервы организма гомойотермных животных не безграничны, и при слишком низких или высоких температурах они погибают.

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, мезофиты и гигрофиты. *Ксерофиты* — это растения засушливых мест обитания, для них характерны удлинение корней, утолщение кутикулы, опушение листьев, уменьшение размеров листьев, а иногда и их сбрасывание. К ним относятся кактусы, толстянки, верблюжья колючка — саксаул и др.

Мезофиты занимают умеренно увлажненные участки земной поверхности, к ним относятся пшеница, горох и др. Некоторые представители этой экологической группы при наступлении неблагоприятных условий способны быстро завершать вегетационный период и переживать засуху в виде семян, луковиц, клубней или корневищ (тюльпан, ландыш, пролески).

Гигрофиты приспособились к обитанию в условиях избыточного увлажнения. К ним относятся кувшинка, тростник, рогоз и др. Специальные приспособления для защиты от испарения отсутствуют, однако избыток влаги в среде, который может вызывать недостаток кислорода, способствует развитию у гигрофитов воздухоносных полостей.

Животные, как и растения, должны восполнять потерю воды, для чего они пьют ее на водопоях, часто расположенных на расстоянии десятков километров, извлекают из пищи или запасают. В случае полного отсутствия воды некоторые животные способны впадать в спячку.

Химический состав среды играет в жизни организмов не меньшую роль, чем другие факторы. Так, снижение содержания кислорода в атмосфере может привести к гибели значительного числа видов растений и животных, например, человека. Поэтому в зависимости от потребности в кислороде все организмы делятся на аэробов и анаэробов. Кислород необходим даже корням растений, надземная часть которых выделяет его в процессе фотосинтеза. Анаэробами же являются многие паразитические организмы, в частности печеночный сосальщик, бычий цепень и др.

Недостаток минеральных солей в почве провоцирует их недостаток в организме, вследствие чего нарушаются процессы жизнедеятельности и, в конечном итоге, отклонение от нормы темпов роста и развития. Например, недостаток кальция у человека может привести к увеличению ломкости костей, а у растений — уменьшению размеров листьев, отмиранию корней и верхушек и т. д.

В случае избытка солей водный обмен растений и животных затрудняется, к тому же многие ионы токсичны для организма. Поэтому биоразнообразие флоры и фауны солончаков намного уступает числу видов в экосистемах, не обремененных столь высокими концентрациями солей. Однако обитающие в этих местах растения приспособились к использованию такого количества солей, которое необходимо им для протекания процессов жизнедеятельности, а избыток солей откладывается в вакуолях или выделяется наружу. Растения и животные, приспособившиеся жить в условиях повышенного засоления, называются *галофилами*. К ним относятся солерос, тамарикс, кораллы, многие морские беспозвоночные, бактерии и др.

Кислотность также является существенным фактором среды, поскольку многие процессы обмена веществ с окружающей средой происходят в ограниченной зоне pH, а в почве отражается также на составе и деятельности микрофлоры, обеспечивающей жизнедеятельность растений. Так, при низких значениях pH снижается, например, поступление азота из почвы в растения, тогда как доступность кальция, наоборот, повышается. Растения, приспособившиеся к обитанию в условиях повышенной кислотности, называются *ацидофилами* (мох кукушкин лен, некоторые хвощи и осоки), пониженной — *базофилами* (тысячелистник, ольха, мятлик), а растения почв с нейтральной реакцией — *нейтрофилами* (земляника, марьянник, кислица).

Естественными источниками *ионизирующего излучения* являются космические лучи, почти полностью задерживаемые верхними слоями атмосферы, а также излучение ряда химических элементов (изотопов урана, радия, калия и др.) и продуктов их распада. В последние десятилетия появились искусственные источники ионизирующего излучения — реакторы атомных электростанций, ледоколов и подводных лодок, ракетные боеголовки и ядерные бомбы, рентгеновские аппараты в медицинских учреждениях, бытовые приборы и др. Небольшие дозы ионизирующего излучения, не превышающие значения природного фона, могут повышать всхожесть семян и скорость роста растений, а их увеличение вызывает мутации, нарушения обмена веществ и деления клеток, роста и развития организма, и может привести к гибели.

Определенное влияние на живые организмы оказывают также рельеф местности, атмосферное давление, атмосферное электричество, пожары, магнитное поле Земли, шум и другие факторы.

Биотическими факторами среды называют совокупность живых организмов, оказывающих влияние на другие живые существа своей жизнедеятельностью. Одним из биотических факторов является также влияние человека. Определяющими в этом отношении являются видовое разнообразие сообщества и численность популяций, образующих его. Живые организмы поселяются друг с другом не случайно, а образуют определенные сообщества, приспособленные к совместному обитанию. 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. Формами симбиоза являются мутуализм, кооперация, 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.

Кооперацией называется форма симбиоза, при которой сожительство партнеров приносит обоим очевидную пользу, однако их связь необязательна, как между раком-отшельником и актинией.

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, аменсализм и аллелопатия. К нему можно причислить также и паразитизм.

Хищничество заключается в умерщвлении одними животными пойманных особей других видов. Хищниками являются не только животные, но и насекомоядные растения, некоторые грибы.

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 антибиотиков, а животные — даже нападать друг на друга.

Аменсализм фактически является крайним случаем конкуренции, если один из конкурентов намного сильнее другого. Например, большое дерево затеняет траву под его кроной, при этом оно практически не ощущает сопротивления.

Аллелопатия в широком значении этого термина подразумевает взаимодействие растений при помощи биологически активных веществ, однако исходно под ней подразумевалось только подавление одними растениями других. Примерами аллелопатии является подавление роста других растений корневыми выделениями пырея.

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.

Закон оптимума. Несмотря на то что ряд экологических факторов практически неизменен в течение длительного времени, как, например, сила земного тяготения, состав и свойства атмосферы, океанических вод и т. п., большинство других факторов изменяются как во времени, так и в пространстве. Эти изменения могут быть регулярно-периодическими (время суток, приливы и отливы, сезоны года), нерегулярными (ураганы, цунами, землетрясения) или направленными (изменения климата, загрязнение атмосферы).

Отдельные организмы, как и надорганизменные системы, вынуждены приспосабливаться к происходящим изменениям, однако резервы их адаптации сформировались в процессе эволюции и не безграничны, поэтому для каждого организма, популяции и экосистемы существует диапазон условий среды — *диапазон устойчивости* (*выживаемости*), в рамках которого происходит жизнедеятельность объектов. За границами этого диапазона — *границами выживаемости* — живая система либо сразу погибает, либо дает семена, споры и т. д., либо переходит во временное состояние покоя (луковицы, клубни и другие запасающие органы растений, анабиоз у животных и т. д.).

В пределах диапазона устойчивости скорость роста и развития организмов не одинакова. Например, продолжительность жизненного цикла плодовой мушки дрозофилы при +24 °С составляет в среднем две недели, а при +17 °С — уже около трех. Такие значения экологического фактора, при которых организмы и популяции достигают наилучшего развития и максимальной продуктивности, называются *оптимальными*. Любые отклонения от этого оптимума вызывают угнетение процессов жизнедеятельности.

Выявление этих закономерностей позволило сформулировать *закон оптимума*: любой экологический фактор имеет определенные пределы положительного влияния на организмы.

Поиск оптимальных значений экологических факторов имеет важное прикладное значение для сельского и лесного хозяйств, а также некоторых отраслей медицины, поскольку только при данном условии реализуется генетически запрограммированный потенциал продуктивности данного вида, а также возможно сохранение здоровья человека.

Закон минимума. Оптимальное соотношение факторов среды встречается в природе довольно редко, и те факторы, которые в наибольшей степени вызывают нарушения роста и развития организма, называются *ограничивающими*. Именно к ним организм вырабатывает приспособления в первую очередь.

Несмотря на то, что природа ограничивающих факторов неодинакова: дефицит химического элемента в почве, недостаток тепла или влаги, биотические отношения (занятие территории более сильным конкурентом, недостаток опылителей для растений), они могут в существенной мере препятствовать процветанию вида. Так, ареал вида значительно ограничивается двумя показателями: температурным порогом развития и суммой эффективных температур.

Выявление ограничивающих факторов очень важно в практическом отношении. Так, многие культурные растения весьма требовательны к кислотности почвы, поэтому известкование почвы позволяет существенно повысить их продуктивность.

Изучая влияние дефицита элементов минерального питания на растения, немецкий физиолог Ю. Либих сформулировал **закон минимума** (1840):

Наибольшее влияние на рост и развитие организма оказывает тот фактор, которого в данный момент не достает в наибольшей степени.

Однако не только недостаток какого-либо фактора может приводить к нарушению жизнедеятельности организма, но и его избыток, поэтому в настоящее время более широкое распространение получил **закон ограничивающего фактора**:

Наиболее значим тот фактор, который больше всего отклоняется от оптимальных для организма значений; именно он определяет в данный момент выживание особей.

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*.

Биологические ритмы. Существование ритмических колебаний ряда факторов окружающей среды вынуждает живые организмы согласовывать свою жизнедеятельность с периодами действия наиболее благоприятных значений этих факторов. Такие периодически повторяющиеся изменения интенсивности и направления биологических процессов называются *биологическими ритмами*.

Биологические ритмы чаще всего наследственно закреплены, однако некоторые из них корректируются изменениями факторов среды. Одним из основных периодически действующих на организмы и экосистемы факторов является свет, поскольку он не только действует на организмы с момента их возникновения, но и наиболее устойчив в своей динамике, автономен и не подвержен другим влияниям.

Суточные ритмы свойственны большинству видов растений и животных. Сигнальным фактором начала и прекращения активности для них служит режим освещения. У многих видов отмечается смена суточных ритмов в течение сезона. У песчанок в середине лета наблюдается два пика активности в течение суток, а ранней весной и поздней осенью — по одному.

Циркадианные (циркадные, околосуточные) ритмы — это повторяющиеся изменения интенсивности и направленности процессов жизнедеятельности с периодом от 20 до 28 ч. К ним относят суточные циклы активности различных органов и систем органов организма человека, открывание и закрывание цветков ряда растений.

В другую очень важную группу биологических ритмов, имеющих огромное значение для высших и низших организмов, входят сезонные (околосезонные), годичные (цирканнуальные, цирканные) ритмы, обусловленные вращением Земли вокруг Солнца.

Фотопериодизм. Реакция организмов на суточный ритм освещения (соотношение продолжительности дня и ночи), которая выражается в изменении интенсивности процессов роста и развития, называется *фотопериодизмом*. Она присуща как животным, так и растениям.

У растений фотопериодизм является приспособлением к комплексу сезонных изменений внешних условий. Например, растения экваториальной зоны и тропиков, где день и ночь имеют примерно равную продолжительность, зацветают на коротком световом дне, тогда как растения умеренного климата, лето которого характеризуется длинным световым днем (свыше 12 ч), осуществляют этот акт только на длинном дне. Уменьшение же продолжительности светового дня для них означает приближение зимы, и они прекращают рост, переходя к цветению и плодоношению, накоплению запасных веществ.

У животных фотопериодизм также связан с изменениями процессов жизнедеятельности, например, наступлением и прекращением брачного периода, линьками, сезонными миграциями, впадением в спячку и т. д. Он также генетически закреплен, однако во многих случаях происходит согласование его с суточным ритмом освещенности.

Антропогенный фактор

Антропогенным фактором называют совокупность последствий хозяйственной деятельности человека для окружающей среды. Она заключается в эксплуатации природных ресурсов, в том числе исчерпаемых (добыче газа, нефти, руд и т. д.), 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.

7.2. Экосистема (биогеоценоз), ее компоненты: продуценты, консументы, редуценты, их роль. Видовая и пространственная структура экосистемы. Трофические уровни. Цепи и сети питания, их звенья. Правила экологической пирамиды. Составление схем передачи веществ и энергии (цепей и сетей питания)

Экосистема (биогеоценоз), ее компоненты: продуценты, консументы, редуценты, их роль

Совокупность живых организмов, тесно взаимодействующих между собой и со средой их обитания, образует *экосистему*. Границы экосистемы достаточно условны, поэтому к экосистемам относят и нору сурка со всеми ее обитателями (сожителями, паразитами и т. д.), и озеро Байкал, и биосферу в целом. Элементарной экосистемой является биогеоценоз, поэтому далее эти понятия будут рассматриваться как тождественные.

Биогеоценоз — это устойчивый, достаточно однородный комплекс взаимосвязанных видов живых организмов и компонентов окружающей среды.

Примерами биогеоценозов являются лиственный лес, сосновый бор, заливной луг, озеро, болото и др. Согласно учению о биогеоценозах, разработанному академиком В. Н. Сукачевым, свойствами биогеоценоза являются целостность, открытость, саморегуляция и самовоспроизведение.

В биогеоценозе выделяют биотический и абиотический компоненты (биоценоз и биотоп соответственно). *Биоценозом* называют совокупность популяций живых организмов, населяющих участок суши или водоема. Он характеризуется видовым разнообразием, плотностью популяций, биомассой и продуктивностью. Сам участок водоема или суши с одинаковыми условиями рельефа, климата и прочими абиотическими факторами, занятый определенным биоценозом — это *биотоп*.

Целостность биогеоценозов поддерживается за счет потока энергии, который проходит через него. Поскольку основным поставщиком энергии на Землю является солнечный свет, то улавливают его и переводят в доступную для других организмов форму органических веществ автотрофы, тогда как гетеротрофы используют готовые органические вещества.

С экологической точки зрения в составе биогеоценозов выделяют три основные группы организмов: продуценты, консументы и редуценты. *Продуценты* — это автотрофные организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических. Через их посредство происходит приток в экосистему энергии солнечного света или химических связей неорганических соединений. Основными продуцентами большинства экосистем являются зеленые растения, хотя со счетов нельзя сбрасывать и фото-, и хемосинтезирующие бактерии, являющиеся основой некоторых водных экосистем.

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. Например, растительноядных животных (насекомых) рассматривают в качестве консументов 1-го порядка, насекомоядных птиц — консументов 2-го порядка, а хищных птиц — консументов 3-го порядка.

Наличие консументов в биогеоценозе не является обязательным условием его существования, поскольку отмершие остатки все равно будут утилизированы редуцентами. Таковы некоторые глубоководные экосистемы, в которых продуцентами являются хемосинтезирующие бактерии.

Редуценты также относятся к гетеротрофам, поскольку они используют готовые органические вещества, разлагая их до неорганических, вновь вовлекаемых в биотический круговорот веществ продуцентами. Редуцентами являются бактерии, грибы и некоторые животные, например дождевой червь.

Таким образом, благодаря существованию этих трех групп организмов в биогеоценозах осуществляется круговорот веществ, тогда как большая часть энергии рассеивается.

Видовая и пространственная структура экосистемы

Несмотря на то что биогеоценозы Земли достаточно разнообразны, в естественных условиях ни один из них не может функционировать за счет единственного вида живых организмов, поскольку последний не может являться одновременно и продуцентом, и консументом, и редуцентом. Так, в обычной дубраве обитает около 100 видов растений, несколько тысяч видов животных и сотни видов грибов и бактерий.

Безусловно, виды живых существ различаются не только внешними и внутренними особенностями, но и численностью особей в популяциях, а также ролью в данном биогеоценозе. Виды, в наибольшей степени определяющие тип и структуру сообщества, называются *доминантами*. Так, в сосновом бору доминантом древесного яруса является сосна, а в кустарниковом, например, малина, тогда как в ярусе трав — зубровка, земляника и др. Другие виды могут играть в экосистеме не столь значительную роль, однако это не означает, что они менее важны, чем доминанты, поскольку каждый вид играет в биогеоценозе свою роль и занимает свое место, характеризующееся определенной совокупностью факторов среды, которая делает возможным существование вида в ней — *экологическую нишу*.

Абиотические условия даже в отдельных участках биотопа неодинаковы, так как, например, в озере можно выделить прибрежную зону, зону открытой воды и придонную глубоководную зону, которые различаются условиями освещенности, обеспеченности кислородом, температурными и другими особенностями, что, в свою очередь, накладывает отпечаток на встречаемость тех или иных видов организмов в них.

В прибрежной зоне озера, помимо водорослей, произрастают высшие водные растения-продуценты тростник, рогоз, камыш, кувшинка, элодея канадская, роголистники и др. К консументам этой зоны относятся личинки стрекоз, разнообразные рачки, прудовики, лягушки и змеи. В зоне открытой воды продуцентами служат различные виды водорослей, глубину обитания которых определяет проникновение солнечного света. Этими продуцентами питается зоопланктон, в том числе мелкие рачки — циклопы и дафнии, которых поедают мелкие рыбы, например плотва, в свою очередь являющаяся добычей более крупной рыбы — щуки или окуня. Глубоководная зона и донный ил водоема населены бактериями, трубочниками, личинками комаров и двустворчатыми моллюсками, которые питаются органическими остатками (рис. 7.1).

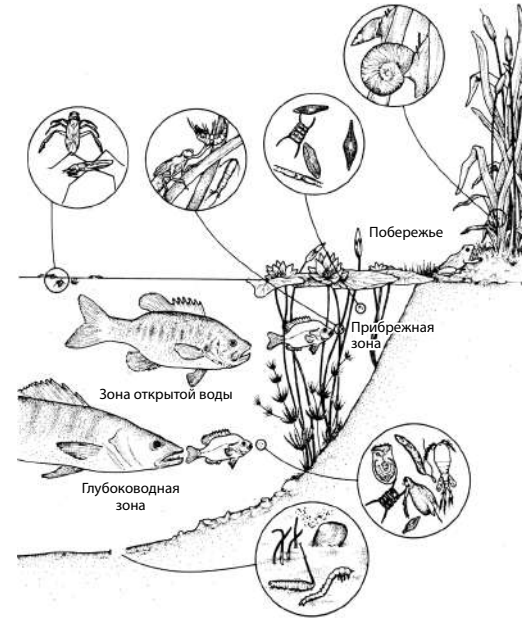


Рис. 7.1. Упрощенная схема озерного сообщества

Листопадный лес также имеет ярко выраженную структуру, так как в нем можно выделить несколько ярусов: высокий древесный, низкий древесный, кустарниковый, травянистый и моховой напочвенный (рис. 7.2). В этих ярусах существенно различаются освещенность, температура и влажность. Так, древесные ярусы представлены светолюбивыми дубами, буками, липами. В верхних ярусах леса устраивают гнезда многие птицы (обыкновенная неясыть, чеглок, перепелятник, вяхирь, сорока, галка, ворона, певчий дрозд, зяблик, большая синица,

лазоревка, дятел, сойка, поползень, пищуха), листья древесных растений и кустарников служат пищей для взрослых насекомых и их личинок (например, пядениц и еще около 1600 видов), растительноядных птиц, грибов и бактерий. Из млекопитающих здесь обитает серая белка.

Рис. 7.2. Пространственная структура сообщества

Кустарники подлеска — это преимущественно теневыносливые бересклет, боярышник, бузина, калина и терновник. Из птиц тут обитают зарянка, черный дрозд, мухоловка-пеструшка, горихвостка, дятел, поползень, пищуха. Обычна здесь и серая белка, а также многие насекомые, которые встречаются и в травянистом ярусе.

Травы и мхи в лесу тем более теневыносливы, поскольку летом их почти полностью затеняет листва деревьев. Местами здесь встречаются грибы и лишайники. В траве можно найти гнезда мелких птиц — крапивника, лесной завирушки, славок. Млекопитающие данного яруса в подавляющем большинстве относятся к грызунам (полевки, соня), зайцеобразным (зайцы) и парнокопытным (кабан, лось, косуля). Видовое разнообразие членистоногих здесь не меньше, чем в верхних ярусах, поскольку в напочвенном ярусе можно встретить и бабочек, и пчел, и мошку, и жуков, и кузнечиков, и пауков.

Почва в листопадном лесу обычно покрыта подстилкой из растительных остатков. В ней и верхних слоях почвы, пронизанных корнями растений, особенно велико разнообразие видов бактерий и грибов, встречаются также дождевые черви, личинки мух, бабочек, жуки-навозники и мертвоеды, многоножки, мокрицы, ногохвостки, клещи, нематоды. Постоянным местом обитания почву избрали и некоторые млекопитающие, например кроты.

Таким образом, биогеоценоз характеризуется видовой и пространственной структурой, обеспечивающей не только его целостность, но и уникальность.

Цепи и сети питания, их звенья. Трофические уровни

Каждый организм в биогеоценозе связан с остальными положительными либо отрицательными взаимодействиями. Первые смягчают действие факторов окружающей среды, обеспечивая питание, размножение и возможность защиты, а вторые, наоборот, зачастую несут угрозу самому существованию данного организма.

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 содержат 3–5 звеньев. Например, мышь-полевка питается зернов-

ками пшеницы, а ее саму может съесть лисица. В водных экосистемах пищевые цепи обычно длиннее, чем в наземных, и могут содержать консументы вплоть до 4-го порядка. Так, в зоне континентального шельфа фитопланктон (диатомовые водоросли и жгутиковые) является пищей для зоопланктона (веслоногих ракообразных, личинок крабов и криля), которых, в свою очередь, потребляют головоногие моллюски, а ими питаются пеламиды и тунцы.

Судя по результатам недавних исследований, длина пищевых цепей ограничивается и другими факторами. Возможно, существенную роль играют доступность предпочитаемой пищи и территориальное поведение, снижающее плотность расселения организмов, а значит и численность консументов высших порядков в конкретном местообитании.

В экосистемах различают два типа цепей питания: цепи выедания и цепи разложения. Рассмотренные выше 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*.

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. Полуразложившаяся масса органических остатков вместе с перерабатывающими ее микроорганизмами называется *детритом*. Так, в мангровых зарослях насекомые потребляют всего около 5 % биомассы растений, а ее остаток попадает в воду и переносится на значительные расстояния. Существование детритных цепей не является бесполезным, поскольку обеспечивает завершение круговорота веществ в биогеоценозах. Кроме того, включенные в эти цепи организмы являются одновременно пищей для консументов цепей выедания (например, в лесу может существовать такая цепь: листовой опад — дождевой червь — черный дрозд — ястреб-перепелятник).

Для различных участков биоценозов характерны неодинаковые цепи питания. Так, 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*.

Пищевые сети и цепи внутри каждого биогеоценоза имеют хорошо выраженную структуру, поскольку в них можно выделить группы организмов, объединенных общим типом питания. Например, на лугу злаки, клевер, полевая герань и другие растения — это продуценты, тогда как кузнечики, жуки-листоеды, гусеницы различных видов бабочек и мыши-полевки являются консументами 1-го порядка, ящерицы, трясогузки и малиновки — консументами 2-го порядка. Такие группы организмов относят к одному *трофическому уровню*.

Правила экологической пирамиды

Поскольку трофические уровни различаются по ряду показателей, соотношение между ними в экосистеме можно изобразить 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.

Пирамида биомассы базируется на количестве сухого органического вещества (рис. 7.3).

Пирамида энергии базируется на количестве энергии, заключенной в особях на каждом трофическом уровне.

В тех случаях, когда количество или масса продуцентов меньше, чем масса консументов, основание пирамиды меньше, чем ее вершина, и она оказывается перевернутой. Например, в дубовом лесу число деревьев невелико по сравнению с количеством насекомых, питающихся их тканями и опадом, а в глубоководных участках экосистемы биомасса продуцентов ничтожна, и органиче-

ское вещество поступает из других участков водоема. Перевернутыми могут быть исключительно пирамиды чисел и биомассы, тогда как пирамида энергии всегда суживается кверху.

Экологические пирамиды предоставляют наглядную основу для сопоставления разных экосистем, сезонных состояний одной и той же экосистемы, а также разных фаз изменения экосистемы. Кроме того, составление экологических пирамид дает человеку возможность получить максимальный выход продукции экосистемы. Пирамиды энергии считаются наиболее важными, поскольку они непосредственно обращаются к основе пищевых отношений — потоку энергии, необходимой для жизнедеятельности любых организмов.

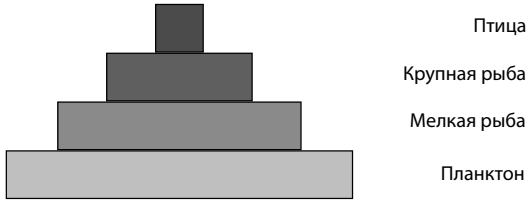


Рис. 7.3. Пирамида биомассы

Основой для составления пирамиды энергии является *продуктивность* экосистемы — количество энергии, производимое ею за определенный период времени. Несмотря на то что продуценты могут запасать значительные количества энергии в химических связях органических веществ, они сами частично расходуют ее на процессы дыхания. Большие или меньшие количества энергии (обычно 80–90 %) теряют на каждом последующем трофическом уровне консументы, сохраняя лишь около 10 %, а в конечном итоге устойчивый биогеоценоз расходует ее на собственное функционирование практически полностью. На основе этой закономерности сформулировано **правило экологической пирамиды**, или **правило 10 %**: *в каждом последующем звене цепи питания количество энергии уменьшается в 10 раз.*

Основной проблемой, связанной с применением экологических пирамид, является точное и полное распределение организмов по трофическим уровням, так как многие консументы добывают пищу сразу на нескольких трофических уровнях, а растения не всегда целесообразно полностью включать в состав продуцентов, поскольку они содержат ряд нефотосинтезирующих частей или даже являются паразитами (повилика, заразиха).

Составление схем передачи веществ и энергии (цепей и сетей питания)

Простое перечисление видов, обитающих на определенном участке территории или акватории, не дает полной информации об экосистеме, поскольку за рамками такого списка остаются взаимосвязи этих организмов. К тому же изучение пищевых цепей и сетей биогеоценозов предоставляет необходимые сведения о потоке энергии и веществ в экосистеме.

Для удобства записи цепи питания ее звенья записывают в строку слева направо, начиная с продуцентов, за которыми следуют консументы 1-го, 2-го порядков и т. д. Звенья пищевой цепи соединяют между собой стрелками, указывающими направление потока вещества и энергии. Например, на лугу злаки являются пищей для кузнечиков, которых потребляют мелкие насекомоядные птицы, а уже ими питаются змеи, опасность для которых представляют ежи. Эта пищевая цепь будет иметь следующий вид:

злаки → кузнечики → насекомоядные птицы → змеи → ежи.

Из данной записи видно, что злаки являются продуцентами, кузнечики — консументами 1-го порядка, птицы — консументами 2-го порядка, а змеи и ежи — консументами 3-го и 4-го порядка соответственно.

Иногда требуется составить пищевую цепь, руководствуясь лишь перечнем видов организмов, входящих в нее. В таком случае следует проанализировать не столько их систематическую принадлежность, сколько способ питания. Например, необходимо составить пищевую цепь по следующим данным: в африканской саванне широко распространены гепарды, антилопы, акации и гиены.

Сначала выделяем из предложенных видов продуценты — это растения (акации). Они, вне всякого сомнения, должны стоять на первом месте, поскольку все остальные виды — это животные

(гетеротрофы). Теперь распределяем консументов согласно их положению в трофической цепи: антилопы являются растительноядными животными, гепарды — хищниками, гиены же — падальщики. Таким образом, пищевая цепь будет иметь следующий вид:

акации → антилопы → гепарды → гиены.

Однако возможна и более короткая цепь, в которой будет отсутствовать третье звено, поскольку гиены могут питаться и погибшими от бескормицы, болезней, ран или старости антилопами.

Аналогично следует поступить, если, имея список растений и животных, требуется составить пищевую сеть. Например, нам даны волк, лиса, лось, белка, бобр, сосна лесная, клен, заяц-беляк, пихта, осина и рогоз. Учитывая тот факт, что каждый компонент этой трофической сети может служить пищей одному или нескольким другим и иметь более чем один источник питания, получим следующую трофическую сеть (рис. 7.4).

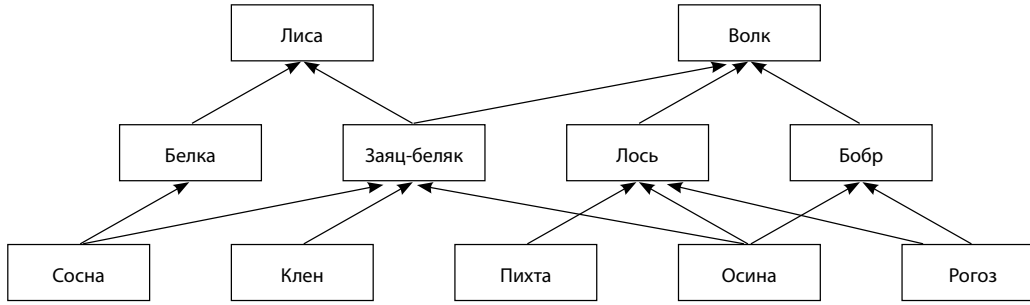


Рис. 7.4. Трофическая сеть

Решение экологических задач

Задача 1. Постройте пищевую цепь экосистемы леса, в которой продуцентами являются древесные растения, а консументом высшего порядка — ястреб.

Решение.

Поскольку растения — это продуценты, в пищевой цепи они займут первую позицию:

растение →

Их тканями могут питаться многие насекомые, например тля, которая сосет флоэмный сок. Тля будет являться консументом 1-го порядка:

растение → тля →

Как известно, тлю истребляют божьи коровки, которых применяют даже в садах и на полях вместо ядохимикатов:

растение → тля → божья коровка →

Божьими коровками могут питаться немногие птицы из-за их предупреждающей окраски, однако к таковым относятся и скворцы:

растение → тля → божья коровка → скворец →

Скворец вполне может стать добычей ястреба, который и завершит данную пищевую цепь, будучи консументом 4-го порядка:

растение → тля → божья коровка → скворец → ястреб.

Ответ: растение → тля → божья коровка → скворец → ястреб.

Задача 2. В упрощенной экосистеме африканской саванны имеется четыре компонента: растения (акации), травоядные (антилопы), хищники (гепарды) и падальщики (гиены). Какие организмы занимают в этой экосистеме второй трофический уровень?

Решение.

Поскольку продуцентами являются только акации, а все остальные — консументами, растения оказываются в начале пищевой цепи:

акации →

Антилопы относятся к травоядным, гепарды — к хищникам, а гиены — к падальщикам. Следовательно, пищевая цепь приобретает вид:

акации → антилопы → гепарды → гиены.

Из этой пищевой цепи видно, что именно антилопы занимают второй трофический уровень.

Ответ: антилопы.

Задача 3. Какое количество чаек может прокормиться на участке акватории моря, на котором в год образуется 1200 кг сухой массы фитопланктона? Масса чайки составляет 1 кг (сухое вещество — 40 %), чайка питается рыбой, а рыба — фитопланктоном. При решении задачи следует учитывать правило экологической пирамиды.

Решение.

Прежде всего, исходя из данных задачи, следует составить пищевую сеть:

фитопланктон → рыба → чайка.

Из этой цепи следует, что пирамида биомасс будет трехуровневой, и, согласно правилу 10 %, или правилу экологической пирамиды, биомасса чайки будет в 100 раз меньше биомассы фитопланктона:

чайка — 1 %;
рыба — 10 %;
фитопланктон — 100 %.

Помня о том, что в основу пирамиды биомасс положена масса сухого вещества, рассчитываем массу сухого вещества чайки:

$$m_{(\text{сух. чайки})} = m_{(\text{сыр. чайки})} \cdot 40\,\% \;/\; 100\,\% = 1 \cdot 0{,}4 = 0{,}4 \text{ кг}.$$

Определяем, какое количество сухого вещества фитопланктона требуется для пропитания одной чайке:

$$m_{(\text{сух. фитопланктона})} = m_{(\text{сух. чайки})} \cdot 100 = 0{,}4 \cdot 100 = 40 \text{ кг}.$$

И, наконец, вычисляем, какое количество чаек может прокормиться на данной акватории:

$$n_{(\text{чаек})} = m_{(\text{общ. сух. фитопланктона})} \;/\; m_{(\text{сух. фитопланктона})} = 1200 \;/\; 40 = 30 \text{ (чаек)}$$

Ответ: 30 чаек.

Задача 4. Средняя масса годовалой рыжей лисицы — 20,5 кг. Предположим, что с одномесячного возраста, когда масса лисенка составляла 500 г, он перешел на питание исключительно куропатками (средняя масса — 800 г). Какое количество куропаток понадобилось ему съесть для достижения массы годовалой лисы? Какой прирост биомассы продуцентов понадобился для этого? Какая площадь (в га) достаточна для пропитания одной лисицы, если продуктивность растительной биомассы составляет 2 т/га?

Решение.

Составим цепь питания данной территории, учитывая то, что куропатки являются преимущественно растительноядными:

растение → куропатка → лиса.

Подсчитаем, какую массу лисенок набрал в течение года, питаясь куропатками:

$$\Delta m_{(\text{лисы})} = 20{,}5 \text{ кг} - 0{,}5 \text{ кг} = 20 \text{ кг}.$$

Согласно правилу экологической пирамиды, для набора такой массы ему потребовалось съесть в 10 раз больше куропаток:

$$m_{(\text{куропаток})} = \Delta m_{(\text{лисы})} \cdot 10 = 20 \cdot 10 = 200 \text{ кг}.$$

Определим количество куропаток, необходимых для пропитания лисы:

$$n_{(\text{куропаток})} = m_{(\text{куропаток})} \;/\; m_{(\text{куропатки})} = 200 \text{ кг} \;/\; 0{,}8 \text{ кг} = 250 \text{ (куропаток)}.$$

Теперь определим, согласно правилу экологической пирамиды, какая биомасса продуцентов потребовалась для прокорма 200 кг куропаток:

$$m_{(\text{продуцентов})} = m_{(\text{куропаток})} \cdot 10 = 200 \text{ кг} \cdot 10 = 2000 \text{ кг}.$$

Вычислим площадь, необходимую для пропитания куропаток и лисы, учитывая продуктивность данной экосистемы (2000 кг/га):

$$S = m_{(\text{продуцентов})} \;/\; \text{продуктивность} = 2000 \text{ кг} \;/\; 2000 \text{ кг/га} = 1 \text{ га}.$$

Ответ: для пропитания одной лисы необходимо 250 куропаток, которые потребляют 2000 кг растительной биомассы. Для пропитания одной лисы достаточно 1 га территории.

7.3. Разнообразие экосистем (биогеоценозов). Саморазвитие и смена экосистем. Устойчивость и динамика экосистем. Биологическое разнообразие, саморегуляция и круговорот веществ — основа устойчивого развития экосистем. Причины устойчивости и смены экосистем. Изменения в экосистемах под влиянием деятельности человека. Агроэкосистемы, основные отличия от природных экосистем

Разнообразие экосистем (биогеоценозов)

Биомы

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, накладывающие отпечаток на характер процессов, происходящих в биогеоценозе, а также его видовую и пространственную структуру, позволяют отнести биомы к *наземным* (*сухопутным*) или *водным*.

Основные наземные экосистемы

В основе классификации наземных экосистем, в первую очередь, лежит тип растительного покрова данного участка суши, что позволяет выделять пустынные, травянистые и лесные биогеоценозы. Пустынные экосистемы, в свою очередь, подразделяют на тропические, умеренных широт и холодные, травянистые — на саванны, прерии, степи и тундры, а лесные — на влажные тропические леса, листопадные леса умеренных широт и др.

Пустыни. К *пустыням* относят территории, на которых уровень осадков не превышает 250 мм в год, а испарение влаги намного больше количества выпавших осадков. Эти экосистемы покрывают около 30 % поверхности суши практически во всех широтах Земли, начиная с тропических Атакамы и Южной Сахары, и заканчивая ледяными пустынями Антарктиды.

Чрезвычайно сложные условия обитания в пустынях обусловливают скудость и изреженность растительного покрова, что, в свою очередь, является причиной крайне низкой продуктивности данных экосистем и способствует формированию в них коротких пищевых цепей. Так, в пустынях Северной Америки доминируют кактусы, а консументами высшего порядка являются койоты и ястребы.

Хрупкость жизни в пустынях заставляет уделять особое внимание их охране, поскольку выпас скота и движение автотранспортных средств вне дорог приводит к серьезным нарушениям этих экосистем.

Экосистемы, где преобладающим является травяной покров, характерны для районов, в которых выпадает большее количество осадков, и влага частично задерживается в почве. Они располагаются преимущественно в тропическом, умеренном и субарктическом поясах планеты.

Тропические травянистые экосистемы, или *саванны*, образуют широкие полосы по обе стороны экватора. В этих регионах средние температуры достаточно высоки, а осадки выпадают в основном весной или летом, тогда как в остальное время они отсутствуют (сухой сезон). Помимо злаков и других травянистых растений, в саваннах могут встречаться также редкостоящие деревья, например, баобабы и зонтичные акации. Животный мир тропических травянистых экосистем, представленный слонами, носорогами, жирафами, антилопами, львами, различными грызунами, зайцеобразными, множеством птиц и др., в зимнее время обогащается за счет птиц, мигрирующих из Евразии. Однако несмотря на то, что продуктивность саванн и их видовое разнообразие

превышает таковую пустынь, и они должны быть более устойчивыми, саванны не меньше страдают от действия антропогенного фактора, например от перевыпаса скота и пожаров.

Травянистые экосистемы умеренных широт занимают большей частью внутренние районы материков. В Евразии они называются *степями*, в Северной Америке — *прериями*, в Южной — *пампой* и *льянос*, в Южной Африке — *вельдами*. Несмотря на почти постоянно дующие ветры, способствующие испарению влаги, часть ее все же задерживается в почве благодаря плотному растительному покрову. Во флоре этих экосистем достаточно широко представлены злаки, такие как пампасная трава, ковыли и др. Ранее в них встречались и крупные млекопитающие, например бизоны, туры, сайгаки, куланы и др. Однако хищническое истребление данных животных, а позднее — распашка прерий и степей привели к деградации биогеоценозов с последующей эрозией почв и пыльными бурями.

В этих же широтах, на территориях с лучшим влагообеспечением, чаще в поймах рек, в холмистой местности и на лесных полянах, встречается другой тип травянистых экосистем — *луга*. Их растительный покров отличается изобилием многолетних трав, главным образом злаков и осок.

Рис. 7.5. Линнея северная

Полярные травянистые экосистемы, или *тундры*, расположены в субарктическом поясе. Большую часть года они покрыты снегом и льдом, хотя осадков в этих районах немного, и выпадают они в основном в виде снега. Зимы в тундре продолжительные и суровые, поскольку эффект низких температур усугубляется почти постоянно дующими штормовыми ветрами. Почвенный слой тундры скован вечной мерзлотой, и даже летом почва оттаивает максимум на 1 м, но при этом остается перенасыщенной влагой. Растительный покров здесь образуют главным образом мхи и лишайники, а также вересковые, линнея северная (рис. 7.5) и др., хотя встречаются и стелющиеся древесные растения, например карликовые ивы и березы. Животный мир тундр также небогат, он представлен белыми медведями, песцами, росомахами, северными оленями, леммингами, прилетающими на лето полярными гусями, гагарами, поморниками и др. Обильны здесь и кровососущие насекомые — мошки, мокрецы, комары.

Бедность видового состава, низкие темпы прироста растительности, медленное разложение органических веществ, малая мощность почвы или полное ее отсутствие на части территории ставят под угрозу дальнейшее существование экосистем вследствие интенсивной эксплуатации природных ресурсов (добычи нефти и газа) в этих районах.

Лесные экосистемы, в которых доминируют древесные растения, встречаются в районах земного шара с более или менее стабильными погодными условиями и почти равномерным выпадением осадков в течение года.

Влажные тропические леса широко распространены в приэкваториальных районах, характеризующихся более или менее стабильными, умеренно высокими среднегодовыми температурами, а также значительным количеством осадков, которые и обусловливают влажность воздуха, доходящую до 100 %. Типичным для влажных лесов является преобладание крупных вечнозеленых деревьев, тогда как ярус трав из-за высокой степени сомкнутости крон здесь практически не выражен.

Несмотря на очень высокую продуктивность таких экосистем, формирование плодородного слоя почвы в них сильно затруднено вследствие чрезвычайно быстрой переработки растительного опада и других органических остатков бактериями и грибами, а также сравнительно легкого вымывания ливнями биогенных элементов, особенно на нарушенных территориях.

Биоценоз влажного тропического леса характеризуется самым высоким среди наземных биогеоценозов разнообразием крайне специализированных видов растений и животных, каждый из которых занимает строго определенное место в трофических сетях. Вместе с тем нарушение равновесия в экосистеме влажного тропического леса вследствие вырубки, прокладки дорог и т. д. приводит к необратимым процессам. Данный тип биогеоценозов тем более нуждается в тщательной охране, потому что, например, амазонская сельва является одним из важнейших источников кислорода на планете.

Листопадные леса умеренных широт формируют растительный покров в районах с хорошо выраженной сезонностью и равномерными в течение всего года осадками. Несмотря на то что лето здесь достаточно продолжительно, а зима не слишком сурова, климат в этих широтах скорее прохладный или умеренно жаркий. Значительное видовое разнообразие растительного и животного мира в листопадных лесах обусловливает сложность цепей питания и устойчивость биогеоценоза в целом, что, в свою очередь, способствует их быстрому восстановлению в случае различных антропогенных нарушений.

Северные хвойные, или **бореальные, леса** (*тайга*), характерны для более южных районов субарктического пояса, чем тундры. Лето здесь относительно короткое и прохладное, тогда как зимы продолжительны и достаточно суровы, а количество осадков в течение года невелико (250–500 мм в год). По сравнению с остальными лесными экосистемами, тайга относится к наименее нарушенным биогеоценозам, несмотря на интенсивную рубку, сбор грибов и ягод, а также промысел пушнины.

Наряду с широтной, на Земле выражена и высотная зональность, которая обусловлена не только и не столько интенсивностью солнечного излучения, сколько углом падения солнечных лучей, перепадами температур, влагообеспеченностью и другими факторами. Поэтому здесь встречаются и лесные, и луговые, и пустынные экосистемы. Характерными для гор являются такие виды животных и растений, как, например, эдельвейс, фиалка галмейная, муфлон, снежный барс и др.

Основные водные экосистемы

Классификация водных биогеоценозов определяется в значительной степени характеристиками среды обитания, т. е. соленостью, глубиной проникновения солнечных лучей, концентрацией растворенного кислорода, доступностью биогенов и температурой. Они представлены океанами и морями, а также континентальными водоемами — реками и ручьями, озерами и болотами.

Океаны и моря. В океанах и морях можно выделить две основные зоны: прибрежную и зону открытого океана. Прибрежная зона океана представлена относительно теплыми, богатыми биогенными элементами мелководьями, которые занимают около 10 % площади океана между линией прилива на суше и континентальным шельфом. Прибрежные водные экосистемы отличаются наибольшей продуктивностью в связи с поступлением потока биогенов как из донных отложений, так и с суши, что обусловливает сосредоточение здесь 90 % биомассы океанических растений и животных.

К прибрежной зоне относятся, прежде всего, эстуарии и коралловые рифы.

Эстуарии — это места впадения рек и ручьев в океан, которые отличаются пониженной соленостью и повышенным поступлением биогенных элементов, что обусловливает значительную продуктивность данных экосистем.

Коралловые рифы, распространенные в прибрежных зонах океана в теплых тропических и субтропических широтах, на протяжении миллионов лет формируют сложнейшие экосистемы, такие как атоллы Тихого океана и Большой Барьерный риф в Австралии. Они характеризуются значительным видовым разнообразием животного и растительного мира.

На долю открытого океана, границей которого служит край континентального шельфа, приходится всего лишь около 10 % биомассы живых организмов этой экосистемы, поскольку развитие растений в значительной степени лимитируется дефицитом биогенных элементов и глубиной проникновения солнечного света. Однако из-за огромной протяженности открытого океана в нем образуется значительная часть органических веществ и кислорода. Жизнь на просторах открытого океана в значительной степени зависит от фитопланктона, поэтому их часто называют океаническими пастбищами.

Континентальные водоемы занимают лишь около 2–3 % земной поверхности. По особенностям водотока их относят к стоячим (озера и болота) и проточным (реки и ручьи).

Видовое разнообразие в *озерах* зависит прежде всего от площади поверхности и глубины водоема, региональных климатических условий и химического состава воды. В тех случаях, когда в воду озера попадает большее количество минеральных и органических веществ, чем может быть вовлечено в круговорот данной экосистемой, происходит процесс *эвтрофикации* — постепенного накопления неразложившихся органических остатков, что вызывает смену растительного и животного сообщества, постепенное обмеление и зарастание водоема.

Болота — это избыточно увлажненные участки суши, в верхних горизонтах которых накапливается более или менее значительный слой неразложившихся остатков растений, образующий слой торфа. Эти экосистемы занимают около 350 млн га практически во всех ландшафтно-географических зонах Земли.

Болота выполняют крайне важные функции, связанные с накоплением неразложившихся органических веществ, которые впоследствии образуют торф, а также с очисткой вод, поступающих затем в реки, озера, моря, грунтовые воды, от минеральных и органических веществ. Как и влажные тропические леса, и эстуарии, они являются одними из наиболее продуктивных экосистем.

В проточных экосистемах, помимо течения, которое определяет особенности формирования растительных и животных сообществ, а также улучшает обеспеченность кислородом и способствует поддержанию более или менее постоянной температуры, дополнительными факторами являются поступление органических веществ и биогенных элементов, в частности с бытовыми и промышленными стоками. Видовое разнообразие растительного и животного мира постепенно нарастает от истоков к устью, к тому же вдоль русел равнинных рек образуется и фауна береговых откосов.

Бедность пищевой базы в проточных водах способствует формированию пищевых сетей, поскольку многие животные являются всеядными, поедая не только растения и животных, но и детрит.

Интенсивная хозяйственная деятельность человека привела к существенному изменению облика планеты и нарушению значительной части естественных экосистем планеты, сформировавшихся исторически под действием геологических и климатических факторов, и созданию искусственных, в том числе *агроценозов*.

Саморазвитие и смена экосистем

Человеческая жизнь в большинстве случаев слишком коротка и протекает в измененной самим человеком среде, чтобы уловить изменения, происходящие в экосистемах. Наиболее наглядны они на заброшенных проселочных дорогах, которые сначала захватываются такими устойчивыми к вытаптыванию растениями, как подорожники, затем здесь преобладает горец птичий (спорыш), и, наконец, их сменяют однолетние злаки, в свою очередь вытесняемые многолетними. Через 10–15 лет только наметанный глаз по составу растительности сможет различить, где проходила эта дорога.

Изменения происходят не только в нарушенных экосистемах, им подвержены и уже сформировавшиеся. Так, казавшееся нам в детстве чистым пойменное озеро с кувшинками, по прошествии ряда лет оказывается сильно загрязненным. Оно зарастает тростником и рогозом, в нем размножаются водоросли и погруженные водные растения, и озеро постепенно превращается в болото. Это связано с тем, что популяции, имеющиеся в биоценозе, изменяют среду обитания, создавая тем самым условия для появления и распространения новых видов, которые со временем размножаются, захватывая все новые участки, и, в конце концов, занимают господствующее положение в новом сообществе.

Изменения биогеоценозов могут быть направлены как на восстановление, так и на смену самих экосистем. Причины этих изменений кроются чаще всего в самих биогеоценозах, а последовательно идущие друг за другом смены сообществ на одной территории называют *саморазвитием* биогеоценоза.

Устойчивость и динамика экосистем

Как и любая система, экосистема обладает определенной буферностью, т. е. стремится за счет внутренних резервов минимизировать последствия возмущающих воздействий (принцип Ле Шателье — Брауна), в том числе и последствий человеческой деятельности.

Экосистемы, существующие на протяжении сотен и тысяч лет, например тропические дождевые леса, не являются законсервированными образованиями, для них характерно состояние подвижного равновесия. Лучше всего это демонстрируют суточные, сезонные и многолетние изменения в сообществах, примерами которых являются движения растений, опадание листвы, миграции животных и др.

Во влажных тропических лесах поражает крайнее разнообразие видового состава растительного и животного мира, что, в случае исчезновения одного вида, позволяет занять его место виду-дублеру, который может относиться даже к другой систематической группе, поэтому пищевые цепи в такой экосистеме практически не нарушаются, если воздействия не слишком сильны. Отсутствие же экологического дублирования приводит к разрыву трофических цепей, дисбалансу биотического и абиотического компонентов, и, в конечном итоге, к смене биогеоценоза.

Численность особей в каждой популяции, образующей данное сообщество, невелика и не подвержена существенным колебаниям, что свидетельствует о саморегуляции, которая достигается как за счет внутривидовой конкуренции (территориального поведения и брачных структур), так и в результате межвидовой борьбы (взаимоотношений хищник — жертва паразитизма и т. д.).

Основные продуценты данного биогеоценоза — растения — занимают различные ярусы, что позволяет им максимально эффективно использовать солнечный свет, поэтому тропические леса отличаются высокой продуктивностью. Однако накопления органических остатков в тропических влажных лесах не происходит вследствие быстрой их деструкции редуцентами. Стабильность трофической структуры сообщества, при которой пастбищные цепи не сменяются цепями выедания, является дополнительным фактором устойчивости данной экосистемы.

Не менее существенным для сохранения биогеоценоза является отсутствие резких колебаний климатических факторов на протяжении длительного времени, таких, как глобальное потепление или оледенение.

Таким образом, устойчивость экосистемы обеспечивается видовым разнообразием растительного и животного мира, способностью к саморегуляции численности компонентов всего биоценоза путем ограничения числа особей в популяциях, высокой первичной продуктивностью, отсутствием неиспользованных органических остатков, а также стабильностью климатических факторов.

Тем не менее сообщества непрерывно изменяются: менее устойчивое сообщество сменяется более устойчивым. Причины этих изменений могут лежать как вне сообщества (климатические флуктуации, антропогенные трансформации), так и внутри них (снижение видового разнообразия, нарушение саморегуляции, накопление в среде отмерших органических остатков). Временные масштабы изменений широко варьируют. Если внешние факторы остаются относительно стабильными, то сообщество будет развиваться от так называемого пионерного состояния (на голом грунте или в безжизненном водоеме) к зрелому, или климаксному.

Экосистема развивается закономерно, эти изменения связаны с изменениями во времени видовой структуры и протекающих в сообществе процессов. Зачастую они контролируются самим сообществом, поскольку среда обитания активно изменяется под действием сообщества. Таким образом, именно само сообщество устанавливает границы, в которых будет происходить изменение.

Сукцессия — это смена во времени одних биогеоценозов другими на определенном участке земной поверхности.

Последовательность сменяющих друг друга на одной территории экосистем называют *сукцессионным рядом*, или *серией биогеоценозов*. На неизмененных еще деятельностью живых существ территориях первыми поселяются бактерии и водоросли, которые создают органическое вещество. Вслед за ними новое место обживают лишайники, разрушающие своими выделениями (органическими кислотами) даже камни и способствующие процессам почвообразования. Эта стадия развития экосистемы называется *пионерным* (начальным) *сообществом*.

Затем могут появиться однолетние травянистые растения, которые сменяются многолетними, а потом — кустарниками и деревьями. Недолговечные деревья впоследствии вытесняются более долгоживущими. Такие промежуточные сообщества именуются *временными*.

Достигнутое в ходе последовательной смены стадий развития сообщества большее или меньшее равновесие обозначает формирование *климаксного* (коренного, конечного, зрелого) *сообще-*

ства. Климаксное сообщество считается самым сложным, неоднородным и продуктивным из всех устойчиво существующих в данных почвенно-климатических условиях. Его состояние может слегка изменяться в течение суток, в разные сезоны года, в многолетней перспективе, но в принципе сообщество остается стабильным, если не испытывает катастрофических по силе внешних воздействий типа извержения вулкана, пожара (рис. 7.6) или интенсивного сведения лесов человеком. При сильном же вмешательстве от сообщества останутся лишь случайно выжившие организмы и отмершее органическое вещество, и начнется новая череда изменений, ведущая к восстановлению климакса. Однако и климаксное сообщество является не вечным, поскольку резкие изменения условий среды могут привести к его смене другим, более приспособленным.

В зависимости от условий ее протекания, различают первичную и вторичную сукцессии.

Первичная сукцессия — это процесс смены сообществ на прежде не обжитых территориях, например, на песчаных дюнах, на берегах озера или моря, на потоках лавы или безжизненных скалах, обнажившихся в процессе подъема участков суши, как это было описано выше. 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.

Рис. 7.6. Схема хода послепожарной сукцессии в сибирской кедрово-пихтовой тайге

Вторичная сукцессия происходит на тех местах, где предыдущее сообщество было уничтожено какими-либо сильнодействующими факторами, но почва и органическое вещество сохранились. Например, в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, откуда были отселены люди, на полях происходит вторичная сукцессия. Вначале их заняли однолетние сорные растения, которые быстро были вытеснены однолетними и многолетними злаками и сложноцветными, но уже через несколько лет среди них поднялись молодые березки, осинки и сосенки, которые со временем сменятся елями или дубами. Вторичные сукцессии чаще всего направлены на восстановление климаксного сообщества, однако, например, во влажных тропических лесах это невозможно.

Сукцессия вызывается природными (стихийными) или антропогенными факторами. Природными факторами являются массовое размножение животных, например леммингов в тундре, быстрое распространение растений, чаще всего завезенных из других мест, природными катастрофами (пожарами, ветрами, паводками) и др.

Биологическое разнообразие, саморегуляция и круговорот веществ — основа устойчивого развития экосистем. Причины устойчивости и смены экосистем

Изучение устойчивых естественных экосистем показывает, что все группы организмов в них (продуценты, консументы и редуценты) тесно взаимодействуют между собой, согласуя потоки вещества и энергии. Их совместное функционирование не только поддерживает структуру и целостность экосистемы, но и оказывает существенное влияние на абиотические компоненты биотопа. Особенно хорошо это проявляется в водных экосистемах, где существуют группы организмов-фильтраторов, как небольшой рачок эпишура в оз. Байкал, обеспечивающий очищение его вод.

Разнообразие условий в пределах экосистемы, характерное для естественных биогеоценозов, как правило, обусловливает большее видовое разнообразие сообщества. При этом чем больше видов содержит экосистема, тем меньше особей насчитывают соответствующие видовые популяции. Как уже упоминалось выше, в биоценозах тропических лесов при большом видовом разнообра-

зии популяции относительно малочисленны. Напротив, в системах с малым видовым разнообразием (биоценозы пустынь, сухих степей, тундры) некоторые популяции достигают большой численности.

Богатство флоры, фауны и микромира экосистемы расширяет возможности саморегуляции численности отдельных популяций в биогеоценозе, поскольку исчезнувший вид замещается видом, имеющим сходную экологическую нишу. Вид-дублер обычно менее специализирован, однако более адаптивен. Так, копытных в степи замещают грызуны; на мелководных озерах и болотах аистов и цапель замещают кулики и т. п. При этом решающую роль играет не систематическое положение, а близость экологических функций организмов. Вместе с тем увеличение численности особей одной из популяций сопровождается усилением внутривидовой и межвидовой борьбы.

Однако биогеоценозы, характеризующиеся изобилием видов, не являются застывшими системами, так как уже давно подсчитано, что исчезновение одного вида растений влечет за собой гибель десяти видов животных, связанных с ним, поэтому экосистема, утратившая несколько видов, не является прежней, а переходит в новое равновесное состояние.

Экосистемы с малым видовым разнообразием подвержены большим колебаниям численности доминирующих видов, как это происходит в тундрах и пустынях, и в особенности в эксплуатируемых человеком агробиогеоценозах с монокультурами. Такая неустойчивость является следствием простоты пищевых цепей и ограниченных возможностей саморегуляции.

Тем не менее и тундры, и пустыни в отсутствие интенсивной антропогенной нагрузки способны к длительному существованию, тогда как агроэкосистемы полностью деградируют без вмешательства человека. Одной из главных причин неустойчивости агроэкосистем является разрывание человеком естественных потоков веществ и энергии, поскольку часть энергии он вносит в биогеоценоз с удобрениями, а значительную часть органических веществ изымает для своих нужд. В тропических же лесах большая часть биогенных элементов находится в живых организмах, и они тут же включаются в круговорот вновь благодаря деятельности редуцентов.

Постоянство важнейших экологических параметров часто обозначают как *гомеостаз экосистемы*. Устойчивость экосистемы, как правило, тем больше, чем больше ее размеры и чем богаче и разнообразнее ее видовой и популяционный состав, чем выше способность к саморегуляции, и чем более полон круговорот веществ в ней. Стремясь к поддержанию гомеостаза, экосистемы тем не менее способны к изменениям, развитию, к переходу от более простых к более сложным формам.

Изменения в экосистемах под влиянием деятельности человека

Хозяйственная деятельность человека является одним из наиболее существенных факторов воздействия на экосистемы. Она оказывала давление на экосистемы в течение продолжительного времени, однако только в последние два века последствия этой деятельности стали катастрофическими, вследствие чего на Земле практически не осталось девственных территорий.

Изменения в экосистемах под действием человеческой деятельности происходят намного быстрее, чем под действием других факторов, иногда они являются вообще катастрофическими, как вырубка лесов, распашка земель, возведение плотин и создание водохранилищ, осушение болот и т. д.

Однако даже не такие резкие воздействия приводят к далеко идущим последствиям. Например, на лугах, где производится регулярный выпас скота, из-за вытаптывания, выедания отдельных видов растений и накопления экскрементов происходит вытеснение одними видами растений и животных других, и ранее цветущий луг становится малоценным по своим качествам.

Завоз единственного чужого вида на территорию может привести к экологической катастрофе. Так, вследствие завоза коз в начале XVI века на о. Св. Елены сохранился единственный в мире экземпляр растения *Trochetia erytroxylon*, не говоря уже о кроликах и кактусах в Австралии, серой крысе в Европе и т. д.

Даже простая прогулка по лесу приводит к изменению среды, так как повреждаются растения травяного яруса и подрост, исчезают собираемые грибы, ягоды и красивоцветущие растения, вытаптывание сопровождается уплотнением почвы и нарушением роста корней и корневищ, а лесные растения вытесняются луговыми.

Агроэкосистемы, их основные отличия от природных экосистем

В отличие от естественных экосистем — лесов, лугов, озер, рек, болот, биогеоценозы, созданные человеком, называются *искусственными*, как, например, парки, лесозащитные полосы, водохранилища, пруды и др. К ним относятся и *агробиогеоценозы*, или *агроэкосистемы* — созданные для получения сельскохозяйственной продукции и искусственно поддерживаемые человеком экосистемы. В качестве агроценозов рассматриваются в основном поля, огороды, сады, пастбища, а иногда к ним относят парки, пруды и т. д. Агроэкосистемами занято около 10 % поверхности суши, при этом всего шесть видов растений, возделываемых на них, составляют 80 % рациона питания человечества.

Как и в естественных экосистемах, в них существуют продуценты, консументы и редуценты. Продуцентами в агроэкосистемах являются растения, интересующие человека с точки зрения его хозяйственных потребностей (пшеница, картофель, соя, лен и др.), консументами — насекомые, птицы, зайцы, лисы и др., а редуцентами — грибы и бактерии. Таким образом, как и естественные экосистемы, агробиогеоценозы характеризуются видовым разнообразием и имеют выраженную трофическую структуру.

Наряду с общими чертами, агроэкосистемы имеют и ряд отличий от естественных экосистем, поскольку чаще всего на полях культивируется только один вид растений, что обусловливает гораздо меньшее видовое разнообразие и остальных групп организмов. Кроме солнечной энергии, агробиогеоценозы используют и энергию, вносимую человеком в виде удобрений, но человек также изымает часть органического вещества, и поэтому процессы аккумуляции преобладают над минерализацией.

Регуляция данного типа биогеоценоза также является прерогативой человека, который не только борется с сорняками и вредителями, но и производит мелиорационные работы, вносит удобрения для повышения урожайности, заменяет сорта и виды растений, выращиваемые на одном и том же месте и т. д., создавая наиболее благоприятные условия только для интересующего его вида растений.

В целом агроэкосистемы неустойчивы и не могут существовать без вмешательства человека, так как в процессе селекции культурных растений устойчивость к действию факторов среды была принесена в жертву урожайности, а результатом малого видового разнообразия являются отсутствие дублирования экологических ниш и хрупкость пищевых сетей. Поэтому растения агроценозов в случае выведения этих земель из сельскохозяйственного оборота будут быстро вытеснены сорняками, и на заброшенных пахотных землях будет наблюдаться вторичная сукцессия.

7.4. Биосфера — глобальная экосистема. Учение В. И. Вернадского о биосфере. Живое вещество, его функции. Особенности распределения биомассы на Земле. Биологический круговорот и превращение энергии в биосфере, роль в нем организмов разных царств. Эволюция биосферы

Биосфера — глобальная экосистема

Биосфера — область существования и жизнедеятельности ныне живущих организмов, которая пронизывает нижние слои атмосферы, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы.

Помимо среды обитания, в понятие биосферы включается и вся совокупность живых организмов, населяющих ее и обеспечивающих ее функционирование. Биосферу можно рассматривать и как многоуровневую систему элементарных экосистем — биогеоценозов.

Распространение жизни в географических оболочках Земли зависит от ряда факторов. Так, в атмосфере нарастание силы земного тяготения по мере приближения к Земле и ослабление космического излучения озоновым экраном обусловливает наличие условий, пригодных для жизни, в пределах 20 км над уровнем моря. В гидросфере живые существа обнаружены до глубин 11 км и более (Марианская впадина). В литосфере же они проникают на глубину 5–6 км (в среднем до 2–3 км).

Способность биосферы как открытой системы, зависящей от поступления энергии извне, обеспечивать улавливание и прохождение потока энергии, а также круговорот веществ на планете делает ее глобальной экосистемой.

Большие круговороты веществ на уровне биосферы, являющиеся совокупностью малых круговоротов и представляющие собой совокупность путей перемещения веществ через живые организмы и среду их обитания, называются *биогеохимическими циклами*. Биогеохимические циклы гораздо более замкнуты, нежели малые круговороты на уровне биогеоценозов. Неполная замкнутость биогеохимических циклов (95–98 %) сыграла огромную роль в накоплении биогенных элементов в земной коре.

Стадии различных биогеохимических циклов протекают с неодинаковой скоростью, да и полного повторения каждого цикла добиться невозможно, поскольку вся природа постоянно находится в процессе изменения. Тем не менее все биогеохимические циклы в природе взаимосвязаны и обеспечивают существование жизни.

Биогеохимические циклы напоминают колеса водяной мельницы, которые под действием потока энергии Солнца обеспечивают перемещение, видоизменение и перераспределение энергии и веществ в биосфере. Сам термин «биогеохимический цикл» был введен в начале XX века В. И. Вернадским.

«Лопатками» на «колесах» биогеохимических циклов служат различные экологические группы организмов — продуценты, консументы и редуценты, от соотношения которых в биосфере зависит как улавливание солнечной энергии, так и полнота оборота веществ. Для обеспечения устойчивого потока энергии и круговорота веществ в биосфере необходимы не только видовое разнообразие организмов, но и саморегуляция этой глобальной экосистемы благодаря существованию многочисленных прямых и обратных связей.

Термин «биосфера» в значении «зоны жизни» и внешней оболочки Земли впервые был употреблен Ж. Б. Ламарком в 1802 году, однако его трактовку, близкую к современной, предложил в 1875 году австрийский ученый Э. Зюсс.

Учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере

Разработка учения о биосфере как сложной многокомпонентной планетарной системе связанных между собой значительных биологических комплексов, а также химических и геологических процессов, происходящих на Земле, — заслуга великого русского ученого В. И. Вернадского (1864–1945). В отличие от других сфер Земли, в пределах биосферы мощнейшим геологическим фактором, преобразующим глобальную экосистему, выступают живые организмы, обеспечивающие направленный поток энергии и функционирование биогеохимических циклов.

Согласно теории В. И. Вернадского, биосфера состоит из четырех компонентов: живого, биогенного, биокосного и косного веществ.

Живое вещество является совокупностью ныне живущих организмов.

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).

Косное вещество представлено различными абиотическими компонентами, не затронутыми прямым биогеохимическим воздействием организмов (горные породы, минералы, осадки и др.).

Несмотря на то что человечество является частью биосферы, в последние два века оно стало не менее мощным геологическим фактором, нежели все остальное живое вещество. В связи с этим французский философ Э. Леруа в 1927 году ввел термин «ноосфера» в значении уже существующего «мыслящего пласта». Однако, согласно учению о ноосфере, также разработанному В. И. Вернадским, *ноосфера* — это высший этап развития земной природы, результата 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. Согласно В. И. Вернадскому, главная цель в построении ноосферы заключается в неизменности того типа биосферы, в которой возник и может существовать человек как вид, сохраняя свое здоровье и образ жизни.

Эпохе ноосферы должна предшествовать глубокая социально-экономическая реорганизация общества, изменение его ценностной ориентации. К идее ноосферы примыкают соображения В. И. Вернадского о возможности в будущем достижения человеком состояния автотрофности как средства независимости от органических ресурсов.

Несмотря на то что многие авторы не относят ноосферу в будущее, а считают ее совсем близкой или уже формирующейся, если принять во внимание все еще продолжающуюся разрушительную хозяйственную деятельность человека, то ноосфера является гипотетической стадией развития биосферы, когда в будущем разумная деятельность людей станет главным определяющим фактором ее устойчивого развития.

Гармония антропогенной деятельности человека и природы возможна только при осуществлении контроля численности человечества, ограничении чрезмерных потребностей людей, рационализации использования природных ресурсов, использовании только экологически целесообразных промышленных технологий с максимальной переработкой и применением вторичных материальных и технологических ресурсов, осуществлении глобального экологического мониторинга окружающей природной среды и др.

Живое вещество, его функции

Совокупность всех живых организмов планеты образует биомассу, или живое вещество Земли. Его сухая масса оценивается приблизительно в $1{,}8–2{,}5 \cdot 10^{12}$ т. Это кажущееся невероятным количество на самом деле составляет всего лишь 0,01 % массы земной коры, однако еще В. И. Вер-

надский отмечал, что на земной поверхности нет иной химической силы, которая бы действовала более постоянно, а поэтому и более могущественной по своим конечным результатам, чем живое вещество.

И действительно, роль живых организмов в процессах, происходящих на планете, огромна. Хорошо известно, что весь кислород в атмосфере имеет биогенное происхождение, панцири отмерших морских и пресноводных одноклеточных образовали в течение миллионов лет такие осадочные породы, как известняки и диатомит, а без бактерий, грибов, водорослей и почвенных одноклеточных невозможно формирование плодородного слоя почвы. Живое вещество ежегодно воспроизводит около 10 % биомассы, а это $232{,}5 \times 10^9$ т сухого органического вещества, при этом в фотосинтез вовлекается 46×10^9 т углерода, для чего они пропускают через себя 170×10^9 т диоксида углерода и 68×10^9 т воды. Кроме того, в процесс вовлекается 6×10^9 т азота, 2×10^9 т фосфора в год, а также тысячи тонн калия, кальция, магния, серы, железа и других химических элементов.

Изучение деятельности живого вещества позволило В. И. Вернадскому выделить девять выполняемых им биогеохимических функций, в настоящее время к ним относят энергетическую, газовую, окислительно-восстановительную, концентрационную, деструктивную, средообразующую и др.

Энергетическая — 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 — 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 — 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 и различных руд.

Концентрационная — 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 — 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 — обусловлена преобразованием состава окружающей среды в процессе жизнедеятельности биомассы, например, формированием состава атмосферы, накоплением солей в гидросфере, почвообразованием и регуляцией климатических изменений.

Особенности распределения биомассы на Земле

Несмотря на то что живые организмы встречаются в биосфере повсеместно, как уже упоминалось выше, их распределение в пространстве является отнюдь не равномерным: подавляющая часть жизни сосредоточена в основном на суше, тогда как биомасса океана составляет около 0,13 %, не говоря уже об атмосфере.

Более 99 % биомассы организмов суши составляют продуценты (в основном растения), тогда как на долю консументов и редуцентов приходится менее 1 % (животные и микроорганизмы соответственно). Продуценты суши, как по систематической принадлежности, так и по биомассе, в большинстве своем относятся к высшим растениям, тогда как в океане это в основном мелкие одноклеточные водоросли. Однако и на суше они встречаются не равномерно: наибольшие видовое разнообразие, биомасса и продуктивность характерны для тропических влажных лесов и болот, тогда как пустыни практически безжизненны.

В океане наблюдается иная картина: на долю растений приходится около 6 %, а животные, бактерии и грибы составляют свыше 93 %. Такая пропорция продуцентов, консументов и редуцентов обусловливает и низкую продуктивность открытого океана, просторы которого можно считать полупустынными. Тем не менее, именно океан является основным поставщиком первичной продукции на планете благодаря его огромной протяженности и тому, что значительная часть энергии, запасенной продуцентами в виде химических связей органических веществ, не расходуется на процессы жизнедеятельности, а оседает на дно.

Биологический круговорот и превращение энергии в биосфере, роль в нем организмов разных царств

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 данные 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 фиксируется 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 этих двух 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 гидрокарбонатанионов, и может образовывать нерастворимый карбонат кальция, который входит в состав скелетов мно-

гих 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 выделяются 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, и 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.

В настоящее время человек является 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.

Эволюция биосферы

Биосфера, как и любая другая экосистема, не является застывшей, так, в девонском периоде в атмосфере имелось до 30 % кислорода, а в настоящее время — до 21 %, кроме того, за последние 50 лет содержание углекислого газа в ней под влиянием хозяйственной деятельности человека возросло на 10 %. Само формирование и историческое развитие биосферы тесно связаны с возникновением и эволюцией жизни на планете.

На первом этапе эволюции биосферы ведущую роль в ней играли физико-химические процессы, связанные с образованием Земли из протопланетного облака, ее разогревом, миграцией атомов и разделением литосферы на мантию и ядро, возникновением гидросферы, а также формированием вторичной атмосферы из метана, углекислого газа, водяных паров и аммиака, что создавало предпосылки для абиогенного возникновения жизни.

В дальнейшем именно живое вещество оказало огромное влияние на эволюцию биосферы, которое заключалось в изменении состава атмосферы и его поддержании (возникновении кислорода, снижении концентрации углекислого газа, метана и др.), в регуляции состава морских и пресных вод, во влиянии на климат и плодородие почв, а также на процессы формирования осадочных и разрушения горных пород. Это было обусловлено возникновением уже на первых этапах развития жизни автотрофных и гетеротрофных организмов, обеспечивших круговорот веществ и поток энергии на планете. Несмотря на то, что естественные геологические и климатические изменения на планете также продолжают играть немаловажную роль в процессах, происходящих на планете, именно живое вещество выступает ведущим геохимическим фактором.

Эволюция органического мира неизбежно сопровождалась возникновением одних, более приспособленных к среде обитания систематических групп организмов, и вымиранием других, однако при этом в биосфере в целом поддерживается приблизительно одинаковое соотношение продуцентов, консументов и редуцентов, обеспечивающих устойчивое развитие биосферы.

На современном этапе эволюции биосферы огромную роль, сравнимую с деятельностью живого вещества, играет третий фактор — человеческое общество, хозяйственная деятельность которого уже привела к нарушению экологического равновесия и грозит полным разрушением биосферы.

7.5. Глобальные изменения в биосфере, вызванные деятельностью человека (нарушение озонового экрана, кислотные дожди, парниковый эффект и др.). Проблемы устойчивого развития биосферы. Правила поведения в природной среде

Глобальные изменения в биосфере, вызванные деятельностью человека (нарушение озонового экрана, кислотные дожди, парниковый эффект и др.)

Эволюция человека и развитие человеческого общества достаточно длительное время не оказывали существенного влияния на биосферу, однако уже 20–30 тыс. лет назад началось интенсивное истребление крупных травоядных животных, а 10–12 тыс. лет назад — сведение лесов, обусловленное подсечной системой земледелия. Впоследствии в некоторых районах планеты вместе с изменениями климата это привело к эрозии почв и опустыниванию. Тем не менее только в последние два столетия резкий рост населения и качественный скачок в развитии науки и производства привели к сильнейшей нагрузке на природу, возникновению *антропоценозов*.

Хозяйственная деятельность человека, ставившая перед собой благую цель удовлетворить его самые основные потребности в пище и более или менее комфортной среде обитания, первоначально затрагивала лишь поверхность суши (вырубка лесов, распашка земель, прокладка дорог), а затем распространилась и вглубь литосферы (добыча полезных ископаемых), затронула атмосферу (сжигание топлива, выбросы промышленных предприятий и автомобилей) и гидросферу (бытовые и промышленные стоки, осушение болот, сооружение плотин). Негативные последствия этой деятельности длительное время нивелировались благодаря буферным свойствам биосферы, однако возрастающая антропогенная нагрузка, связанная с загрязнением воздуха, воды и земли вызвала, возможно, уже необратимые изменения в соответствующих оболочках планеты. Несмотря на то что загрязнение происходит во многих местах по всему земному шару, их последствия не остаются локальными, а суммируются и приобретают глобальные масштабы.

Парниковый эффект. Ускорение минерализации гумуса почв на распаханных территориях, выбросы в атмосферу продуктов сгорания топлива, в особенности углекислого газа и метана, а также широко применяемого в холодильниках, кондиционерах и распылителях фреона привели не только к их накоплению, но и к задержке ими инфракрасного излучения земной поверхности, ведущей к разогреву биосферы. Считается, что наблюдаемый при этом *парниковый эффект* является основной причиной *глобального потепления*, которое сопровождается увеличением числа жарких дней в году, снижением количества осадков и засухами в основных сельскохозяйственных районах, таянием ледников и подъемом вод Мирового океана, а также различными катаклизмами, в частности ураганами, штормами и т. д. Ряд ученых объясняет глобальное потепление в большей степени цикличностью процессов изменения температуры на планете, т. е. тем, что мы живем в настоящее время в межледниковый период.

Нарушение озонового экрана. Фреон и оксид азота (II) считают также основными факторами ослабления озонового слоя и возникновения «озоновых дыр» над Антарктидой, Арктикой и Скандинавией. Несмотря на то, что озон образуется в атмосфере постоянно под действием электрических разрядов высокой мощности, и мы ощущаем его запах после грозы, озоновый экран формировался в течение миллионов лет, и только завершение этого процесса серьезно уменьшило поступление губительного для всего живого ультрафиолетового излучения на планету и позволило организмам выйти на сушу. Нарушение озонового слоя в настоящее время считается главной причиной тревожной статистики заболеваемости раком кожи во многих странах мира, и поэтому повсеместно ставится вопрос о вреде длительного воздействия солнечных лучей и соляриев.

Решить две вышеупомянутые насущные проблемы человечества призван ряд международных договоров, в том числе Монреальский (1987) и Киотский (1997) протоколы, предусматривающие ограничение использования фреонов, а также выбросов парниковых газов в атмосферу.

Кислотные дожди. К середине 70-х годов XX века в Скандинавии, Великобритании, а также в ряде районов Северной Америки было обнаружено, что дождевая вода вместо нейтральной реакции имеет кислую (pH < 7,0). В первую очередь выпадение кислотных дождей стало причиной нарушений в пресноводных экосистемах, где начала исчезать не только рыба, но и лягушки, тритоны и другие животные. Несмотря на то, что последствия таких осадков для растительности установить трудно, считается, что они являются причиной деградации лесов, а также разъедания строительных конструкций, эрозии почв и т. д. Причиной выпадения кислотных дождей является загрязнение воздушной среды оксидами серы и азота, которые реагируют с атмосферной влагой с образованием серной и азотной кислот. Оксиды серы и азота попадают в атмосферу в результате сгорания топлива, содержащего даже небольшие количества этих химических элементов.

Смог. Выброс различных газов и твердых частичек в атмосферу приводит также к образованию *смога*, характерного в настоящее время для промышленных районов государств (например, Китая), переживающих экономический бум. Смог является причиной роста числа заболеваний дыхательной системы.

Загрязнение водоемов. Интенсивная эксплуатация водных ресурсов связана не только с выловом рыбы, добычей морепродуктов и культивированием жемчуга, поскольку человечество нуждается в питьевой и технической воде. Изменение водного баланса на планете вследствие вырубки лесов, строительства плотин и осушения болот, а также загрязнение вод в первую очередь коснулось континентальных пресных водоемов, однако последствия этой деятельности ощущаются и в морях, как, например, в случае с пестицидом ДДТ, который применялся на полях, но был обнаружен и в тканях рыб и млекопитающих Северного Ледовитого океана. Загрязнение рек и стоячих водоемов бытовыми и промышленными стоками, в том числе радиоактивными отходами, привело к серьезному нарушению видового разнообразия данных экосистем, однако вовремя принятые в ряде стран меры способствовали их очистке и восстановлению природных популяций. Нерациональное использование подземных вод вызвало в некоторых регионах истощение природных ресурсов и проседание почв на огромных территориях. В настоящее время считается, что в мире более 1 млрд человек не имеет доступа к качественной питьевой воде, и такое положение продолжает усугубляться, поэтому водные ресурсы нуждаются в особой охране.

Сведение лесов. Леса издавна считаются легкими планеты, поскольку в процессе фотосинтеза в них образуется значительная часть атмосферного кислорода. Кроме того, они принимают активное участие в поддержании водного баланса планеты, сохранении почв, видового разнообразия и т. д. Несмотря на это, леса по всей планете продолжают вырубаться с ужасающей скоростью, особенно в тропических регионах, для нужд строительной, мебельной, химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности. Последствиями такой хищнической эксплуатации природных ресурсов, которые становятся все более заметными в последнее время, являются обмеление рек, наводнения, исчезновение многих видов растений и животных, деградация почв, рост концентрации углекислого газа в атмосфере и изменение климата в целом.

Эрозия почв и опустынивание. Почвенное плодородие, которое интересует человечество в первую очередь, зависит от толщины слоя гумуса, накапливаемого в течение тысячелетий благодаря деятельности миллионов организмов. Наиболее плодородными почвами считаются черноземы, их во время Великой Отечественной войны даже вывозили в Германию с территории нашей страны немецко-фашистские захватчики. Однако в послевоенный период почвенное плодородие начало неуклонно снижаться вследствие эрозии. *Эрозией* называется разрушение верхнего плодородного слоя почвы вследствие его смывания водами и сноса ветрами. Эрозия, уплотнение почв сельскохозяйственной техникой, засоление, загрязнение, вырубка лесов, интенсивный выпас на пастбищах и другие воздействия ведут к деградации почв, и в конечном итоге к опустыниванию, как это произошло в колыбели человеческой цивилизации — Месопотамии и Северной Африке.

Не менее значительными последствиями хозяйственной деятельности человека являются истощение энергетических ресурсов, вымирание видов растений и животных и т. д.

Человек долгое время усиливал власть над природой, развивал технический потенциал, увеличивал эксплуатацию природных ресурсов, однако в дальнейшем этот процесс может привести

лишь к катастрофическому разрушению природной среды с последующим снижением качества жизни. Единственно возможным шагом в направлении перехода биосферы в ноосферу является осознание и провозглашение необходимости перехода мирового сообщества на позиции устойчивого развития.

Проблемы устойчивого развития биосферы

В послевоенное время последствия хозяйственной деятельности человечества приобрели настолько угрожающие масштабы, что было доказано: устранение возникших противоречий между антропогенной нагрузкой и буферными возможностями биосферы, а также дальнейшее улучшение качества жизни людей возможны только в рамках стабильного социально-экономического развития, не разрушающего естественный механизм саморегуляции биосферы. Для решения этих проблем был создан целый ряд международных организаций по защите окружающей природной среды, таких как Международный союз по охране природы и природной среды (МСОП), Всемирный фонд охраны дикой природы (WWF), Римский клуб, Международный экологический суд (МЭС), Гринпис, а также было проведено немало представительных конференций. Наиболее значимыми форумами по данной проблематике считаются Конференция ООН по окружающей среде (Стокгольм, 1972) и Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). Результатом работы первой из них явилось создание Программы ООН по окружающей среде и развитию (ЮНЕП), а вторая приняла Декларацию РИО по окружающей среде и развитию, Рамочную конвенцию «Об изменении климата», Конвенцию «О биологическом разнообразии» и Программу действий ООН «Повестка дня на XXI век». Именно в документах последней встречи выдвинутая ранее в докладе ЮНЕП «Наше общее будущее» (1987) теория устойчивого развития составила концептуальную основу принятых решений.

Устойчивое развитие подразумевает такой тип развития, который позволяет обеспечить стабильный экономический рост на долговременной основе, не приводя при этом к дальнейшей деградации окружающей природной среды.

В узком смысле под устойчивым развитием понимается исключительно оптимизация хозяйственной деятельности человека в биосфере, которая, с одной стороны, удовлетворяла бы потребности человечества, а с другой, не усугубляла бы состояния природной среды.

Более широкая трактовка данного термина связывает устойчивое развитие с коренным пересмотром самих принципов функционирования человеческой цивилизации, в том числе решение продовольственной, экономической и других проблем, и переходу биосферы в качественно новое состояние — ноосферу.

Для решения данных проблем необходимо решить четыре основные задачи современности: сохранение уцелевших и восстановление до уровня естественной продуктивности ряда деградировавших экосистем, рационализация потребления, повсеместное внедрение «экологических» технологий и нормализация численности населения.

Поскольку биосфера, являясь регулятором состояния окружающей среды, представляет собой единую систему, то полноценный переход к устойчивому развитию возможен только в масштабах мирового сообщества при эффективном международном сотрудничестве. Большую роль в этом сыграли, помимо упоминавшихся Конференций ООН, 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). Тем не менее особую роль в данном процессе играет ряд стран, одной из которых является Россия, обладающая большими территориями, фактически не затронутыми хозяйственной деятельностью и являющимися резервом устойчивости биосферы в целом.

Российская Федерация активно подключилась к решению глобальных экологических проблем, что выразилось в принятии ряда основополагающих документов, в том числе Концепции

перехода РФ к устойчивому развитию, Государственной стратегии устойчивого развития РФ, Экологической доктрины РФ, Федерального закона «Об охране окружающей среды», которые предусматривают стабилизацию и коренное улучшение состояния окружающей природной среды за счет внедрения экологически оправданных технологий и методов управления, изменения самой структуры экономики, а также личного и общественного потребления. Большое внимание в этих документах уделяется формированию нового, экологического мышления как у подрастающего поколения, так и у экономически активного населения.

Отдельные успехи в деле защиты окружающей среды уже намечаются. В основном они связаны с природоохранной политикой государств и усилиями международного сообщества, устанавливающими стандарты качества окружающей природной среды и предельно допустимые уровни ее загрязнения, такие как «Евро-2», «Евро-4» и др. Большинство рычагов экологической политики лежит все-таки в экономической плоскости и предусматривает недопущение на рынок товаров и услуг, не отвечающих стандартам, введение штрафных санкций, экологических налогов, повышение цен на энергоносители и т. д. Введение же безвредных для состояния окружающей среды технологий, напротив, сопровождается налоговыми льготами. Поэтому в большинстве стран мира промышленные предприятия устанавливают специальные фильтры для снижения вредных выбросов в атмосферу, очищают сточные воды и пытаются сделать производственные циклы замкнутыми и безотходными. Особое значение в настоящее время уделяется получению энергии из возобновляемых источников путем строительства приливных, ветро- и гелиоэлектростанций, а также внедрению энергосберегающих технологий.

Однако эти усилия не могут быть плодотворными без участия каждого человека в отдельности. Поэтому в развитых странах бережное отношение к природе, которое заключается в сортировке бытового мусора, применении упаковки многоразового использования, передвижении на велосипеде и т. д., является элементом общей культуры.

Оценка глобальных экологических проблем и возможных путей их решения

Деятельность человека к концу XX века привела к разрушению более 60 % естественных экосистем суши (при том, что распахано только 10 % территорий), гибнут водные экосистемы, в том числе и морские, что обусловлено нерациональным использованием ресурсов, техногенным загрязнением и глобальным изменением климата. Однако первопричинами такого плачевного состояния биосферы являются демографический взрыв в ряде развивающихся стран и формирование общества потребления в экономически развитых странах.

Дальнейшее промедление в решении экологических проблем уже через 20 лет приведет к повышению температуры на планете на 1–2 °С, вызовет жесткие засухи и затопление на огромных территориях, обречет миллионы людей на смерть от голода и болезней, вызванных в том числе неполноценным питанием, отсутствием качественной питьевой воды и загрязнением природной среды. В конечном итоге уже в ближайшей перспективе возможно полное исчезновение человека как биологического вида вследствие разрушения его среды обитания.

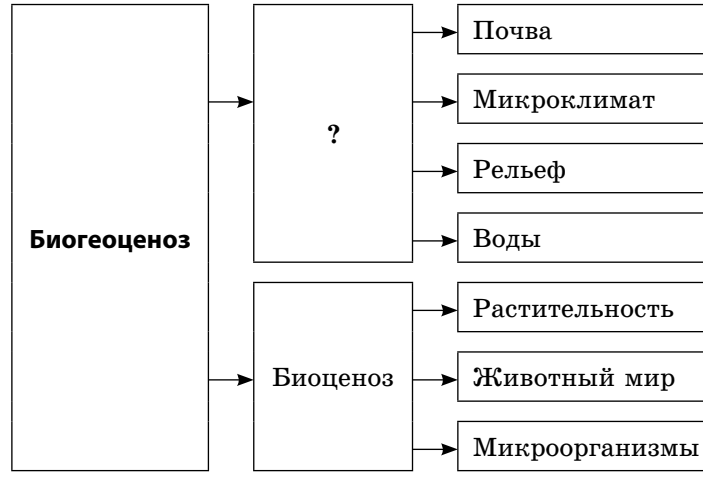
Искусственно поддерживать функционирование биосферы на необходимом уровне человечеству не удастся, поскольку только живое вещество планеты в состоянии обеспечивать и регулировать этот процесс. Главным условием для восстановления нормальной природной среды обитания является восстановление самого живого вещества, прежде всего за счет сохранения видового разнообразия растений, животных, грибов и бактерий. Однако восстановить ее полностью не удастся, во всяком случае в настоящее время, поскольку на это пришлось бы направить все имеющиеся в распоряжении человечества ресурсы. Поэтому экономически и экологически оправданным уровнем является выделение в качестве заповедных территорий около 1/6 части суши. Если для большинства промышленно развитых стран мира эта задача представляется непосильной, то Россия имеет еще огромный запас в виде 65 % почти не тронутых деятельностью человека территорий.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ К РАЗДЕЛУ 7 «ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИСУЩИЕ ИМ ЗАКОНОМЕРНОСТИ»

Часть 1

Ответами к заданиям 1–10 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы.

1 Рассмотрите предложенную схему структуры биогеоценоза. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме знаком вопроса.



Ответ:_____

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Методы мониторинга используют для
1) исследования динамики популяции гренландских китов в Дальневосточных морях
2) изучения экологических связей групп организмов, живших в девонском периоде
3) определения возможных последствий антропогенного загрязнения на упрощенную имитацию экосистемы озера Байкал
4) слежения за состоянием ледников в Арктике
5) описания сообщества организмов школьного приусадебного участка

Ответ: | | |

3 Какой трофический уровень занимают в биогеоценозе самцы малярийного комара? В ответе запишите только **цифру**.

Ответ:_____

4 Все перечисленные ниже признаки, кроме двух, используются для описания изображенной на рисунке экосистемы. Определите два признака, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

1) разветвленные пищевые цепи
2) большое видовое разнообразие
3) низкая первичная продуктивность
4) неустойчивость
5) климаксное сообщество

Ответ: | | |

5 Установите соответствие между примерами взаимоотношений организмов в экосистеме и видами симбиоза, которые они иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ	ВИДЫ СИМБИОЗА
А) питание трюфеля органическими веществами тополя	1) мутуализм
Б) поглощение аскаридой полупереваренной пищи в тонком кишечнике человека	2) паразитизм
В) проникновение гаусторий повилики в побеги клевера	
Г) связывание кислорода, губительного для клубеньковых бактерий, белками корней бобовых	
Д) следование медоеда за медоуказчиком к пчелиному гнезду	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

6 Какая из приведенных в таблице ниже экосистем является **наименее** устойчивой?

Экосистема	Число видов растений	Число видов животных	Продуктивность
А	10	5	20 т/га
Б	20	10	20 т/га
В	1	5	80 т/га
Г	768	1053	100 т/га

В ответе запишите только букву.

Ответ:_____

7 Все приведенные ниже экологические группы организмов, кроме двух, обитают в воде. Определите две группы, «выпадающих» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) перифитон
2) гигрофиты
3) нектон
4) эпилиты
5) бентос

Ответ: ☐☐

8 Установите соответствие между процессами, происходящими в природе, и функциями живого вещества, которые они иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРОЦЕССЫ	ФУНКЦИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА
А) разрушение лишайниками горных пород	1) деструктивная
Б) растворение корнями сосны известняка и поглощение кальция	2) средообразующая
В) выделение растениями кислорода	
Г) самоочищение озера губками и моллюсками	
Д) минерализация опавших листьев дождевым червем	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

9 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

Для экосистемы, изображенной на рисунке, характерны

1) значительное видовое разнообразие
2) незавершенность круговорота веществ
3) значительное преобладание отдельных видов

4) слабая способность к саморегуляции
5) перевернутость пирамид энергии
6) отсутствие биотических связей между организмами различных видов

Ответ: | | | |

10 Установите соответствие между признаками растений и экологическими группами растений, для которых они характерны: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИЗНАКИ	ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ
А) большое количество устьиц на единицу площади поверхности листа	1) Гигрофиты 2) Ксерофиты
Б) опушение листьев	
В) слабое развитие механической ткани	
Г) наличие воздухоносных полостей	
Д) тонкая кутикула	
Е) регуляция водно-солевого режима	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите последовательность расположения организмов в пищевой цепи. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) лягушка
2) филин
3) одуванчик
4) гадюка
5) кузнечик
6) еж

Ответ: | | | | | | |

12 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Примерами первичной сукцессии являются
1) задернение дюн
2) заболачивание луга
3) заселение сорняками заброшенного поля
4) «цветение» озера
5) «черное цветение» песка
6) зарастание ила после паводка

Ответ: | | |

13 Установите соответствие между примерами и экологическими факторами, которые эти примеры иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
А) изменение численности популяции синиц вследствие осенне-зимних холодов	1) абиотические
Б) осушение болот для торфоразработок	2) биотические
В) выталкивание к поверхности воды больных особей дельфинами	3) антропогенные
Г) восстановление ранее исчезнувшей на данной территории популяции зубра	
Д) образование клубеньков на корнях бобовых	
Е) изменение русла реки в результате оползня	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

14 Установите последовательность процессов первичной сукцессии.
Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) смыкание крон древесных растений
2) разрастание лишайников на скальных породах
3) задернение травянистыми растениями
4) появление кустарников и полукустарников
5) формирование мохово-лишайникового сообщества

Ответ:

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых описаны процессы **биогеохимического цикла азота**. Запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

(1) Азот и его соединения играют одну из ключевых ролей в функционировании биосферы. (2) Однако 80 % азота находится в атмосфере в свободном состоянии и не может быть использовано подавляющим большинством организмов непосредственно. (3) Азот связывается клубеньковыми бактериями в виде аммиака и нитритов. (4) Затем другие группы почвенных бактерий окисляют их до нитратов. (6) Нитраты могут накапливаться в почве или использоваться живыми организмами. (6) Растения поглощают и используют азот как в виде аммиака, так и в виде нитратов. (7) Еще одна группа почвенных бактерий восстанавливает нитрат до свободного азота.

Ответ:

16 Установите соответствие между примерами пищевых цепей и их типами: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ТИПЫ ПИЩЕВЫХ ЦЕПЕЙ
А) листовой опад → многоножка → черный дрозд → ястреб-перепелятник	1) пастбищные цепи
Б) дуб → жук-лубоед → дятел → сокол	2) детритные цепи
В) труп животного → личинка падальной мухи → травяная лягушка → уж обыкновенный	
Г) акация → антилопа → гепард	
Д) водоросли → плотва → окунь → налим	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

К искусственным биогеоценозам относят

1) лес
2) поле
3) водохранилище
4) луг
5) пастбище
6) болото

Ответ: | | | |

18 Установите соответствие между примерами и функциональными группами организмов, которые этими примерами иллюстрируются: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ
А) виноградная улитка	1) консументы I порядка
Б) божья коровка	2) консументы II порядка
В) заразиха	
Г) обыкновенный уж	
Д) дафния	

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

19 Установите последовательность расположения растений в ярусах смешанного леса, начиная с нижнего. Запишите в таблицу соответствующую последовательность **цифр**.

1) малина
2) земляника
3) сосна
4) липа
5) лещина

Ответ: | | | | | |

20 Рассмотрите рисунок с изображением камчатского краба и определите экологическую группу, к которой он относится, его способ питания и место в цепях питания биогеоценоза. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин из предложенного списка.

Экологическая группа	Способ питания	Место в цепи питания
_____ (А)	_____ (Б)	_____ (В)

Список терминов:

1) планктон
2) земляника
3) бентос
4) хищник
5) сапротроф
6) консумент I порядка
7) консумент II порядка
8) редуцент

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте таблицу «Колебания численности двух видов инфузорий».

Сутки	Вид 1	Вид 2
1	45	1
2	75	15
3	200	20
4	240	50
5	20	300

Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.

1) оба вида инфузорий — сапротрофы
2) гибель инфузорий обусловлена случайными факторами
3) вид 1 — жертва, вид 2 — хищник
4) скорость роста популяций инфузорий зависит от температуры
5) виды являются звеньями одной пищевой цепи

Запишите в ответе **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

Ответ:_____

Часть 2

Запишите сначала номер задания, а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

22 В пробе питьевой воды количество клеток кишечной палочки, которые образуют бактерии, не должно превышать 50 шт. В чашку Петри с питательной средой залили пробы воды. Сравните изображение чашек Петри с колониями бактерий, выросших на среде с добавлением чистой питьевой воды (рис. А) и с добавлением воды из реки (рис. Б). Объясните наблюдаемое явление. Определите количество бактерий в пробе воды из реки (менее 50, равно 50, более 50).

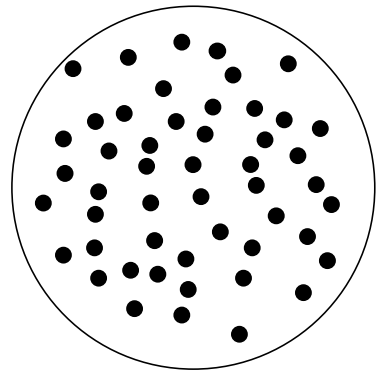


Рис. А

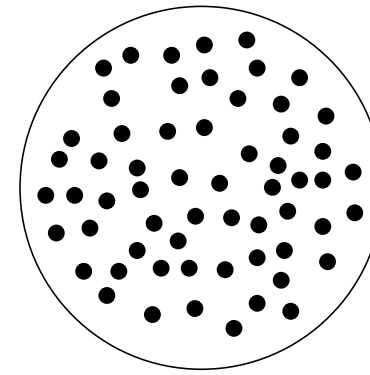


Рис. Б

Ответ:

23 Какие процессы изображены на рисунках А и Б? Назовите биологическую систему, в которой эти процессы происходят. Какие преобразования далее произойдут с системой на рисунке А?

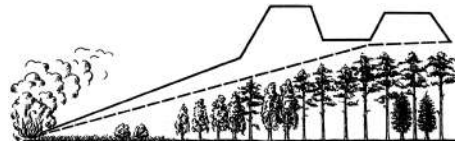


рис. А

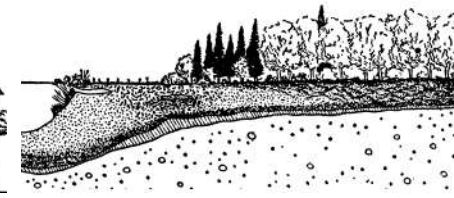


рис. Б

Ответ:

24 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Биосфера — это область существования и жизнедеятельности ныне живущих организмов, которая пронизывает всю атмосферу, всю гидросферу и верхнюю часть литосферы. (2) Компонентами биосферы являются живое, биогенное, биокосное и косное вещество. (3) Живое вещество — это совокупность ныне живущих организмов. (4) Биогенное вещество представляет собой разнообразные неорганические остатки, в том числе и не полностью разложившиеся. (5) Биокосное вещество — это разнообразные смеси биогенных веществ с минеральными породами абиогенного происхождения. (6) К косному веществу относят различные абиотические компоненты, не затронутые прямым биогеохимическим воздействием организмов. (7) Масса живого вещества в биосфере гораздо больше массы косного вещества.

Ответ:

25 В 1840 г. в Германии были проведены эксперименты, в которых использовали растения одного сорта, одинаковые сосуды с песком и измерительные инструменты — линейку и весы. В песок вносили неодинаковое количество минеральных удобрений, а затем постоянно измеряли рост и определяли массу растений. Через некоторое время исследователи обнаружили, что рост и масса растений в разных сосудах изменялись неодинаково. Как изменились рост и масса растений в разных сосудах? Объясните причину. Сформулируйте закономерность, установленную Ю. Либихом.

Ответ:

26 Тропические дождевые леса считаются одними из самых устойчивых экосистем. Укажите не менее трех причин их устойчивости.

Ответ:_____

27 В экосистеме соснового леса обитают ястребы, дятлы и жуки-лубоеды. Составьте пищевую цепь, укажите для каждого из организмов его экологическую функцию и определите массу продуцентов, необходимую для пропитания консумента высшего порядка массой 1,5 кг.

Ответ:_____

28 Используя правило экологической пирамиды, определите площадь акватории моря, на которой может прокормиться морской леопард массой 250 кг (цепь питания: планктон → рыба → пингвин → морской леопард). Продуктивность планктона составляет 500 г/м^2.

Ответ:_____

ОТВЕТЫ К ПРИМЕРАМ ЗАДАНИЙ ЕГЭ

1. БИОЛОГИЯ КАК НАУКА. МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

№ задания	1	2	3	4	5	6
Ответ	Окуляр	25	23	145	235	280
№ задания	**7**	**8**		**9**	**10**	**11**
Ответ	21212	341265		157	24	257

2. КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

№ задания	1	2	3	4	5	6
Ответ	Экзоцитоз	25	192	15	21121	320
№ задания	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	
Ответ	13	12211	145	121221	264315	
№ задания	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	
Ответ	136	211122	32514	345	122121	
№ задания	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**
Ответ	236	122121	42351	246	35	267

3. ОРГАНИЗМ КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

№ задания	1	2	3	4	5	6	7
Ответ	Хромосомные	23	Aa × aa	25	21112	9:3:3:1	35
№ задания	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	
Ответ	11221	126	121122	324615	235	123312	
№ задания	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**
Ответ	45132	456	11221	136	21112	32514	257	24	157

4. СИСТЕМА И МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

№ задания	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	Корень	13	7	24	21212	3700	34	12211
№ задания	**9**	**10**	**11**		**12**	**13**	**14**	**15**
Ответ	145	112122	351246		235	146	34125	136
№ задания	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**
Ответ	21122	235	21221	15324	347	23	146

5. ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ЗДОРОВЬЕ

№ задания	1		2	3	4	5	6	7
Ответ	Мост		13	6	34	11212	4:1:1	15
№ задания	**8**	**9**	**10**	**11**		**12**	**13**	
Ответ	21211	235	11122	653142		135	312213	
№ задания	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**
Ответ	41532	267	11212	136	21121	12435	638	4523

6. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

№ задания	1		2	3	4	5
Ответ	Ароморфоз		34	0,99	14	211221
№ задания	**6**		**7**	**8**	**9**	**10**
Ответ	0,96 или 96%		24	12121	134	221211
№ задания	**11**		**12**	**13**		**14**
Ответ	236154		145	112122		534216
№ задания	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**
Ответ	234	21221	136	12121	21453	526	354523

7. ЭКОСИСТЕМЫ И ПРИСУЩИЕ ИМ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

№ задания	1		2	3	4	5	6	7	8
Ответ	Биотоп		14	2	34	12211	В	24	11221
№ задания	**9**	**10**		**11**		**12**	**13**		**14**
Ответ	234	221112		351462		156	132321		25341
№ задания	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**		
Ответ	347	21211	235	12121	21543	347	35354523		

ТРЕНИРОВОЧНОЕ ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ

ЕГЭ

ТРЕНИРОВОЧНОЕ ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ

Часть 1

Ответами к заданиям 1–21 являются последовательность цифр, число или слово (словосочетание). Запишите ответы в поля ответов в тексте работы, а затем перенесите в БЛАНК ОТВЕТОВ № 1 справа от номеров соответствующих заданий, начиная с первой клеточки, без пробелов, запятых и других дополнительных символов. Каждый символ пишите в отдельной клеточке в соответствии с приведенными в бланке образцами.

1 Рассмотрите предложенную схему строения семязачатка покрытосеменных растений. Запишите в ответе пропущенный термин, обозначенный на схеме вопросительным знаком.

Ответ: _____.

2 Выберите два верных ответа из пяти и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

С помощью электронной микроскопии можно исследовать:

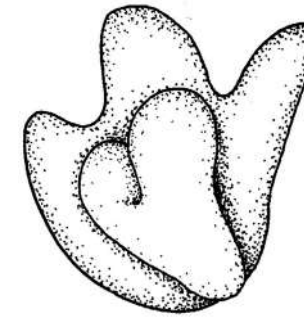
1) строение органоидов
2) осмос через плазмалемму
3) реакции гликолиза
4) морфологию вирусов
5) последовательность нуклеотидов ДНК

Ответ: ☐☐

3 В соматической клетке лягушки содержится 26 хромосом. Сколько молекул ДНК содержится в ее клетке после первого деления мейоза? В ответе запишите только соответствующее число.

Ответ: _____.

4 Все перечисленные ниже признаки, кроме двух, используются для описания изображенного на рисунке органоида эукариотической клетки. Определите два признака, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.



1) наличие мембран
2) наличие субъединиц
3) наличие во всех типах клеток
4) сборка в ядрышке
5) образование в аппарате Гольджи

Ответ: ☐☐

5 Установите соответствие между характеристиками и делениями мейоза: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ДЕЛЕНИЯ МЕЙОЗА
А) однохроматидные хромосомы расходятся к полюсам	1) мейоз I
Б) гомологичные хромосомы обмениваются участками	2) мейоз II
В) образуются четыре клетки	
Г) дочерние клетки имеют генетические формулы $1n1c$	
Д) спаренные хромосомы располагаются по экватору	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

6 Какова вероятность (в процентах) появления рецессивных гомозигот по двум признакам в потомстве от скрещивания дигетерозиготы с рецессивной по двум признакам гомозиготой при условии полного доминирования? В ответе запишите только число.

Ответ: _____.

7 Все приведенные ниже характеристики, кроме двух, используют для описания модификационной изменчивости. Определите две характеристики, «выпадающие» из общего списка, и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

1) имеет групповой характер
2) возникает под воздействием окружающей среды и внутренних факторов
3) изменяется в пределах нормы реакции
4) обусловлена изменением структуры и количества ДНК
5) приобретенные признаки наследуются

Ответ:

8 Установите соответствие между источниками изменчивости и ее формами: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ИСТОЧНИКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ	ФОРМЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ
А) образование новых комбинаций генов при кроссинговере	1) мутационная
Б) утрата участка хромосомы	2) комбинативная
В) независимое расхождение хромосом в анафазах мейоза	
Г) случайное слияние гамет при оплодотворении	
Д) изменение последовательности нуклеотидов в ДНК	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

9 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу **цифры**, под которыми они указаны.

Земноводные, в отличие от пресмыкающихся, имеют:

1) смешанную кровь
2) кожно-легочное дыхание
3) голую влажную кожу
4) головной мозг из пяти отделов
5) мягкое и твердое небо
6) один шейный позвонок

Ответ: | | | |

10 Установите соответствие между характеристиками червей и типами, к которым их относят: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ТИПЫ ЧЕРВЕЙ
А) замкнутая кровеносная система	1) плоские
Б) слепозамкнутая пищеварительная система	2) круглые
В) выделительная система — метанефридии	3) кольчатые
Г) первичная полость тела	
Д) половой диморфизм	
Е) промежутки между органами заполнены паренхимой	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

11 Установите последовательность расположения систематических таксонов растения, начиная с таксона самого низшего ранга. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

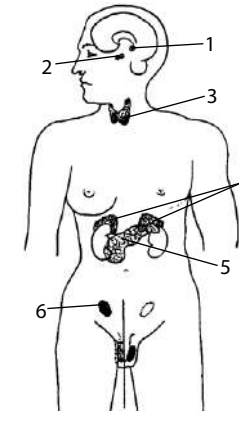
1) Редька
2) Двудольные
3) Покрытосеменные
4) Редька посевная
5) Растения
6) Капустные

Ответ: | | | | | | |

12 Выберите три верно обозначенные подписи к рисунку «Эндокринная система человека». Запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

1) гипофиз
2) эпифиз
3) щитовидная железа
4) надпочечник
5) поджелудочная железа
6) семенник

Ответ: | | |



13 Установите соответствие между функциями и системами органов человека, которые их выполняют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ФУНКЦИИ	СИСТЕМЫ ОРГАНОВ
А) регуляторная	1) кровообращения
Б) дренажная	2) лимфообращения
В) кроветворная	
Г) дыхательная	
Д) механическая	
Е) выделительная	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д	Е

14 Установите последовательность прохождения звуковых колебаний в ухе. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

1) наковальня
2) барабанная перепонка
3) стремечко
4) вестибулярная мембрана
5) перепонка овального окна
6) молоточек

Ответ:

15 Прочитайте текст. Выберите три предложения, в которых даны описания ароморфозов класса Млекопитающие. Запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

(1) Кожа млекопитающих имеет волосяной покров и многочисленные железы, в том числе млечные. (2) Скелет млекопитающих делится на скелет головы, скелет туловища и скелеты конечностей. (3) Шейный отдел позвоночника характеризуется наличием семи позвонков. (4) Кровеносная система млекопитающих замкнутая, имеет два круга кровообращения. (5) Млекопитающие — раздельнополые животные, у самок большинства видов имеется матка. (6) Большая часть млекопитающих является живородящими и выкармливает детенышей молоком.

Ответ:

16 Установите соответствие между примерами и способами видообразования, которые они иллюстрируют: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

ПРИМЕРЫ	СПОСОБЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ
А) обособление нескольких видов вьюрков, обитающих в разных местах и питающихся разной пищей на о. Эспаньола	1) географическое
Б) появление двух видов чайки по побережьям Северного и Балтийского морей	2) экологическое
В) образование люцерны двух видов — обитающего у подножья и в горах Кавказа	
Г) формирование четырех видов двоякодышащих рыб в Южной Америке, Южной Африке и Австралии	
Д) разделение черного дрозда на два подвида, обитающие в глухих лесах и около человеческого жилья в пределах одного ареала	

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

17 Выберите три верных ответа из шести и запишите в таблицу цифры, под которыми они указаны.

К абиотическим факторам можно отнести:

1) распашку степи
2) весенний паводок
3) затенение в дубраве
4) выделение фитонцидов
5) повышение температуры
6) почвенную засуху

Ответ:

18 Установите соответствие между примерами и компонентами биосферы, которые этими примерами иллюстрируются: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.

Запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ПРИМЕРЫ	КОМПОНЕНТЫ БИОСФЕРЫ
А) битуминозные пески	1) биогенное вещество
Б) нефть	2) биоинертное вещество
В) нефтеносные сланцы	
Г) уголь	
Д) торф	

Ответ:

А	Б	В	Г	Д

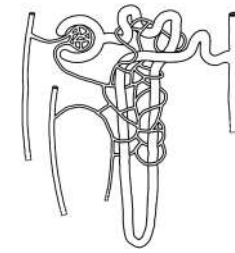
19 Установите последовательность процессов взаимодействия вируса с клеткой хозяина. Запишите в таблицу соответствующую последовательность цифр.

1) слияние мембраны вируса с мембраной клетки
2) адсорбция вируса
3) удаление белков капсида

4) синтез нуклеиновых кислот и белков вируса
5) сборка частиц вируса

Ответ: | | | | | |

20 Рассмотрите рисунок с изображением нефрона. Определите название процесса мочеобразования, переносимые в ходе него вещества и скорость процесса. Заполните пустые ячейки таблицы, используя термины, процессы и числовые значения, приведенные в списке. Для каждой ячейки, обозначенной буквой, выберите соответствующий термин, процесс или числовое значение из предложенного списка.



Процесс мочеобразования	Переносимые вещества	Скорость процесса
_____ (А)	_____ (Б)	_____ (В)

Список терминов и числовых значений:

1) мочевина
2) 3,5–5,5 л/мин
3) крахмал
4) фильтрация
5) 0,7–1,1 мл/мин
6) жиры
7) реабсорбция
8) 105–125 мл/мин

Запишите в таблицу выбранные **цифры** под соответствующими буквами.

Ответ:

А	Б	В

21 Проанализируйте таблицу «Зависимость количества бросков раковин моллюсков от высоты падения». Некоторые вороны поедают моллюсков. Они хватают жертву, взлетают на определенную высоту, а затем выпускают раковину на камни. Если раковина не разбивается при первом ударе, ворона поднимает ее и бросает до тех пор, пока раковина не разобьется.

Зависимость количества бросков раковин моллюсков от высоты падения

Высота падения (м)	Число падений, необходимых для разбивания раковины
1	67
2	46
3	18
4	6
5	5
6	4
12	3

Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных.

1) Число падений, необходимых для разбивания раковины, всегда постоянно.
2) Оптимальная высота падения — 4 м.
3) Чем выше взлетает ворона, тем меньше бросков необходимо для разбивания раковины.
4) Разбивание раковины определяется случайными причинами.
5) Чем крупнее раковина, тем быстрее она разбивается.

Запишите в ответе **цифры**, под которыми указаны выбранные утверждения.

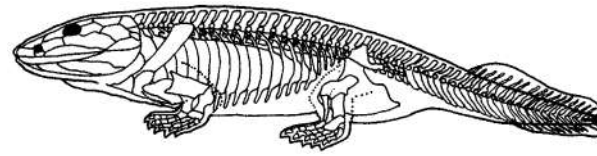
Ответ: _____.

Часть 2

Для записи ответов на задания этой части (22—28) используйте БЛАНК ОТВЕТОВ № 2. Запишите сначала номер задания (22, 23 и т. д.), а затем развернутый ответ на него. Ответы записывайте четко и разборчиво.

22 Установлено, что клетки животного погибают одинаковым способом, распадаясь на несколько частей. Затем эти части фагоцитируются соседними клетками. Какие методы исследования можно использовать в процессе исследования гибели клеток?

23 На рисунке изображена реконструкция ископаемого животного девонского периода — ихтиостега. К каким доказательствам эволюции оно относится? Признаки каких систематических групп оно имеет? Приспособлением к какой среде обитания являются его конечности?



24 Найдите три ошибки в приведенном тексте. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки, исправьте их.

(1) Кишечнополостные — многоклеточные двухслойные животные, обитающие исключительно в пресных водоемах. (2) Для них характерна двухсторонняя симметрия тела, наличие кишечной полости и специфических органов защиты и нападения — стрекательных клеток (отсюда второе название типа — стрекающие). (3) Среди них встречаются как одиночные, так и колониальные организмы, например гидра. (4) Наружный слой тела гидры — эктодерма — образован эпителиально-мускульными, стрекательными, нервными и пищеварительными клетками, а внутренний — энтодерма — эпителиально-мускульными и железистыми. (5) В обоих слоях имеются недифференцированные промежуточные клетки, из которых может образовываться любой тип клеток тела гидры. (6) Между эктодермой и энтодермой залегает хорошо развитое межклеточное вещество — мезоглея.

25 В 1880 г. английский исследователь Чарльз Дарвин провел эксперимент с проростками злака, выращенными в темноте. Верхушки части проростков он предварительно накрывал маленькими колпачками из фольги, а у остальных они оставались свободными. Затем Ч. Дарвин освещал проростки с одной стороны. Через некоторое время он обнаружил изменение положения части проростков в пространстве, при этом

проростки с накрытыми и ненакрытыми фольгой верхушками реагировали на освещение неодинаково.

Как реагировали проростки обеих групп на освещение? Объясните причину. Какое явление открыл Ч. Дарвин?

26 К каким последствиям приведет исчезновение всех грибов в лиственном лесу? Приведите не менее четырех последствий.

27 У здорового и больного человека сравнили последовательность нуклеотидов во фрагменте одного из генов:

Здоровый	...ГГААЦЦТГГГТЦТЦЦААГ...
Больной	...ГГААЦЦТГГАТЦТЦЦААГ...

Установите нуклеотидную последовательность участков мРНК и аминокислотных последовательностей белков, кодируемых данным фрагментом гена. Установите различия во фрагментах гена, мРНК и в белках у здорового и больного человека. Ответ поясните. Для решения задачи используйте таблицу генетического кода.

Генетический код (иРНК)

Первое основание	Второе основание				Второе основание
	У	Ц	А	Г	
У	Фен Фен Лей Лей	Сер Сер Сер Сер	Тир Тир Стоп* СТОП	Цис Цис Стоп Три	У Ц А Г
Ц	Лей Лей Лей Лей	Про Про Про Про	Гис Гис Глн Глн	Арг Арг Арг Арг	У Ц А Г
А	Иле Иле Иле Мет	Тре Тре Тре Тре	Асн Асн Лиз Лиз	Сер Сер Арг Арг	У Ц А Г
Г	Вал Вал Вал Вал	Ала Ала Ала Ала	Асп Асп Глу Глу	Гли Гли Гли Гли	У Ц А Г

Правила пользования таблицей

Первый нуклеотид в триплете берется из левого вертикального ряда; второй — из верхнего горизонтального ряда, а третий — из правого вертикального. Там, где пересекутся линии, идущие от всех трех нуклеотидов, и находится искомая аминокислота.

28 Нормальный слух у человека определяется доминантными неаллельными генами: один из них контролирует формирование слухового нерва (А), а второй — развитие улитки (В). В семье, где мать и отец глухие, родилась дочь с нормальным слухом. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы родителей, вероятность рождения в этой семье больных детей. Какой тип взаимодействия неаллельных генов имеет место в данном случае?

↘ Единый государственный экзамен -

↘ Бланк ответов №1

Заполнять гелевой или капиллярной ручкой ЧЕРНЫМИ чернилами ЗАГЛАВНЫМИ ПЕЧАТНЫМИ БУКВАМИ по следующим образцам:

А Б В Г Д Е Ё Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z , - À Â Ä Ô Ö È É Ê Ë Î Ï Ù Û Ü ß

Регион	Код предмета	Название предмета	С правилами экзамена ознакомлен и согласен Совпадение вариантов в задании и бланке ответов подтверждаю Подпись участника ЕГЭ строго внутри окошка.	Резерв 5

ВНИМАНИЕ! ***Все бланки и листы с контрольными измерительными материалами рассматриваются в комплекте.***

Результаты выполнения заданий с ответом в краткой форме

1		21	
2		22	
3		23	
4		24	
5		25	
6		26	
7		27	
8		28	
9		29	
10		30	
11		31	
12		32	
13		33	
14		34	
15		35	
16		36	
17		37	
18		38	
19		39	
20		40	

Замена ошибочных ответов на задания с ответом в краткой форме

-	-
-	-
-	-

Единый государственный экзамен -

Бланк ответов №2

Регион

Код предмета

Название предмета

Резерв - 8

Дополнительный бланк ответов №2

Лист № 1

Перепишите значение полей «регион», «код предмета», «название предмета» из БЛАНКА РЕГИСТРАЦИИ.
Отвечая на задание , пишите аккуратно и разборчиво, соблюдая разметку страницы.
Не забудьте указать номер задания, на которое Вы отвечаете .
Условия задания переписывать не нужно.

ВНИМАНИЕ! ***Все бланки и листы с контрольными измерительными материалами рассматриваются в комплекте.***

ОТВЕТЫ К ТРЕНИРОВОЧНОМУ ТЕСТУ

№ задания	Ответ	№ задания	Ответ	№ задания	Ответ
1	антиподы	**8**	21221	**15**	156
2	14	**9**	236	**16**	21212
3	26	**10**	313221	**17**	256
4	15	**11**	416235	**18**	21211
5	21221	**12**	345	**19**	21345
6	25	**13**	122111	**20**	418
7	45	**14**	261354	**21**	23

22.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Элементы ответа: 1) световая и электронная микроскопия, центрифугирование; 2) биохимические, молекулярно-биологические методы	
Ответ включает два названных выше элемента и не содержит биологических ошибок	2
Ответ включает только один из названных выше элементов ИЛИ ответ включает два названных выше элемента, но содержит биологические ошибки	1
Ответ включает только один из названных выше элементов и содержит биологические ошибки ИЛИ ответ неправильный	0
Максимальный балл	**2**

23.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Элементы ответа: 1) ихтиостега относится к палеонтологическим доказательствам; 2) ихтиостега имеет признаки рыб и амфибий; 3) конечности ихтиостеги являются приспособлением к наземно-воздушной среде обитания	
Ответ включает все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает два из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает три названных выше элемента, но содержит биологические ошибки	2

Ответ включает только один из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает два из названных выше элементов, но содержит биологические ошибки	1
Ответ включает только один из названных выше элементов и содержит биологические ошибки ИЛИ ответ неправильный	0
Максимальный балл	**2**

24.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Ошибки допущены в предложениях: 1) 1 — кишечнополостные — многоклеточные двухслойные животные, обитающие в основном не в пресных водоемах, а в морях и океанах; 2) 2 — для них характерна не двухсторонняя, а радиальная симметрия тела; 3) 4 — в эктодерме у гидры пищеварительных клеток нет, они находятся в энтодерме и являются разновидностью эпителиально-мускульных клеток	
В ответе указаны и исправлены все ошибки. Ответ не содержит неверной информации	3
В ответе указаны две-три ошибки, исправлены только две из них. За неправильно названные и/или исправленные предложения баллы не снижаются	2
В ответе указаны одна-три ошибки, исправлена только одна из них. За неправильно названные и/или исправленные предложения баллы не снижаются	1
Ответ неправильный: все ошибки определены и исправлены неверно ИЛИ указаны одна-три ошибки, но не исправлена ни одна из них	0
Максимальный балл	**2**

25.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Элементы ответа: 1) проростки без колпачков изгибались по направлению к источнику света, а с колпачками — оставались прямыми или изгибались незначительно; 2) проростки воспринимают свет верхушками, на освещенной стороне клетки растут медленнее, чем на затененной; колпачки не позволяют проросткам воспринимать изменения освещенности и осуществлять ростовые реакции на них; 3) Ч. Дарвин открыл явление фототропизма	
Ответ включает все названные выше элементы	3
Ответ включает любые два из названных выше элементов	2
Ответ включает только один из названных выше элементов	1
Ответ неправильный	0
Максимальный балл	**2**

26.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Элементы ответа: 1) исчезнут болезни растений и животных — микозы, а также не будет происходить разрушения древесины растений паразитическими грибами; 2) не будет полностью перерабатываться растительный опад сапротрофными грибами лесной подстилки, вследствие чего нарушится круговорот веществ в экосистеме и даже может быть затруднен доступ к свету; 3) станет невозможным сбор воды и минеральных солей с больших площадей с помощью мицелия мутуалистических микоризных грибов	
Ответ включает все названные выше элементы, не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает два из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает три названных выше элемента, но содержит биологические ошибки	2
Ответ включает один из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает два из названных выше элементов, но содержит биологические ошибки	1
Ответ включает только один из названных выше элементов и содержит биологические ошибки ИЛИ ответ неправильный	0
Максимальный балл	**3**

27.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Схема решения задачи включает: 1) нуклеотидная последовательность участка мРНК у здорового человека — ЦЦУУГГАЦЦЦАГАГГУУЦ, а у больного — ЦЦУУГГАЦЦУАГАГГУУЦ; 2) по таблице генетического кода у здорового человека этой последовательности кодонов мРНК соответствует аминокислотная последовательность участка белка Про–Три–Трн–Глн–Арг–Фен, а у больного — Про–Три–Трн; 3) у больного в приведенном фрагменте гена происходит замена 10-го нуклеотида Г на А, вследствие чего в нуклеотидной последовательности участка мРНК у него находится У вместо Ц и четвертый кодон будет являться стоп-кодоном, и, таким образом, фрагмент синтезированного белка будет содержать не шесть аминокислотных остатков, а только три	
Ответ включает все названные выше элементы и не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает два из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает три названных выше элемента, но содержит биологические ошибки	2
Ответ включает один из названных выше элементов и не содержит биологических ошибок, ИЛИ ответ включает два из названных выше элемента, но содержит биологические ошибки	1
Ответ включает только один из названных выше элементов и содержит биологические ошибки ИЛИ ответ неправильный	0
Максимальный балл	**3**

28.

Содержание верного ответа и указания к оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	**Баллы**
Схема решения задачи включает: 1) генеалогическое дерево с указанием генотипов родителей и здоровой дочери: один из родителей — *aaB_*, второй — *A_bb*, а их дочь — *AaBb*, так как у одного из родителей глухота обусловлена нарушением формирования слухового нерва, а у второго — нарушением развития улитки; 2) вероятность рождения больного ребенка в случае гомозиготности родителей по обоим признакам (*aaBB* и *AAbb*) — 0%, в случае гетерозиготности одного из них (*aaBb* и *AAbb* или *aaBB* Aabb) — 50%, в случае гетерозиготности обоих — 25%; 3) взаимодействие неаллельных генов — комплементарность (Допускается иная генетическая символика.)	
Ответ включает все названные выше элементы и не содержит биологических ошибок	3
Ответ включает два из названных выше элемента и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает три названных выше элемента, но содержит биологические ошибки	2
Ответ включает два из названных выше элемента и не содержит биологических ошибок ИЛИ ответ включает три названных выше элемента, но отсутствуют пояснения	1
Ответ включает только один из названных выше элементов и содержит биологические ошибки ИЛИ ответ неправильный	0
Максимальный балл	**3**

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Справочное издание
анықтамалық баспа

ЕГЭ. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК

Садовниченко Юрий Александрович

ЕГЭ
БИОЛОГИЯ
Универсальный справочник

(орыс тілінде)

Ответственный редактор *А. Жилинская*
Ведущий редактор *Т. Судакова*
Художественный редактор *А. Кашлев*

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Россия, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru
Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.
Тауар белгісі: «Эксмо»
Интернет-магазин : www.book24.ru

Интернет-магазин : www.book24.kz
Интернет-дүкен : www.book24.kz
Импортёр в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».
Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию,
в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша арыз-талаптарды
қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,
Алматы қ., Домбровский көш., 3«а», литер Б, офис 1.
Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.
Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ
о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»
www.eksmo.ru/certification
Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылған

Дата изготовления / Подписано в печать 17.05.2019. Формат 84x108$^{1}/_{16}$.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 45,36.
Тираж экз. Заказ

ISBN 978-5-04-103930-1

6+

EKSMO.RU
новинки издательства

ЭФФЕКТИВНАЯ ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

ЕГЭ

ПОЛУЧИ ВЫСШИЙ БАЛЛ НА ЕГЭ!

ИЗДАНИЕ ПОМОЖЕТ:

- сократить время подготовки к ЕГЭ;
- закрепить знания в процессе обучения;
- отработать навыки выполнения заданий разных типов.

БИОЛОГИЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПРАВОЧНИК

В серии «ЕГЭ. Универсальный справочник» выходят пособия по основным школьным предметам: русскому языку, литературе, математике, истории, обществознанию, биологии, химии, физике, информатике и английскому языку.

ISBN 978-5-04-103930-1

www.vk.com/eksmo_kids