



Биология 10

БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ

Биология 10 класс



Базовый уровень

Учебник

Под редакцией
В. В. Пасечника

*Допущено Министерством просвещения
Российской Федерации*

6-е издание, стереотипное

Москва
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2024

УДК 373.167.1:57+57(075.3)

ББК 28.0я721

Б63

Серия «Линия жизни» основана в 2005 году

Авторы:

д-р пед. наук **В. В. Пасечник**, д-р биол. наук **А. А. Каменский**,

д-р биол. наук **А. М. Рубцов**, канд. пед. наук **Г. Г. Швецов**,

канд. пед. наук **З. Г. Гапонюк**

Издание выходит в pdf-формате.

Получены **положительные** заключения

научной (заключение РАО № 1182 от 30.11.2016 г.),

педагогической (заключение РАО № 1073 от 21.11.2016 г.)

и **общественной** (заключение РКС № 523-ОЭ от 19.12.2016 г.) экспертиз.

Биология : 10-й класс : базовый уровень : учебник : издание
Б63 в pdf-формате / В. В. Пасечник, А. А. Каменский, А. М. Рубцов [и др.] ;
под ред. В. В. Пасечника. — 6-е изд., стер. — Москва : Просвещение,
2024. — 223, [1] с. : ил. — (Линия жизни).

ISBN 978-5-09-116776-4 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-112164-3 (печ. изд.).

Учебник «Биология» для 10 класса (под ред. В. В. Пасечника) для общеобразовательных организаций полностью соответствует базовому уровню содержания образования в старшей школе. Этот учебник (совместно с учебником «Биология» для 11 класса) завершает линию учебно-методических комплектов «Линия жизни», разработанную авторским коллективом под руководством В. В. Пасечника. Он выполняет функцию одного из инструментов достижения образовательных результатов по биологии в соответствии с требованиями ФГОС СОО. Разнообразные задания, деятельностный блок «Моя лаборатория» позволяют отрабатывать широкий спектр необходимых умений и компетенций.

УДК 373.167.1:57+57(075.3)

ББК 28.0я721

ISBN 978-5-09-116776-4 (электр. изд.)

ISBN 978-5-09-112164-3 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2019

© Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2019

Все права защищены



ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Пришло время обобщить все те знания о живых организмах, которые вы получили в предыдущих классах. В текущем учебном году вам предстоит изучить некоторые общебиологические закономерности, связанные с функционированием биологических систем на различных уровнях организации живого. Как и в предыдущие годы, вашим помощником на этом пути будет учебник.

Текст учебника разделён на главы и параграфы. Нужный вам раздел вы найдёте по **оглавлению** или по названию в верхней части страницы. Помещённый в конце **указатель терминов** также поможет вам найти интересующую вас информацию. Прочитайте название главы, вводный текст и перечень того, что вы узнаете и чему научитесь. Это поможет вам понять, на что именно из представленного материала нужно обратить особое внимание.

Перед каждым параграфом в рубрике **Вспомните** помещены вопросы, ответив на которые вы вспомните всё, что было изучено ранее, — это позволит лучше понять и усвоить новый материал.

Термины, которые нужно запомнить, напечатаны **жирным шрифтом**, а те из них, на которые необходимо обратить особое внимание, — *наклонным шрифтом (курсивом)*. Внимательно рассмотрите и изучите иллюстрации, прочитайте подписи к ним — это поможет вам лучше понять содержание текста.

В конце параграфов в блоке **Моя лаборатория** в рубрике **Это интересно** приведён дополнительный материал для углублённого изучения (значок ) , а также даны ссылки на дополнительные источники информации.

Необходимым условием успешного овладения знаниями является выполнение лабораторных и практических работ. Их номера с указанием страницы даны в рубрике **Проводим исследование** и отмечены значком . Сами работы размещены в **ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ** (Приложение 1 на с. 200—205).

Рекомендации, помещённые в рубрике **Шаги к успеху** и отмеченные значком , помогут вам повысить эффективность обучения, успешно достигать поставленных целей.

В конце каждого параграфа знаком  выделены новые для вас понятия. Их нужно запомнить и уметь объяснить. Эти слова могут стать основой для формирования поискового запроса в Интернете по интересующей вас теме.

Обязательно отвечайте на вопросы, находящиеся в рубрике **Тренируемся**, обозначенные значком . Вопросы повышенной сложности, приведённые в рубрике **ПОДУМАЙТЕ**, а также задания из рубрики **Совершенствуемся**, отмеченные значком , должны научить вас анализировать изучаемый материал, работать с разными видами информации и находить пути практического применения полученных знаний. Задания, помещённые в рубрике **Обсуждаем** и отмеченные значком , рекомендованы для обсуждения с одноклассниками и/или учителем.

Желаем вам успехов в учёбе и новых открытий в интересном и разнообразном мире живой природы!

Авторы



ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

1. Учебник станет вашим помощником на пути освоения новых знаний и умений лишь в том случае, если вы будете правильно с ним работать. Поэтому вам следует внимательно изучить структуру как всего учебника, так и отдельных параграфов и рубрик. Запомните, что означают используемые в нём условные обозначения. В этом вам поможет вступительная статья на с. 3—4.
2. Приступая к учебной работе, подумайте о том, какое значение она имеет для вас лично, какими могут быть её мотивы. Возможно, это не только стремление повысить общий уровень своей образованности или хорошо сдать итоговый экзамен, но и желание овладеть основами вашей будущей профессии.
3. Учитесь овладевать знаниями самостоятельно, планировать свою работу по шагам. Для этого научитесь ставить перед собой конкретные цели и задачи. Всегда, перед тем как приступить к выполнению задания, продумывайте, какие результаты могут быть получены вами по итогам проделанной работы. Корректируйте свою дальнейшую учебную деятельность в зависимости от итогов сравнения реально полученных результатов работы с планируемыми (ожидаемыми).
4. При чтении параграфа всегда обращайтесь внимание на ключевые понятия (термины), выделенные в тексте. Подумайте, как можно связать содержание параграфа с ранее изученным учебным материалом (не только в пределах курса биологии, но и по другим предметам), а также с вашим личным жизненным опытом и с возможностью применения полученных знаний в повседневной жизни.
5. В целях лучшего усвоения учебного материала старайтесь составлять собственный конспект параграфа (на бумаге или в виде текстового файла) — это может быть краткий текст или графическая схема. В конспекте всегда должна быть главная идея параграфа. Следует также упомянуть новые термины и проследить их связь с ранее изученными понятиями, а также изложить ваши собственные мысли и выводы.
6. В процессе самостоятельной работы, например при подготовке домашнего задания, подумайте над тем, какие ещё материалы, кроме учебника, вам могут понадобиться. Ищите дополнительный материал, пользуясь школьной библиотекой или электронными ресурсами в Интернете. Его вы сможете использовать в дальнейшем при выполнении различных работ творческого характера (докладов, рефератов, презентаций и научно-исследовательских проектов). Некоторые рекомендации по подготовке такого рода работ вы найдёте в Приложении 2.
7. Помните, что полученный вами опыт творческой работы на примере биологического содержания может вам пригодиться в будущей профессиональной деятельности, поскольку развиваемые вами умения носят достаточно универсальный характер. Перечислим некоторые из них: умение планировать и оценивать свою работу; умение пользоваться информацией, представленной в разном виде (текст, таблицы, графики, диаграммы, схемы, карты и т. д.); умение анализировать, систематизировать и структурировать информацию (сравнивать, классифицировать, выявлять причинно-следственные связи (объяснять), выделять существенные признаки и т. д.); умение представлять информацию в разных формах, в том числе с помощью компьютерных технологий.



Введение

К каждому человеку жизненно необходимо обладать максимально полным набором знаний об окружающем его мире и законах, по которым он развивается. Научную основу этих знаний закладывают такие науки, как биология, химия, физика, каждая из которых сегодня включает большое количество направлений, тесно связанных друг с другом в единые научные комплексы. Без этих знаний человек не сможет адекватно оценивать состояние окружающей его природы, частью которой он является. Это же, в свою очередь, может помешать ему принять правильное решение в процессе повседневной, в том числе и профессиональной, деятельности, от которого зависит его собственная жизнь и жизнь окружающих его людей.

ВЫ УЗНАЕТЕ:

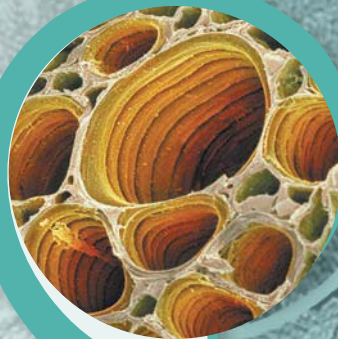
- об основах целостной научной картины мира;
- о взаимосвязи и взаимозависимости естественных наук;
- о роли и месте биологии как комплексной науки в формировании современной научной картины мира;
- о влиянии естественных наук на окружающую среду, а также экономическую, технологическую, социальную и этическую сферы деятельности человека;
- об основных методах научного познания, используемых при биологических исследованиях живых объектов и экосистем: описании, измерении, проведении наблюдений; выявлении и оценке антропогенных изменений в природе.

ВЫ НАУЧИТЕСЬ:

- понимать роль биологии в формировании кругозора и функциональной грамотности человека, необходимых для решения практических задач;
- пользоваться биологической терминологией и символикой для характеристики своих представлений о живой природе, её уровневой организации и эволюции.



К. Поппер





§1

Биология в системе наук

Вспомните:

1. Что такое наука? Каков её основной принцип?
2. Какое место занимает биология в системе наук?
3. Каковы основные этапы развития биологии как науки?

Многообразие живой природы. На рисунке 1 показаны представители флоры и фауны, которых можно встретить в природе во многих уголках нашей планеты. Их относят к различным видам, а также к систематическим группам более высокого ранга (род, отряд, семейство и т. п.) с очень широким распространением в природе (*ареалом обитания*) и называют **космополитами**. В основном это обитатели мест (*биотопов*), сходных в различных природных зонах, например переувлажнённых. К видам-космополитам относят таких животных, как брюхоногий моллюск виноградная улитка (*Helix pomatia*) и известная всем помощница человека медоносная пчела (*Apis mellifera*). Среди

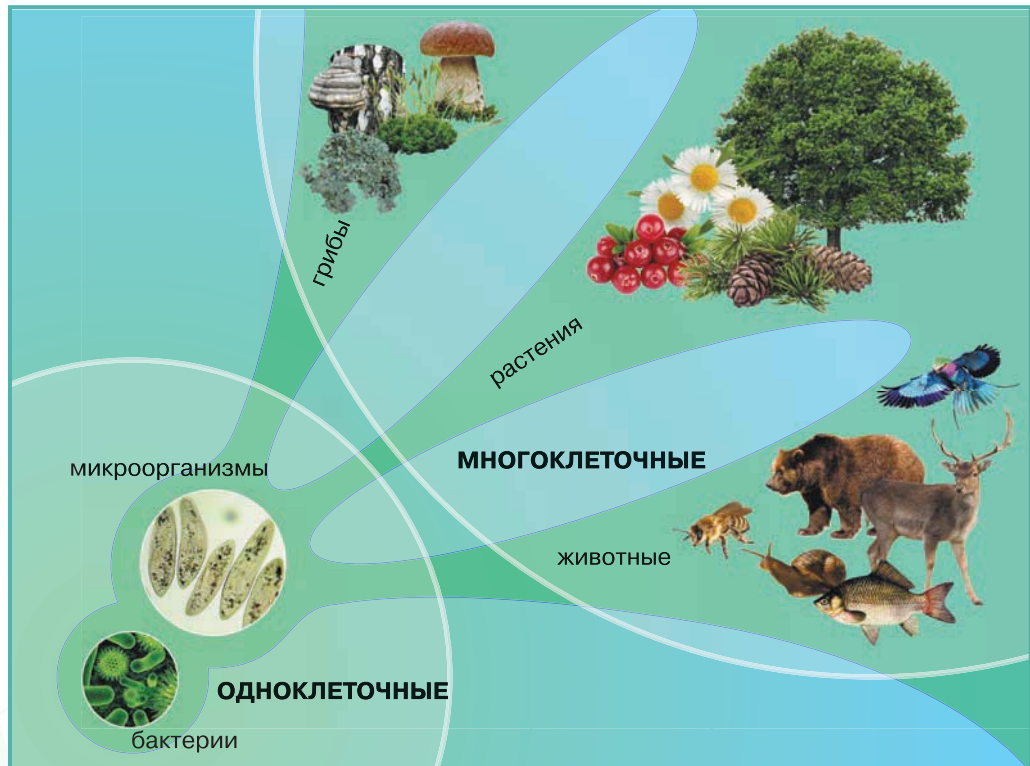


Рис. 1. Многообразие живой природы



растений это ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla*) и клюква обыкновенная (*Vaccinium oxycoccos*).

Одни виды-космополиты расселились практически по всему свету благодаря человеку, поскольку они являются его постоянными спутниками (или *синантропами*), например рыжий таракан (*Blattella germanica*) и серая крыса (*Rattus norvegicus*). Другие же изначально имели Всесветное распространение, например плаун булавовидный (*Lycopodium clavatum*), а также некоторые простейшие.

Все эти организмы обладают различными жизненными приспособлениями (*адаптациями*) к условиям обитания, которые позволяют им не только выживать, но и передавать закодированную в их *геноме* наследственную информацию последующим поколениям. Данные адаптации, как и сами обладающие ими организмы, появились в результате *эволюции* — необратимого процесса изменения природы, который привёл жизнь на Земле с момента её зарождения к тому *многообразию видов*, что мы можем наблюдать сегодня. И хотя в настоящее время человек обладает большими знаниями об эволюции жизни на Земле, а также о других природных процессах и явлениях, многие тайны природы всё ещё остаются нераскрытыми.

Современная научная картина мира. Задавать вопросы о тайнах мироздания и искать ответы на них с помощью исследований — это важная сфера деятельности человека, называемая *научной деятельностью* или *наукой*. Здесь всё зависит от **учёных**, т. е. исследователей, которые по крупицам собирают *научные факты*, выдвигают *гипотезы*, проверяют их и формулируют различные *теории*, составляющие основу научных взглядов на окружающий мир — **научное мировоззрение**. Областей науки довольно много, и все их достижения вносят существенный вклад в современную **научную картину мира**, состояние которой зависит от современного уровня научных представлений.

Научная картина мира — это система представлений человека о свойствах и закономерностях реально существующего мира, построенная в результате обобщения научных знаний и принципов.

Созданием **естественно-научной картины мира** занимается целый комплекс наук (рис. 2), среди которых можно выделить физику, химию и биологию. Все они так или иначе связаны друг с другом, что в ряде случаев позволяет взглянуть на одну и ту же научную проблему с разных точек зрения, а также попытаться решить её с применением различных научных методов. Таким образом, учёным удаётся либо значительно продвинуться в уже существующем направлении научных исследований, либо раскрыть перед собой новые горизонты, связанные с формированием научной картины мира. В настоящее время практически все открытия делаются на стыке нескольких научных направлений.

Целостность научной картины зависит прежде всего от того, насколько глубокими и разносторонними познаниями обладает конкретный учёный

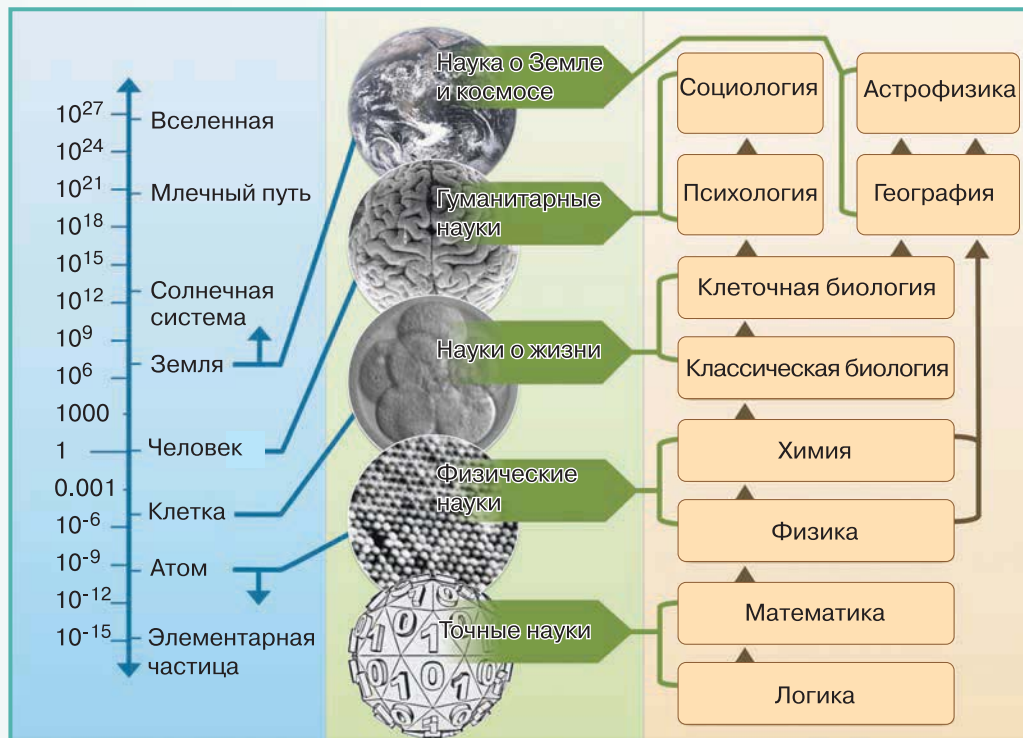


Рис. 2. Система наук

или коллектив научных сотрудников, занимающийся изучением какой-либо проблемы.

Учёный — это специалист в какой-либо научной области, осуществляющий осмысленную деятельность по формированию научной картины мира, чья научная работа и квалификация в той или иной форме получили признание со стороны научного сообщества.

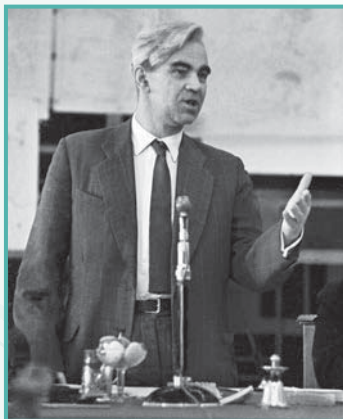


Рис. 3. Выступление учёного на конференции

Мы часто представляем себе учёного как одиночку, работающего в закрытой лаборатории и время от времени совершающего какие-нибудь сенсационные открытия. В действительности же большинство научных сотрудников работают в составе коллективов, которые часто включают в себя начинающих исследователей — аспирантов и студентов. Чтобы преуспеть в науке, необходимо уметь общаться и взаимодействовать с другими членами научного сообщества. Результаты исследования практически не будут иметь никакой ценности для формирования современной научной картины мира, до тех пор пока исследователь не поделится ими с сообществом коллег. Поэтому основными формальными признаками

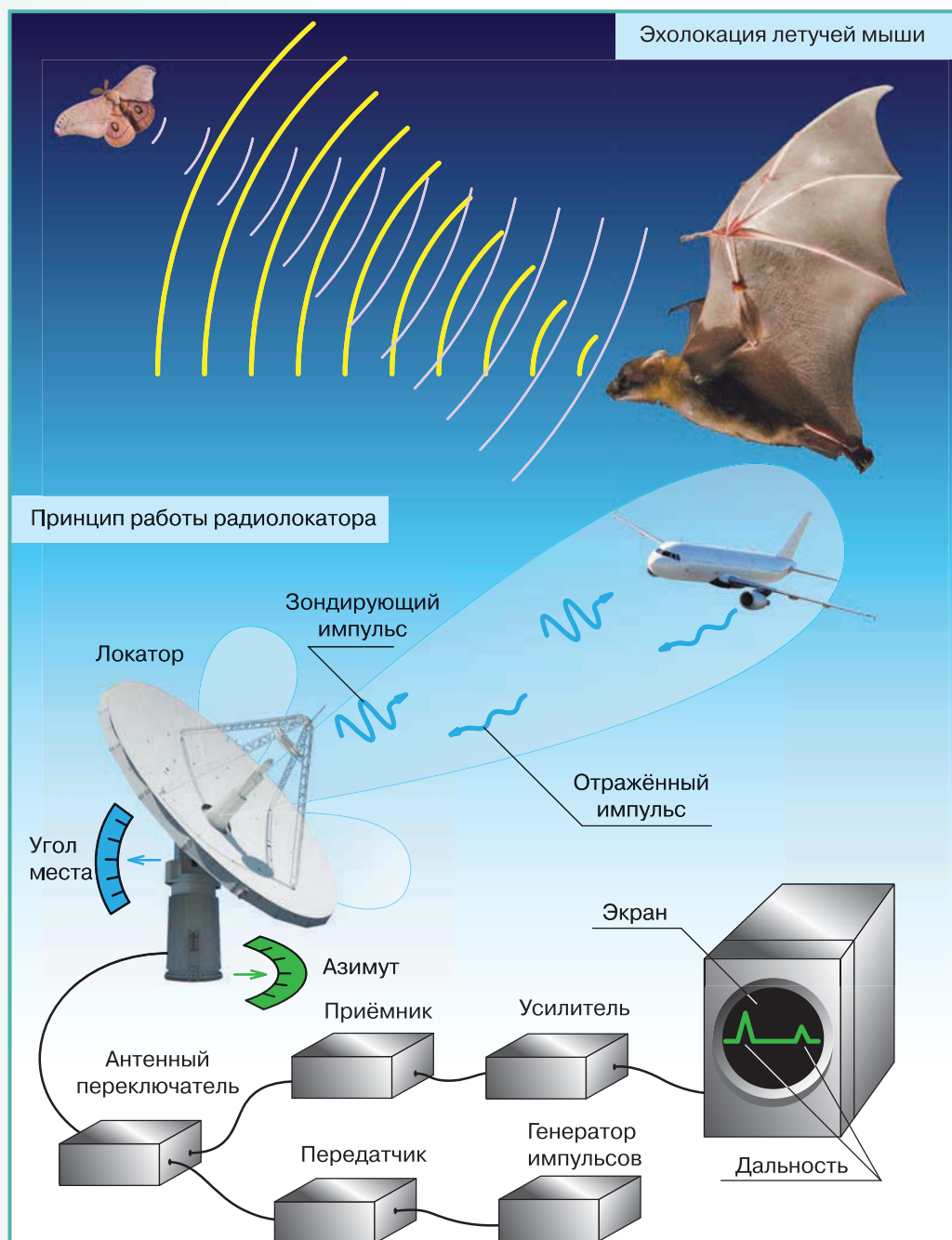


Рис. 4. Технические решения (радиолокация), которые появились благодаря открытию биологов (эхолокация)

живых организмов, помогают найти оригинальные решения в технике и строительстве (рис. 4).

Благодаря достижениям биологии всё большее значение приобретает новое направление материального производства — **биотехнология**. Уже сейчас она оказывает значительное влияние на решение таких проблем, как производство продуктов питания, охрана окружающей среды и др. Кроме того, биотехнология



позволяет получать безопасные для жизни и здоровья людей виды топлива путём биопереработки отходов промышленного и сельскохозяйственного производств. Некоторые биотехнологические разработки находят всё большее применение в добыче и обогащении полезных ископаемых. Однако особенно ярко успехи этой отрасли проявляются в медицине. В настоящее время с помощью биосинтеза получают самые различные антибиотики, ферменты, аминокислоты и гормоны.

До недавнего времени люди считали, что восстановительные способности природы безграничны. Но оказалось, что это не так. Незнание или игнорирование законов природы приводит к экологическим катастрофам, которые грозят гибелью всем живым организмам, в том числе и человеку.

Сейчас большинство людей понимают, что будущее нашей планеты зависит от каждого из нас. Это привело к осознанию важности биологического образования, поскольку без него становится невозможным предотвращение загрязнения окружающей среды и другого негативного антропогенного воздействия на природу. Таким образом, в современном мире **биологическая грамотность** необходима каждому человеку так же, как умение читать, писать и считать.

**ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА • КОСМОПОЛИТЫ •
БИОТЕХНОЛОГИЯ • БИОЛОГИЧЕСКАЯ ГРАМОТНОСТЬ • НАУЧНОЕ
МИРОВОЗЗРЕНИЕ • НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА • УЧЁНЫЙ • БИОЛОГИЯ**



ПОДУМАЙТЕ

Возможно ли в настоящее время учёному совершить научное открытие без активного сотрудничества с другими исследователями?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Что понимают под современной научной картиной мира и от кого зависит её формирование?
2. Что позволяет исследователям постепенно продвигаться в науке, открывая новые горизонты, связанные с формированием целостной научной картины мира, и от чего зависит её целостность?
3. Почему мы можем с уверенностью говорить о взаимосвязи и взаимозависимости естественных наук?
4. Каково место биологии в системе естественных наук и какую роль она играет в формировании современной научной картины мира?
5. Расскажите о роли биологии в жизни человека.





Совершенствуемся

1. Используя ключевые слова параграфа, постройте основу схемы (ментальной карты), показывающей место биологии в системе наук.
2. Подготовьте краткое сообщение о влиянии естественных наук в целом и биологии в частности на окружающую среду, экономическую, технологическую, социальную и этическую сферы деятельности человека. Оформите сообщение в виде презентации.
3. Подготовьте презентацию об интересующей вас профессии. В презентации раскройте возможные её связи с биологией.
4. Напишите эссе на тему «Моя биологическая грамотность» (как вариант «Зачем нужна человеку биологическая грамотность»).



Это интересно

Биология — одна из древнейших наук, хотя сам термин для её обозначения был предложен лишь в 1797 г. немецким учёным *Теодором Рузом* (1771—1803). Однако общепринятым он стал лишь после того, как в XIX в. (1802) этот термин стали употреблять в своих работах *Жан Батист Ламарк* (1744—1829) и *Готфрид Рейнхольд Тревиранус* (1779—1864).

Современные направления биологии. На рубеже XX—XXI вв. в биологии появились новые научные направления. Так, из генетики выделилась **геномика** — наука, изучающая геномы различных организмов и взаимодействие составляющих эти геномы генов. Специалисты по геномике заняты расшифровкой геномов различных обитателей Земли и сравнением их между собой. Это помогает понять степень родства разных видов, а также проследить эволюцию отдельных групп организмов.

Также большое значение приобретает и медицинская геномика — дисциплина, изучающая связь различных заболеваний с генетическими аномалиями. Разработанные специалистами в этой области методики помогают ставить верный диагноз и назначать правильное лечение больным такими тяжёлыми болезнями, как онкологические и аутоиммунные.

К геномике близка и **протеомика** — наука, основным предметом изучения которой являются белки, их функции и взаимодействия в клетках. Методы протеомики также используются в медицине для постановки точных диагнозов. Сравнение *протеомов* (т. е. комплекса всех белков организма) здорового и больного пациентов позволяет выявить белки, способствующие развитию болезни, которые в дальнейшем могут стать мишенями для новых лекарственных препаратов.

Но если геномика и протеомика помогают ставить диагноз, то разработкой технологий по адресной доставке лекарств в клетку занимается **нанобиология**. Специалисты этого направления заняты созданием различных нанообъектов



проследить поведение подброшенного вверх мяча не только в различных точках нашей планеты, но даже и на Марсе, и на Луне, куда сейчас этот мяч вполне возможно доставить. И если в каком-нибудь из опытов брошенный вверх мяч не вернётся на поверхность планеты, то в этом случае гипотезу Ньютона следует рассматривать как неверную, потому что будет экспериментально доказан тот факт, что не всегда большее тело притягивает к себе меньшее.

Совершенно очевидно, что данный эксперимент представляет собой попытку опровержения вышеупомянутого закона. Так как сейчас космические аппараты смогут провести его на поверхности многих космических объектов, то гипотезу Ньютона следует признать научной, а также верной, поскольку поставленное им условие выполняется не только в земных условиях. Но ничего подобного нельзя сказать про гипотезу, согласно которой расположение планет в момент рождения человека влияет на формирование его характера, поскольку невозможно поставить такой эксперимент, который опроверг бы это (ибо даже теоретически невозможно представить себе рождение человека в таком месте, которое было бы свободно от влияния любого небесного тела). Значит, эта гипотеза, которой пользуются астрологи, ненаучная.

Резюмируя, можно с уверенностью сказать, что физика — это наука, а астрология не наука, так как гипотезы, с которыми имеет дело физик, соответствуют критерию Поппера, а те, которыми оперирует астролог, не соответствуют. Как видите, критерий фальсифицируемости действительно надёжно разделяет науку и не науку. И хотя он не универсален (есть, например, некоторые положения теории

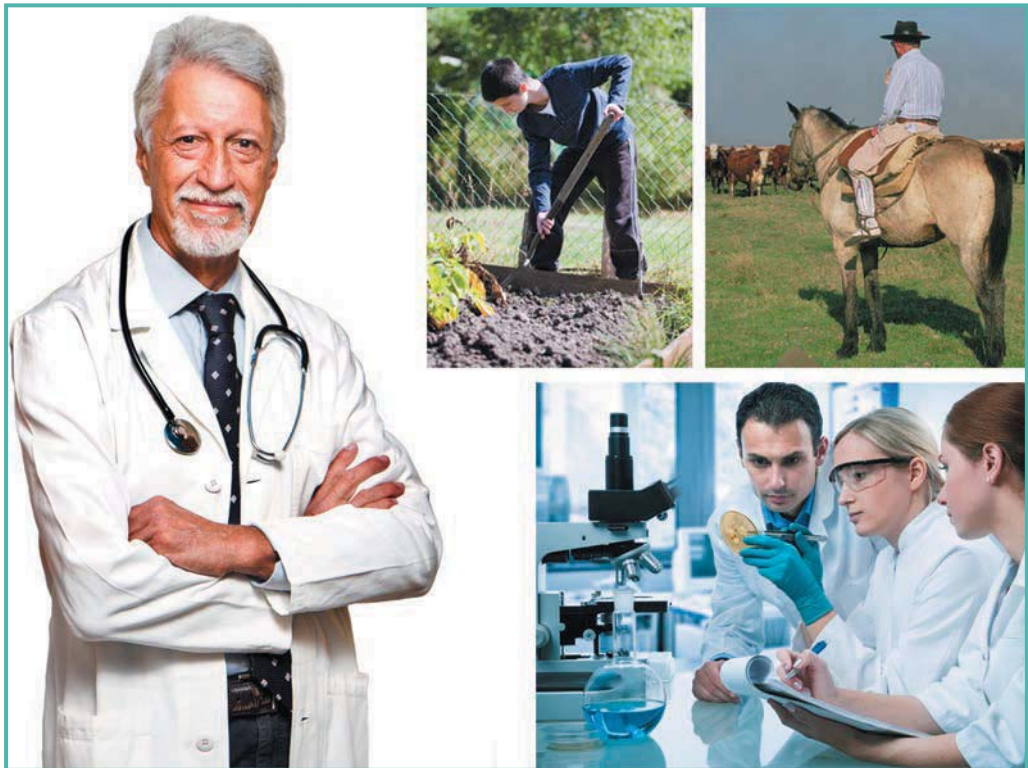


Рис. 5. Представители некоторых профессий, связанных с биологией



эволюции, которые не проходят отбор по этому критерию, и некоторые метафизические гипотезы, которые проходят), учёные до сих пор используют его в качестве первичной проверки гипотезы на предмет того, является она научной или нет.

2. Выясните, кто из ваших знакомых имеет профессию, связанную с биологией. Каково их мнение о своей профессии? Почему они её выбрали?

Профессии, связанные с биологией. Существует очень много профессий, связанных с биологией (рис. 5), и любую из них вы можете выбрать для себя. В общей сложности биология включает около 70 научных и прикладных направлений, по каждому из которых специально готовятся профессиональные кадры. Практически все медицинские работники: медсёстры, фельдшеры, врачи-педиатры, хирурги, терапевты, стоматологи и т. д. — должны иметь базовое биологическое образование. Большое значение биологические знания имеют для подготовки работников сельского хозяйства: агрономов, зоотехников, ветеринаров и др. Всё больше специалистов требуется для бурно развивающихся направлений — микробиологической промышленности и биотехнологии. Кроме того, активно ведётся подготовка по различным направлениям экологии, таким, как биоэкология или геоэкология. Всё бóльшую популярность получают, например, такие связанные с данной дисциплиной профессии, как инженер-эколог и ландшафтный дизайнер.

Шаги к успеху

СТРОИМ МЕНТАЛЬНУЮ КАРТУ (КАРТУ ПОНЯТИЙ)

Ментальная карта (карта понятий, интеллект-карта, mind map и др.) — технология работы с информацией, удобный инструмент для отображения процесса мышления. Помогает решить проблему запоминания, усвоения и логического структурирования информации в любой области знаний, отображает процесс общего системного мышления.

Ментальная карта представляет собой особую древовидную схему. На ней присутствуют слова, задачи и иные понятия, которые связаны ветвями, отходящими от центрального понятия (или ветви).

- ▲ Определите ключевые понятия полученной информации, например текста или его фрагмента.
- ▲ Выделите среди ключевых понятий основополагающее (главное) — мысль, идею, задачу.
- ▲ От основы постройте ветви, показывающие задачи, идеи, процессы, отдельные мысли или шаги, необходимые для реализации этого понятия.
- ▲ Каждое ответвлённое от основного понятия делите ещё на несколько ветвей в зависимости от имеющейся информации.
- ▲ Подходите к процессу творчески. Создавайте карту, используя различные фигуры и цвета, картинки и другие элементы оформления, основываясь на своих ассоциациях.



§ 2

Объект изучения биологии

Вспомните:

1. Каковы основные черты биологии как науки?
2. Что изучают учёные-биологи?
3. Какими свойствами обладают объекты живой природы?

Методология биологии. Говоря о биологии как о науке, мы должны чётко представлять себе основные черты исследований в её области, отличающие их от исследований в других научных областях, т. е. её **методологию**. Любую науку характеризуют прежде всего *объект и предмет*, а также *цели и методы исследования*.

Методология науки — это учение о методах и процедурах научной деятельности, на которые опирается исследователь в ходе получения и разработки новых знаний в рамках конкретной научной дисциплины.

Например, учёных-биологов может интересовать, каким образом одна крошечная клетка становится деревом или собакой, как работает человеческий мозг или то, как разные формы жизни взаимодействуют между собой в пределах одного природного сообщества (экосистемы), например озера, луга или биосферы в целом. То есть мы можем констатировать, что **объектом исследования** в области биологии является вся живая природа, а точнее её различные процессы или явления, протекающие в ней. Так как направлений биологической науки много, следовательно, и объекты и предметы исследования в них разные.

Все объекты исследования в биологии реально существуют в природе вне зависимости от нас (т. е. людей в целом) как исследователей. При этом **предметами исследования** будут выступать различные проявления жизни у конкретного объекта, на которые исследователь может так или иначе влиять, для того чтобы проверить имеющиеся у него научные предположения (гипотезы). После этого он строит новые теоретические обобщения, которые могут в конечном итоге в значительной мере повлиять на существующую научную картину мира.

Жизнь как объект изучения биологии. Традиционное определение биологии как «науки о жизни» имеет смысл лишь в том случае, если мы представляем себе, что такое **жизнь**. Во второй половине XIX в. известный немецкий философ, мыслитель и общественно-политический деятель *Фридрих Энгельс* (1820—1895), обобщив естественно-научные знания своего времени, дал самое известное



определение жизни. Согласно его определению, жизнь — это «способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их природой, причём с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белков». Последующие открытия в биологии показали, что данное определение не раскрывает всей сущности жизни. Попытки современных учёных дать полное определение жизни пока также не увенчались успехом.

В настоящее время определение жизни чаще всего дают путём перечисления основных *критериев (признаков) живого*, или **жизненных свойств**, отличающих живые объекты от неживых. Вам уже известно, что первые живые существа возникли из комбинаций молекул неживой материи. Постепенно усложняясь и изменяясь в ходе эволюции, они сформировали всё то многообразие живой природы, которое мы наблюдаем сегодня.

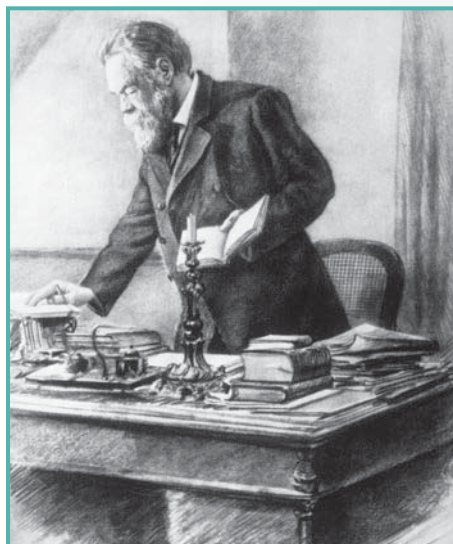
И вот что интересно: несмотря на то что учёные до сих пор не могут дать всеобъемлющее определение жизни, даже ребёнок понимает, что растение или собака живые, а камень или автомобиль нет. На первый взгляд кажется, что всё просто — живые организмы обладают рядом признаков, отсутствующих у большинства объектов неживой природы. Однако среди этих признаков нет ни одного такого, который был бы присущ только живому (например, для живых организмов характерен рост, но ведь и кристаллы могут расти).

Основные критерии (признаки) живого

1. *Живые организмы имеют сходный химический состав и единый принцип строения.* Живые существа «построены» из тех же химических элементов, что и объекты неживой природы, однако их соотношение в живом и неживом различно. Живые организмы на 98 % состоят из четырёх элементов — углерода, кислорода, азота и водорода, которые участвуют в образовании сложных органических молекул (белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, жиры). Все они, за исключением вирусов, имеют клеточное строение. Клетка является единой структурной и функциональной единицей, а также единицей развития всех живых организмов на Земле.

2. *Все живые организмы представляют собой открытые биологические системы* (от греч. *systema* — целое, состоящее из взаимосвязанных частей), *которые устойчивы лишь при условии непрерывного поступления в них энергии и вещества из окружающей среды.*

Зелёные растения используют солнечную энергию для синтеза органических веществ, которые необходимы им для нормальной жизнедеятельности. Другие существа получают энергию в результате распада сложных органических



Фридрих Энгельс



веществ, содержащихся в пище, на более простые. Таким образом, живые организмы существуют до тех пор, пока в них извне поступают энергия (солнечная или химическая) и питательные вещества.

3. *Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой: из неё они получают вещества, необходимые для жизни, а выделяют продукты жизнедеятельности.* Казалось бы, в неживой природе можно наблюдать похожие процессы. Так, например, во время горения костра или свечи поглощаются органические вещества (целлюлоза, воск) и кислород (из воздуха), а выделяются углекислый газ и другие вещества. Однако пламя никто не назовёт живым существом. Да и в основе работы многих механизмов, созданных человеком, также лежат процессы, похожие на обменные.

В отличие от такого «обмена» в неживой природе, у живых организмов самыми важными являются процессы *биосинтеза* и *распада веществ*. Они обеспечивают постоянство химического состава и строения организма, его рост, размножение и существование в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды (рис. 6).

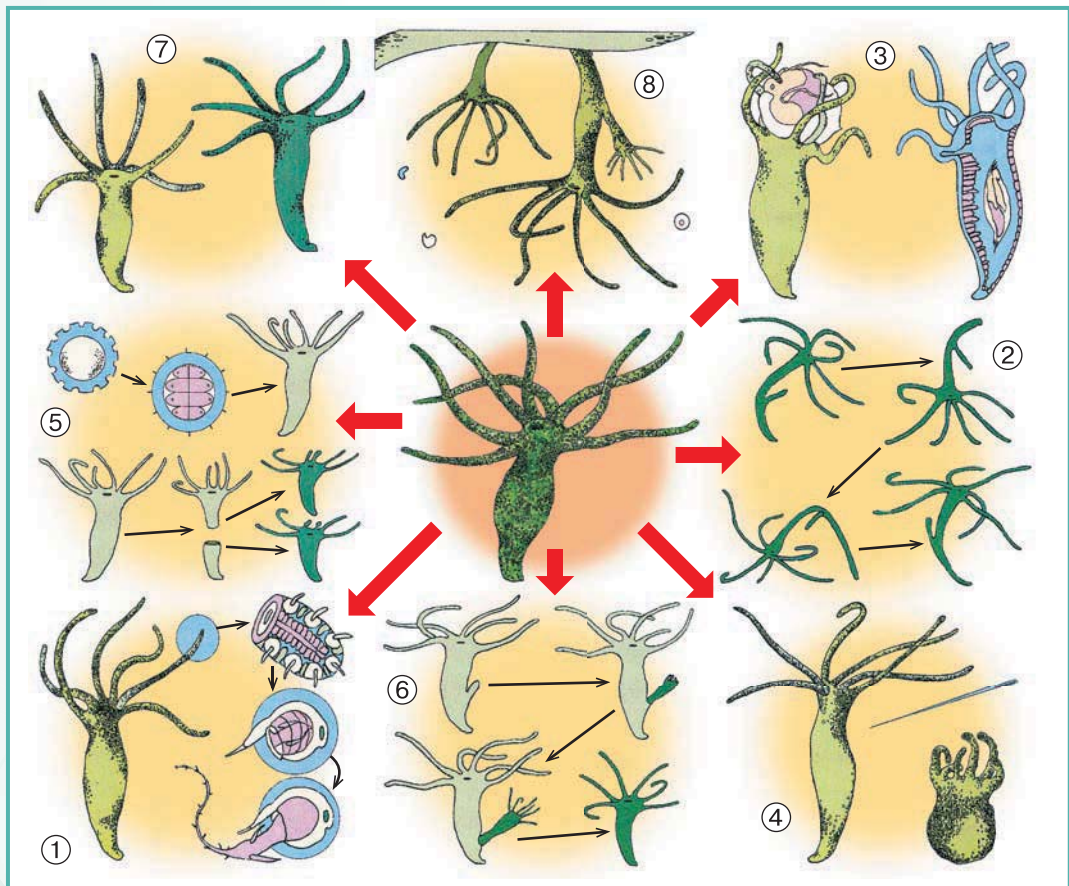


Рис. 6. Проявления основных жизненных свойств: 1 — единый принцип строения, 2 — обмен энергией с окружающей средой, 3 — обмен веществ, 4 — раздражимость, 5 — рост и развитие, 6 — размножение, 7 — наследственность и изменчивость, 8 — адаптация к условиям среды





Моя лаборатория



Тренируемся

1. Что позволяет нам говорить о биологии как о науке?
2. Приведите примеры возможных объектов и предметов исследования в биологии.
3. Почему трудно дать всеобъемлющее определение понятию «жизнь»?
4. Перечислите известные вам свойства живого и приведите примеры их проявления в природе.
5. Установите, в чём заключаются сходство и различия в проявлении какого-либо из свойств живой материи (например, обмен веществ или рост) у животных и зелёных растений.



Совершенствуемся

1. Используя информационные источники в Интернете, подготовьте сообщение (презентацию) о флаге и гербе своего региона или соседних регионов, если на них изображены представители флоры или фауны. Выясните, по какой причине там разместили их изображения.
2. Используя дополнительные информационные источники, изучите существующие на сегодняшний день определения понятия «жизнь». Выберите из них наиболее понравившееся вам и подготовьте краткое сообщение с его обоснованием.
3. В ходе изучения данного курса биологии вам предстоит выполнить ряд учебных и исследовательских проектов. На основе известных вам биологических знаний попробуйте сформулировать несколько возможных научных проблем (тем для исследования) и дайте характеристику предполагаемого объекта исследования.



Обсуждаем

Выберите одну из предложенных тем и обсудите её актуальность с учителем и/или одноклассниками.

1. Связь организма со средой — необходимое условие существования живых организмов.
 2. Понятие «жизнь» необходимо рассматривать только в биологии.
 3. Что такое жизнь с точки зрения физики?
- Аргументируйте свою позицию.



Это интересно

Развитие представлений человека о природе. В процессе развития науки происходит постоянное обновление научной картины мира. Знания о живых организмах человек накапливал на протяжении тысячелетий. Сначала люди изучали отдельные организмы, собирали их, составляли списки растений и животных, населяющих разные места. Обычно этот период изучения живых организмов называют описательным, а саму науку — *естественной историей*. Естественная история является предшественницей биологии.

Если ещё глубже посмотреть на историю становления взглядов человека на окружающий мир, то мы сможем увидеть во многих культурах (религиях) мира, в том числе уже утраченных, такое явление, как культ поклонения тотему. В научном смысле под тотемом подразумевается некий объект или явление природы (иногда целые группы таких объектов или явлений), которому некая социальная группа (род, племя, иногда даже каждый отдельный пол внутри этой группы или индивид) оказывает специальное поклонение (рис. 7). Кроме того, представители этой социальной группы считают себя родственно связанными с данным объектом и даже называют свою группу по его имени. И хотя тотемом может быть в принципе любой объект, наиболее распространёнными (и по-видимому, наиболее древними) из них были животные, растения или их части. Так, например, североамериканское племя оджибва состоит из 23 родов, каждый из которых считает своим тотемом особое животное (волк, медведь, бобр, карп, осётр, утка, змея и т. д.); в Гане (Африка) тотемами служат смоковница (инжир) и стебель маиса (кукурузы).

Растения и животные на гербах стран мира.

На гербах и флагах разных стран мира или их отдельных регионов часто можно увидеть изображения различных представителей растительного или животного мира (флоры и фауны). Обычно их присутствие отождествляется с биолого-экологической характеристикой или индивидуальными качествами, которыми они обладают, а также с экономико-хозяйственным значением для человека.

Например, на гербах России, Германии, Индии и Гвинеи мы можем увидеть таких животных, как лев, орёл, голубь, которые символизируют отвагу, силу и свободу. Не часто встречающиеся на гербах кенгуру, страус эму, фазан, тигр демонстрируют, что эти животные редкие и находятся под охраной данного государства. Примером служат гербы Австралии



Рис. 7. Тотемы: на этих тотемах изображены рыбы и морские звёзды. Очевидно, что основная деятельность людей, поклонявшихся им, — рыболовство



Рис. 8. Гербы с изображением животных: на гербе города Владивостока (слева) изображён амурский тигр, а герб ФРГ (справа) украшает орёл

и Непала, а также герб российского города Владивостока, на котором мы можем увидеть амурского тигра (рис. 8). Иногда на гербах присутствуют изображения вымерших животных — примером может служить мамонт на гербе российского города Среднеколымска.

Растения или их части также встречаются на гербах и флагах. На гербе Гаити изображена пальма, чертополох — на гербе Шотландии, пшеница — на гербе Таджикистана, листья клёна — на гербе и флаге Канады, соплодие ананаса — на гербе Ямайки.

Шаги к успеху

ПРОВЕРЯЕМ ДОСТОВЕРНОСТЬ НАЙДЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

1. Работая с информацией, определяем её достоверность, ища ответы на следующие вопросы:
 - ▲ Кто автор этого текста?
 - ▲ Имеет ли автор право на представление этой информации от своего имени?
 - ▲ Статья содержит объективные факты или выражает личное мнение автора?
 - ▲ Из каких источников автор получил информацию?
 - ▲ Можно ли проверить информацию, представленную на сайте?
 - ▲ Как часто обновляется сайт?
 - ▲ Указана ли на сайте контактная информация для связи с автором?
2. Для получения объективной картины необходимо изучить материалы с разных сайтов, проанализировать и обобщить полученные сведения.



Методы научного познания в биологии

§ 3

Вспомните:

1. Что такое научный метод? Какие научные методы познания вам известны?
2. Охарактеризуйте основные этапы научного исследования.
3. Какими научными методами вы чаще всего пользуетесь в своей учебной и учебно-исследовательской работе?

Методы научного познания. Ещё одной чертой, характерной для методологии биологических исследований, является использование общих и специальных методов научного познания, или научных методов.

Научный метод — это совокупность основных способов (приёмов и операций), используемых при построении системы научных знаний в ходе научного исследования.

Важной чертой научного метода является требование объективности, исключающее субъективное толкование результатов исследования. Научным сообществом не должны приниматься на веру какие-либо утверждения, даже если они исходят от авторитетных учёных. Для обеспечения независимой проверки во время работы исследователь обязательно проводит документирование наблюдений, а после её завершения обеспечивает доступность для других учёных всех исходных данных, методик и результатов исследований. Это позволяет не только провести дополнительную проверку достоверности полученных данных благодаря возможности воспроизведения экспериментов, но и критически оценить степень адекватности их результатов по отношению к проверяемой теории.

Все существующие методы научных исследований принято делить на *общие* и *специальные*. Разумеется, большинство научных проблем и даже отдельные этапы их исследования требуют применения специальных методов решения, но они никогда не бывают произвольными, поскольку определяются характером исследуемого объекта.

Общие методы научного познания также используются

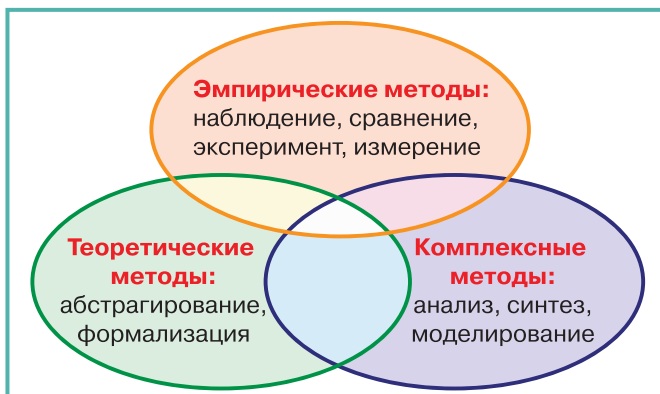


Рис. 9. Общие методы исследования



на протяжении всего исследовательского процесса и в самых различных областях науки. Их деление на группы связано с тем, что исследователь может получать знания либо опытным (эмпирическим) путём, либо в результате сложных логических операций, т. е. теоретически (рис. 9).

Методы эмпирического исследования	Методы теоретического исследования
наблюдение описание измерение сравнение эксперимент	анализ и синтез идеализация индукция и дедукция моделирование абстрагирование восхождение от абстрактного к конкретному и др.

Методы исследования в биологии. Как бы ни классифицировали научные методы, между ними довольно трудно проводить строгую границу, поскольку исследователи часто применяют их в сочетании друг с другом. При таком подходе они дают возможность более полно и эффективно исследовать живые системы, а также выявлять и оценивать антропогенные изменения в природе.

Наблюдение. Суть данного метода состоит в исследовании внешних признаков и видимых изменений объекта на протяжении некоторого промежутка времени. При этом изучаемый объект не должен подвергаться со стороны наблюдателя (исследователя) никакому воздействию, т. е. он должен находиться в обычных для него (естественных) условиях. Это наиболее простой метод, выступающий, как правило, в качестве одного из элементов в составе других эмпирических методов. Различают *прямое наблюдение*, когда информацию получают без помощи приборов, и *косвенное наблюдение*, при котором исследователь наблюдает не сам объект, а различные проявления его жизнедеятельности (например, оставленные на снегу следы лап или погрызы на ветке дерева). Так, когда орнитологи проводят наблюдения за птицами и рассматривают их в бинокль (или слушают издаваемые ими звуки), то это — прямое наблюдение. А если они пытаются выяснить рацион пернатого, исследуя остатки его трапезы или состав его экскрементов, то в данном случае используется косвенное наблюдение.

Описание. Этот метод предполагает фиксирование наблюдаемых признаков объекта исследования. С него начиналась биология как наука, но её развитие было бы невозможно без применения других методов исследования. Составленное описание объекта позволяет исследователю анализировать полученные данные, сравнивать их с другими, в том числе в историческом контексте, и находить определённые закономерности в существовании объекта исследования. Описательные методы начали использоваться ещё в древности, однако они и сегодня не утратили своей актуальности и широко применяются в ботанике, этологии, зоологии и т. д.



Измерение. Измерение есть процедура определения численного значения некоторой величины посредством единицы измерения. Важнейшим показателем качества измерения и его научной ценности является точность, которая зависит прежде всего от имеющихся в распоряжении учёного измерительных приборов (рис. 10).

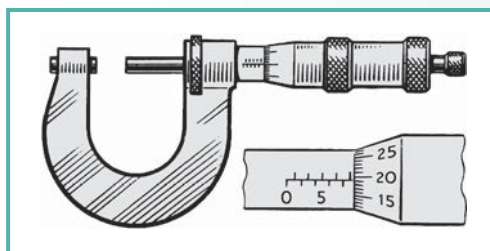


Рис. 10. Окуляр-микрометр

Сравнение. Метод позволяет установить сходство и различия между предметами и явлениями. Для того чтобы сравнение было плодотворным, оно должно удовлетворять двум основным требованиям: сравниваться должны лишь такие явления, между которыми может существовать определённая объективная общность; для познания объектов их сравнение должно осуществляться по наиболее важным, существенным (в плане конкретной познавательной задачи) признакам.

Моделирование. В любом эксперименте может принимать участие как сам объект исследования, так и его «заместитель», т. е. модель. Использование моделей позволяет применять экспериментальный метод исследования к таким объектам, непосредственное оперирование с которыми затруднительно или вообще невозможно. Поэтому моделирование так широко распространено в науке.

Моделирование — метод изучения объектов на моделях, позволяющий получать знания при помощи заменителей (моделей) реальных объектов.

Например, именно с помощью метода моделирования голландский учёный *Николас Тинберген* (1907—1988) выяснил, как самцы трёхиглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) во время размножения отличают других самцов, с которыми они стремятся вступить в схватку, от самок, которых они, наоборот, стараются привлечь на свою территорию. Брачный наряд этих рыбок был схож у обоих полов, однако у самцов во время размножения образовывались ярко-красные пятна на груди и брюшке. Может быть, именно они и запускают агрессивную реакцию?

Чтобы выяснить это, в период размножения колюшки учёный опускал в аквариум различно окрашенные модели, имитирующие рыбок. Оказалось, что самцы наиболее агрессивно атакуют модели с красным брюшком — даже если они были внешне совсем не похожи на колюшек. На основании этих опытов Тинберген сделал вывод о том, что красный цвет брюшка представляет собой так называемый *стимул-релизер*, который всегда вызывает у других самцов реакцию нападения. Таким образом, использование модели помогло исследователю выяснить, что именно провоцирует агрессию самца колюшки по отношению к конкуренту, и при этом не пострадало ни одной рыбки!



Эксперимент. Этот метод применяется для проверки выдвинутой гипотезы с помощью целенаправленного воздействия на объект. В отличие от наблюдения, он предполагает обязательное вмешательство исследователя в естественные условия существования «подопытного» объекта. В ходе эксперимента исследователь может даже специально создавать искусственные условия для изучения отдельных характеристик или свойств изучаемого объекта. Именно это даёт возможность проводить изучение того или иного явления, что называется, «в чистом виде».

Важным условием, указывающим на объективность данных, полученных в ходе эксперимента, является возможность его воспроизведения, т. е. его принципиальная повторяемость. В качестве примера применения экспериментального метода в биологических исследованиях можно привести классические опыты по изучению наследственности и изменчивости организмов, проведённые Г. Менделем. В отличие от своих предшественников, он использовал эксперимент не только для получения данных об изучаемых явлениях, но и для проверки гипотезы, сформулированной на основе этих данных.

Сравнительно-исторический метод. Этот метод предполагает сопоставление данных, полученных при помощи перечисленных выше и других методов исследования, с теми, которые были известны ранее. Это позволяет лучше осмыслить установленные научные факты и понять, в каком направлении исследователю следует двигаться дальше.

Этапы научного исследования. Обычно научное исследование начинается с наблюдения над объектом или явлением. После обобщения полученных в результате данных выдвигаются *гипотезы* (предположения), которые могут объяснить наблюдения. На следующем этапе исследования разрабатываются и проводятся эксперименты для их проверки. Научный эксперимент должен непременно сопровождаться *контрольным опытом*, условия которого отличаются от условий эксперимента одним (и только одним) фактором.

Анализ результатов эксперимента позволит решить, какая из гипотез верна. Та из них, которая была проверена и оказалась лучшим объяснением наблюдаемых фактов, а также способна служить основой для верных предсказаний, может быть названа *теорией* или *законом*. Называя какое-либо положение законом, учёные как бы подчёркивают его универсальность, неоспоримость и большую достоверность. Однако часто термины «закон» и «теория» употребляются как равнозначные.

Исследование всегда совершается сначала от общего к частному — **анализ**, а потом от частного к общему, но на новом уровне познания этого общего — **синтез** (подробнее см. с. 27). Применяя аналитический подход в биологии, учёные смогли открыть химическую и микроструктурную организацию живых объектов, выяснить причины видового разнообразия среди животных, растений и микроорганизмов, выявить генетическую неоднородность организмов внутри популяций, а также другие внутренние характеристики живых систем.

В настоящее время у биологов имеются исключительные возможности в изучении жизни. Они определяются использованием всего спектра научных



методов, в том числе основанных на применении специализированного оборудования:

- 1) микроскопии различных типов, включая электронную, с техникой ультратонких срезов;
- 2) биохимических;
- 3) высокоразрешающего генетического анализа;
- 4) иммунологических;
- 5) разнообразных методов культивирования и прижизненного наблюдения в культурах клеток, тканей и органов;
- 6) маркировки эмбрионов;
- 7) оплодотворения в пробирке;
- 8) меченых атомов;
- 9) рентгеноструктурного анализа;
- 10) ультрацентрифугирования;
- 11) спектрофотометрии;
- 12) хроматографии;
- 13) электрофореза;
- 14) секвенирования;
- 15) конструкции биологически активных рекомбинантных молекул ДНК, а также многих других.

Методы теоретического исследования. Для обобщения и анализов результатов экспериментов учёные используют теоретические методы исследований. Познакомимся с наиболее важными из них.

Абстрагирование. Этот метод представляет собой отвлечение от некоторых свойств изучаемых объектов, а также выделение тех их свойств, которые изучаются в данном исследовании. Абстрагирование имеет универсальный характер, поскольку каждый момент мысленного процесса связан с этим процессом или с использованием его результата. Сущность данного метода состоит в мысленном отвлечении от несущественных свойств, связей, отношений предметов и одновременном выделении, фиксировании одной или нескольких интересующих исследователя сторон этих предметов.

Анализ и синтез. Методы анализа и синтеза в научном творчестве органически связаны между собой. Они могут принимать различные формы в зависимости от свойств изучаемого объекта и цели исследования. *Анализ* — это метод, в основе которого лежит процесс разложения предмета на составные части. Когда учёный использует его, он мысленно разделяет изучаемый объект, т. е. выясняет, из каких частей он состоит, каковы его свойства и признаки. *Синтез* представляет собой соединение полученных при анализе частей в нечто целое. В результате применения этого метода происходит объединение знаний в единую систему.

Идеализация. Это мысленное создание представлений об объектах, которые не существуют в природе, однако имеют прообразы в реальном мире. Примерами представлений, которые возникли в процессе использования мето-



да идеализации, являются идеальный газ, идеальный раствор, точка. Метод идеализации широко применяется не только в естественных науках, но и в общественных дисциплинах.

Индукция и дедукция. Индукция — это вывод, полученный путём рассуждения от частного к общему. Можно также охарактеризовать этот метод как умозрительное заключение, строящее на основе разрозненных фактов некоторую общую гипотезу. Дедуктивный метод основан на получении выводов в процессе рассуждения от общего к частному, т. е. новое знание о предмете получают путём изучения свойств всех предметов данного класса.

Восхождение от абстрактного к конкретному. Восхождение от абстрактного к конкретному представляет собой всеобщую форму протекания процесса научного познания, а также закон отображения действительности в мышлении. Согласно этому методу, процесс познания как бы разбивается на два относительно самостоятельных этапа. На первом из них происходит переход от чувственно-конкретного восприятия объекта к его абстрактным определениям. Единый объект расчленяется и описывается при помощи множества понятий и суждений. Он как бы испаряется, превращаясь в совокупность зафиксированных мышлением абстракций, односторонних определений.

Второй этап процесса познания и есть восхождение от абстрактного к конкретному. Суть его состоит в движении мысли от абстрактных определений объекта к конкретному в познании. На этом этапе как бы восстанавливается исходная целостность объекта, он воспроизводится во всей своей многогранности, но уже в мышлении.

Оба этапа познания теснейшим образом взаимосвязаны. Этот метод невозможно применить без предварительного «анатомирования» объекта мыслью, а также без восхождения от конкретного в действительности объекта к абстрактным его определениям. Таким образом, можно сказать, что рассматриваемый метод представляет собой процесс познания, согласно которому мышление восходит от конкретного в действительности к абстрактному в мышлении и от него к конкретному в мышлении.



НАУЧНЫЙ МЕТОД ● МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ: НАБЛЮДЕНИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ОПИСАНИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ, СРАВНЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ● СРАВНИТЕЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ МЕТОД ● АБСТРАГИРОВАНИЕ ● АНАЛИЗ ● СИНТЕЗ ● ИДЕАЛИЗАЦИЯ ● ИНДУКЦИЯ ● ДЕДУКЦИЯ ● ВОСХОЖДЕНИЕ ОТ АБСТРАКТНОГО К КОНКРЕТНОМУ

ПОДУМАЙТЕ

В чём заключается отличие современных биологических исследований от классических исследований, описанных в трудах биологов, живших в прошлых веках (до XX столетия)



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Приведите примеры общих и специальных методов, применяющихся в биологии.
2. Охарактеризуйте основные этапы научного исследования.
3. Какое значение имеет сбор фактического материала для проведения исследования?
4. Можно ли провести научное исследование без формулирования гипотезы?
5. Всегда ли по результатам исследования возможно провести теоретическое обобщение?
6. Какая теория может претендовать на возведение в ранг закона?

Совершенствуемся

Используя материал статьи «Классическая модель научного метода», составьте схему, раскрывающую этапы проведения научного исследования и их взаимосвязь. Для выполнения данной работы вы можете использовать графические редакторы, установленные на вашем компьютере.

Классическая модель научного метода. Отдельные части научного метода применялись ещё философами Древней Греции. В частности, ими были разработаны правила логики и принципы ведения спора. Однако их целью чаще всего была не столько истина, сколько победа в судебных процессах, где главенствовал формализм. В XX в. была сформулирована гипотетически-дедуктивная модель научного метода, состоящая в последовательном применении следующих шагов:

Шаг 1. Используйте опыт: рассмотрите проблему и попытайтесь осмыслить её. Найдите известные ранее объяснения. Если это новая для вас проблема, переходите к шагу 2.

Шаг 2. Сформулируйте предположение. Если ничего из прежде известного не подходит, попробуйте сформулировать объяснение, изложите его кому-то другому или в своих записях.

Шаг 3. Сделайте выводы из предположения. Если оно (шаг 2) истинно, какие из него следствия, выводы, прогнозы можно сделать по правилам логики?

Шаг 4. Проведите проверку: найдите факты, противоречащие каждому из этих выводов, с тем чтобы опровергнуть гипотезу (шаг 2).





Имейте в виду, что использование выводов (шаг 3) в качестве доказательств гипотезы (шаг 2) является логической ошибкой. Эта ошибка называется «подтверждение следствием». Постарайтесь её избежать!

Обсуждаем

1. Используя доступные интернет-ресурсы, найдите научную статью в интересующей вас области биологии или реферат исследования и проведите анализ содержащегося в ней/нём методологического аппарата. Обсудите с учителем или одноклассниками обоснованность выбора автором методов проведения данного исследования.
2. Прочитайте статью «Тайна светящегося червя» на с. 32—33. Разберите её с точки зрения методов, которые использовали исследователи. Ответ обоснуйте.

Это интересно

Не важно, сколько статей написано, важно, сколько прочитано. Как узнать, кто из учёных в своей области самый авторитетный? В прежние времена авторитет учёного определялся количеством опубликованных им работ — чем больше их было, тем более авторитетным в данной области считался исследователь. Однако позже выяснилось, что это весьма ненадёжный критерий — бывает так, что некоторые недобросовестные учёные публикуют множество статей, содержащих непроверенные сведения и даже грубые ошибки.

Поэтому в конце XX в. стали обращать куда больше внимания не на то, сколько статей написал учёный, а на то, сколько раз его работы процитировали коллеги. Ведь именно цитирование означает то, что полученные учёным результаты интересны другим исследователям, а также то, что они верны (на статью с ошибками никто не будет ссылаться). То есть, чем больше цитируется работа учёного, тем больше его вклад в мировую науку и, следовательно, тем выше его авторитет. Таким образом, более авторитетным учёным будет считаться не доктор наук N, опубликовавший сто статей, каждую из которых процитировали всего один раз, а доктор наук K, опубликовавший всего двадцать статей, но при этом на каждую из которых сослались по 50 раз.

Этот критерий авторитетности учёных математически обосновал в 2005 г. американский исследователь *Хорхе Хирш*. Поэтому отношение количества работ к числу цитирования каждой из них называют *индексом Хирша*. Считается, что у обычного учёного этот показатель примерно равен продолжительности его научной карьеры в годах, тогда как у выдающегося учёного индекс Хирша как минимум вдвое выше.

Тайна светящегося червя. Современные учёные практически никогда не используют в своей работе только один метод исследования. Они пользуются максимально



возможным для них набором методик. Хорошей иллюстрацией этого правила может послужить выполненная в 2014 г. работа отечественных учёных из Института биофизики СО РАН и Института биоорганической химии им. академиков Шемякина и Овчинникова РАН, в ходе которой была установлена формула люциферина — белка, вызывающего свечение у почвенного червя фридеричия хелиота (*Fridericia heliota*).

Началось всё с того, что исследователи из Института биофизики заметили любопытное свечение, которое возникало на их следах во время прогулок по ночному лесу. Пронаблюдав за этим феноменом (метод наблюдения), они выяснили, что это свечение генерирует микроскопический почвенный червь фридеричия (рис. 11). После этого исследователи собрали некоторое количество этих животных и выделили из них светящееся вещество, которое оказалось пигментом *люциферин*ом. Это вещество при окислении с помощью кислорода в присутствии фермента *люциферазы* способно испускать квант света. Такие пигменты часто встречаются у разных светящихся животных (например, у жуков-светлячков), однако они всегда имеют разную структуру и соответственно разную формулу. Химическая формула данного вещества была неизвестна учёным, и они решили её выяснить с помощью коллег из Института биоорганической химии.

Сотрудники этого института сначала изучили люциферин при помощи ЯМР-спектрографа — прибора, измеряющего магнитные колебания, испускаемые ядрами атомов вещества. Таким образом они установили, из каких именно атомов состоит вещество и как они располагаются в молекуле. На основе этих данных при помощи компьютера были построены вероятные модели люциферина, и оказалось, что искомый пигмент может иметь четыре варианта строения.

Учёные синтезировали все эти варианты, после чего окислили каждое получившееся вещество в присутствии люциферазы фридеричии. В результате только один из белков при окислении испустил квант света. Это и был тот самый люциферин, чью структуру пытались выяснить исследователи.

Так, используя различные методы, учёные смогли открыть и описать неизвестный прежде науке светящийся пигмент.



Рис. 11. Светящийся червь *Fridericia heliota* (фотография Александра Семёнова)



§ 4

Биологические системы и их свойства

Вспомните:

1. Что означают понятия «вещество» и «физическое тело»?
2. Что такое система? Чем открытые системы отличаются от закрытых?
3. О чём говорят законы сохранения массы вещества и превращения энергии, открытые в результате естественно-научных исследований?

Фундаментальные положения биологии. Биология охватывает огромный спектр научных проблем, изучение которых позволяет нам, т. е. человечеству практически каждый день получать сведения о только что открытых явлениях или закономерностях из мира живой природы. Удержать эти сведения в своём поле зрения, если они существенно расширяют научную картину мира, не под силу даже выдающемуся учёному-биологу, что говорить о человеке, далёком от большой науки. Однако в биологии существует несколько фундаментальных положений, знакомство с которыми позволяет критически относиться к той, часто сенсационной, информации, которую мы можем получить из различных информационных источников. Вот эти положения:

1. Уровневая организация живой природы (биологических систем).
2. Энергия и материя как основа существования биологических систем.
3. Передача наследственной информации в череде поколений.
4. Взаимодействие компонентов биологических систем и саморегуляция.
5. Эволюция (эволюционные процессы).

Эти фундаментальные положения биологии основаны на глубоком понимании сущности и свойств биологических систем различного уровня организации. Расскажем о каждом из них подробнее.

Уровневая организация живой природы (биологических систем). Современная биология рассматривает любые живые объекты как системы. При этом живая природа в целом представляет собой совокупность всех биологических систем разного уровня организации и различной степени соподчинённости.

Система — это совокупность взаимосвязанных элементов, объединённых для реализации общей цели, обособленная от окружающей среды, взаимодействующая с ней как единое целое и проявляющая при этом основные системные свойства.



Учёные выделяют несколько уровней организации биологических систем, в частности: *молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, экосистемный* и *биосферный*. Однако следует заметить, что часто выделяют и другие уровни организации, такие, как уровень сообщества (консорции), органов и тканей (его вы подробно изучали в 8 классе), клеточных органоидов и т. п., — это переходные уровни между пятью основными (рис. 12).

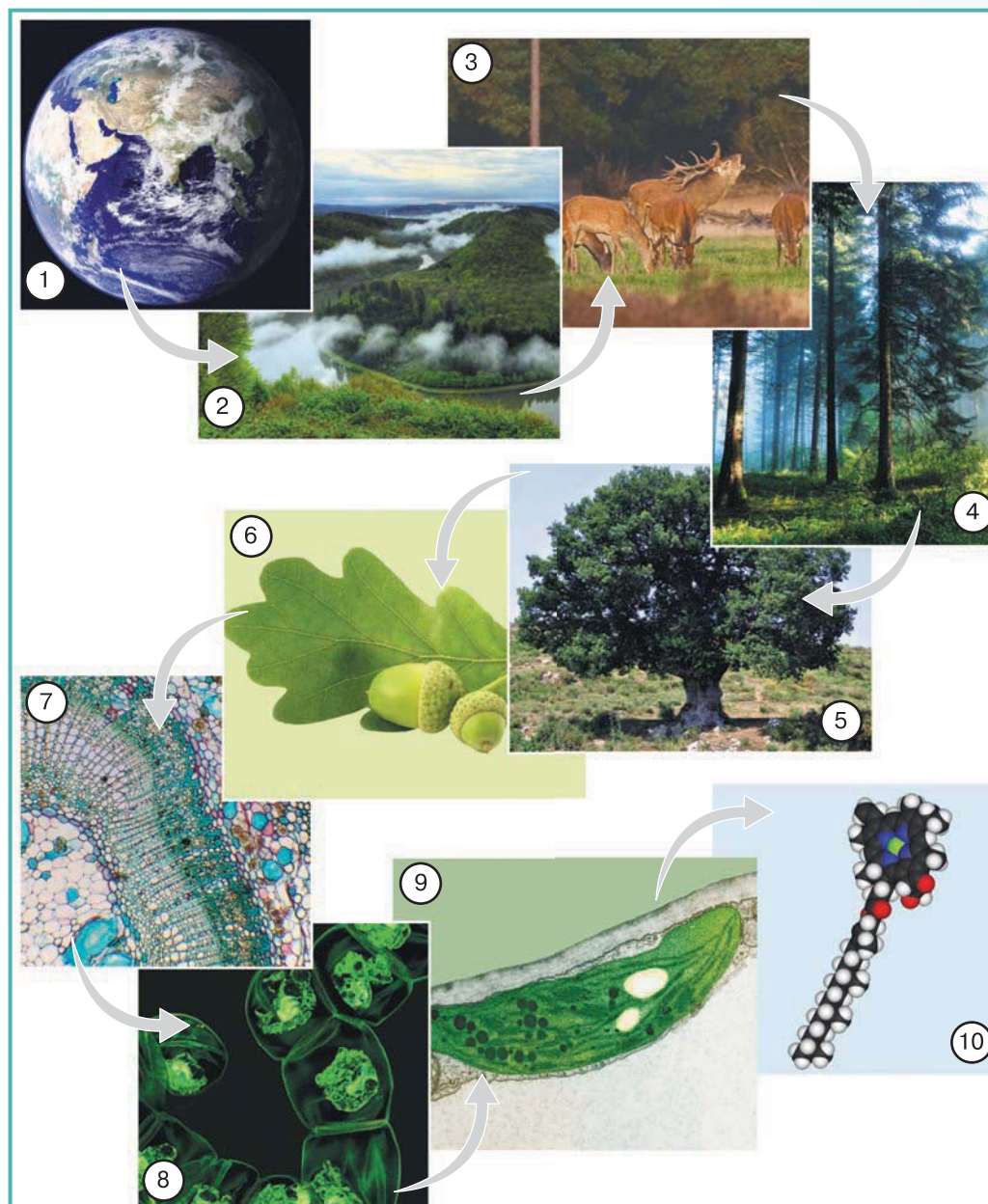


Рис. 12. Уровни организации живой природы: 1 — биосферный уровень, 2 — экосистемный уровень, 3 — уровень сообщества, 4 — популяционный уровень, 5 — организменный уровень, 6 — уровень органов и систем органов, 7 — тканевый уровень, 8 — клеточный уровень, 9 — уровень клеточных органоидов, 10 — молекулярный уровень



Всем живым системам, независимо от уровня организации, присущи общие черты, а сами они находятся в непрерывном взаимодействии. Но не все биологические системы доступны исследователю для непосредственного изучения (наблюдения), поэтому в биологии, да и в других науках, учёные часто применяют *редукционный подход*, предполагающий необходимость детального изучения отдельных структурных компонентов системы на более низких уровнях её организации. Это изучение основано на анализе взаимодействия отдельных частей целого. Последующий синтез позволяет установить наличие у изучаемой системы новых, так называемых *эмерджентных свойств*, которые часто могут выступать в качестве классификационного (систематического) признака системы.



Эмерджентность, или эмергентность (от англ. *emergent* — возникающий, неожиданно появляющийся) — наличие у какой-либо системы особых свойств, не присущих её отдельным элементам, а также сумме каких-либо элементов, не связанных особыми системообразующими связями, т. е. несводимость свойств системы к сумме свойств её компонентов (синоним «системный эффект»).

В биологии понятие эмерджентности можно выразить следующим образом: одно дерево — это не лес, скопление отдельных клеток — это не организм. Например, свойства биологического вида или биологической популяции не являются одновременно свойствами отдельных особей. В частности, такие понятия, как «наследственность», «рождаемость», «смертность», неприменимы к отдельной особи, но применимы к популяции или виду в целом.

Изучение различных уровней организации биологических систем даёт возможность представить, как могли возникнуть первые живые организмы и как происходил на Земле процесс эволюции от относительно просто устроенных систем к более сложным и высокоорганизованным.

Энергия и материя как основа существования биологических систем. Фундаментальной характеристикой биологических систем является их материальная природа, а также использование энергии для осуществления своей жизнедеятельности. То есть все компоненты биологических систем любого уровня организации представляют собой физические тела, образованные химическими веществами. Движение, рост, размножение и другие проявления клеточной активности — всё это работа (с точки зрения физики), а любая работа требует затрат энергии.

Оба этих свойства сближают биологические системы с любыми другими материальными системами неживой природы. Фундаментальным отличием первых от вторых является их ярко выраженная открытость, предполагающая постоянный ток через них вещества и энергии. Именно поэтому при характеристике основных жизненных свойств мы в первую очередь говорим об обмене веществ. При этом исходной энергией в биологических системах является прежде всего энергия Солнца, ну а преобразование энергии из одной формы в другую делает жизнь возможной.

Живые системы, в отличие от неживых, постоянно пропуская через себя поток вещества и энергии, не только не разрушаются от этого, но становятся более устойчивыми, или, как говорят физики, понижают свою *энтропию*.



Энтропия (от греч. *entropia* — превращение) — мера неупорядоченности (неопределённости) некоторой системы, характеризующая меру необратимого перехода части энергии упорядоченных процессов (кинетической энергии движущегося тела, энергии активации химических реакций и т. п.) в энергию неупорядоченных процессов, в конечном счёте в теплоту.

По словам одного из создателей квантовой физики *Эрвина Шрёдингера* (1887—1961), «...живой организм непрерывно увеличивает свою энтропию, или, иначе, производит положительную энтропию и, таким образом, приближается к опасному состоянию максимальной энтропии, представляющему собой смерть. Он может избежать этого состояния, т. е. оставаться живым, только постоянно извлекая из окружающей его среды отрицательную энтропию. Отрицательная энтропия — это то, чем организм питается. Или, чтобы выразить это менее парадоксально, существенно в обмене веществ то, что организму удаётся освободиться от всей той энтропии, которую он вынужден производить, пока жив».

В процессе фотосинтеза листья растений поглощают солнечный свет и углекислый газ, а молекулы хлорофилла в листьях способствуют преобразованию энергии солнечного света в химическую, которая запасается в продуктах жизнедеятельности растения, прежде всего таких, как сахар. Затем эта энергия, запасаясь в результате дыхания, т. е. разложения органических веществ, идёт на обеспечение процессов жизнедеятельности клеток самого растения, а также растительноядных животных и поедающих их хищников. В конце концов простые минеральные вещества, входящие в состав сложных органических, могут быть возвращены в окружающую среду такими организмами, как бактерии и грибы. Благодаря этому они снова становятся доступными для растений, завершив тем самым полный цикл своего круговорота в природе.

В основе жизни лежит хранение, реализация и передача генетической информации в череде поколений. Именно генетическая информация обуславливает особенности строения биологической системы, а точнее, её элементарного структурного и функционального компонента, т. е. клетки. Вам уже известно, что внутри её, в структурах, называемых хромосомами (которые можно рассмотреть в клетке с помощью микроскопа только на определённых стадиях её жизни), содержится генетический материал, представленный прежде всего дезоксирибонуклеиновой кислотой (ДНК). Молекулярная структура ДНК обуславливает её способность хранить и воспроизводить заложенную в ней наследственную информацию, а также передавать её из поколения в поколение.

Взаимодействие компонентов биологических систем и саморегуляция. На любом уровне биологической иерархии взаимодействие между компонентами системы обеспечивает интеграцию всех её частей так, что они функционируют как единое целое. В основе этого лежат различные процессы **саморегуляции**, основанные на *механизме обратной связи*. Благодаря этому механизму конечный продукт осуществляемого процесса жизнедеятельности системы непосредственно регулирует его протекание. Наиболее распространённой формой этого процесса является регуляция по пути отрицательной обратной связи. Например, повышенное усвоение глюкозы клетками приводит к уменьшению содержания глюкозы в

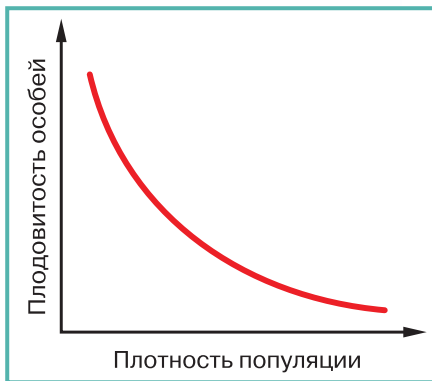


Рис. 13. Зависимость между плодовитостью особей и плотностью популяции

крови, что, в свою очередь, является стимулом к уменьшению секреции инсулина. Увеличение концентрации углекислого газа в крови человека приводит к учащению дыхания, что способствует обогащению крови кислородом и последующему снижению в ней концентрации углекислого газа.

В надорганизменных биологических системах, например в популяциях, на основе механизма отрицательной обратной связи обеспечивается относительное постоянство численности особей, входящих в их состав. Так, в популяциях грызунов (например, крыс) можно наблюдать обратную зависимость между их плотностью и плодовитостью особей (рис. 13).

Эволюция (эволюционные процессы). Жизнь развивалась на нашей планете миллиарды лет, в результате чего сейчас на ней существует огромное разнообразие организмов. Однако по обнаруженным палеонтологами ископаемым останкам вымерших организмов мы можем судить о существовании на Земле ещё большего разнообразия жизни в предшествующие геологические эпохи. Тем не менее, несмотря на всё это разнообразие, мы можем наблюдать у организмов, являющихся представителями разных биологических видов, множество общих черт. Например, в то время как различные представители рыб, птиц и млекопитающих внешне выглядят по-разному, их скелеты в общих чертах имеют сходное строение.

Научное объяснение этого единства и многообразия организмов предоставляет нам *теория эволюции*. Основная идея этой теории заключается в том, что все организмы, жившие и живущие в настоящее время на Земле, являются модифицированными потомками их общих предков. Исходя из этого положения, мы можем объяснить причины различия черт (признаков) организмов, принадлежащих к разным видам, и эти изменения произошли в череде поколений не у отдельно взятого организма, а у целой группы особей одного вида в процессе адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды в конкретном месте их проживания.

Разумеется, современные представления о механизмах эволюции гораздо шире и многограннее. Позже мы вернёмся к более детальному изучению данного вопроса.



**СИСТЕМА ● БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ● ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ ●
САМОРЕГУЛЯЦИЯ ● ЭНТРОПИЯ ● ЭВОЛЮЦИЯ**

ПОДУМАЙТЕ

Почему владение фундаментальными положениями (понятиями) биологической науки, как правило, позволяет оценить достоверность биологической информации, получаемой из различных информационных источников



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какие уровни организации живого выделяют в биологии?
2. Что является материальной основой существования биологических систем?
3. Что такое генетическая информация и какое значение она имеет для биологической системы любого уровня организации? Приведите примеры.
4. Что позволяет компонентам биологической системы взаимодействовать как единое целое? Какие механизмы лежат в основе этих процессов?
5. Какая фундаментальная идея лежит в основе научного объяснения единства и многообразия жизни?

Совершенствуемся

1. Используя рисунок 12, связным текстом опишите последовательность, изображающую восходящую иерархию биологических систем, начиная с молекулярного уровня. Например: «Молекула состоит из атомов, соединённых друг с другом».
2. Какое значение имеет изучение свойств биологических систем на различных уровнях организации?

Это интересно

Взаимосвязь строения и функций в биологических системах. На каждом уровне организации живого (биологической иерархии) мы можем установить наличие взаимосвязи между особенностями строения системы и выполняемыми ею функциями. Рассмотрим в качестве примера живую клетку. Как вам известно, она является основной структурной и функциональной единицей живого. То есть она представляет собой наименьшую единицу биологической системы, которая может выполнить все процессы, необходимые для жизни.

Номинально строение клетки зависит от того, какие вещества (органические и неорганические молекулы) входят в её состав (вспомните особенности химического состава клеток, принадлежащих различным царствам живой природы). В то же время важно понимать, что химический состав и особенности строения клетки зависят прежде всего от особенностей реализации заложенной в ней наследственной информации в приемлемых для развития условиях окружающей





среды. Ну а функциональные возможности клетки зависят, в свою очередь, от особенностей её строения.

Какой процесс жизнедеятельности мы бы ни взяли, он обязательно основан на выполнении клетками своих специфических функций. Например, движения глаз в то время, когда вы читаете, являются результатом согласованной деятельности мышечных и нервных клеток. Даже процесс фиксации атомов углерода, который происходит в планетарном масштабе, есть закономерный итог происходящих в клетке процессов — в частности, результат фотосинтетической активности хлоропластов в клетках листьев зелёных растений.

Саморегуляция на основе положительной обратной связи. В природе существуют жизненные процессы, регулируемые за счёт механизма положительной обратной связи, хотя они и менее распространены, чем механизмы регуляции с отрицательной обратной связью. При таких способах саморегуляции конечный продукт интенсифицирует процесс собственного производства.

Примером может быть образование тромба в ответ на повреждение сосуда, которое всегда сопровождается немедленной активацией тромбоцитов. Они присоединяются к повреждённым тканям и друг к другу, формируя агрегаты, которые препятствуют потере крови. Из этих тромбоцитов усиленно секретируются тромбоцитарные факторы, участвующие в обеспечении свёртывания крови.

Одновременно с этим в крови происходит активация плазменных факторов: образование белка тромбина, который воздействует на фибриноген с образованием сетки из нитей белка фибрина. В ней застревают отдельные эритроциты и лейкоциты и образуется тромбоцитарно-фибриновый сгусток (или тромбоцитарная пробка). Благодаря белку тромбостенину тромбоциты подтягиваются друг к другу, в результате чего тромбоцитарная пробка сокращается и уплотняется.

Другим примером положительной обратной связи является генерация возбуждения в нервных клетках. При стимуляции нейронов возникает небольшая утечка ионов натрия через каналы внутрь клеток. Входящий внутрь натрий изменяет мембранный потенциал, что приводит к ещё большему открытию каналов, а это, в свою очередь, к ещё большему изменению потенциала и т. д.

Таким образом, небольшая утечка ионов в итоге запускает лавинообразное проникновение натрия в нейрон, в результате чего формируется потенциал действия. В свою очередь, этот потенциал, возникнув в одной точке мембраны, вызывает изменения разности потенциалов в других местах плазмалеммы, т. е. распространяется по ней как снаружи, так и внутри. Этот процесс повторяется вновь и вновь, пока импульс не достигнет окончания отростка нервной клетки, т. е. синапса, где под его воздействием произойдёт выработка медиатора, который станет стимулятором для образования потенциала действия в соседнем нейроне.

В приведённых выше примерах положительная связь является частью регуляции более масштабных процессов, осуществляющихся на основе отрицательной обратной связи. Например, положительная связь в случае с образованием тромба является частью механизма отрицательной связи по поддержанию постоянного



объёма циркулирующей крови. То же самое относится и к положительной связи, формирующей нервный импульс, поскольку она позволяет нервным клеткам участвовать в многочисленных системах нервной регуляции на основе отрицательной обратной связи.

Ещё одним примером положительной обратной связи может служить процесс заболачивания территории после вырубки леса. Это происходит потому, что из-за гибели большинства растений во время вырубки вода начинает накапливаться в почве — её просто некому высасывать оттуда. Следствием этого является уплотнение почвы, дальнейшее накопление воды и рост растений-влагонакопителей.

Все эти процессы ведут к обеднению почвы кислородом, из-за чего замедляется разложение растительных остатков. А это, в свою очередь, способствует накоплению торфа и дальнейшему усилению заболачивания. В результате уже через несколько десятков лет на месте, где когда-то был лес, образуется непроходимое торфяное болото. Следует заметить, что в данном примере положительная обратная связь не является частью регуляции более масштабных процессов, осуществляющихся на основе отрицательной обратной связи.

Часто регуляция на основе положительной обратной связи встречается и в эволюционных процессах. Известно, что появление одного нового вида сразу же приводит к возникновению других новых видов, связанных с ним различными биотическими взаимоотношениями. Так, например, появление нового вида травоядных животных автоматически создаёт вакантные экологические ниши для новых хищников, паразитов, падальщиков и насекомых-навозников. Кроме того, возникновение новых травоядных является фактором, ускоряющим эволюцию растений, служащих для них пищей или зависящих от распространения представителями данного вида семян.

В свою очередь, новые виды хищников и паразитов начинают влиять на эволюцию своих травоядных жертв. Это взаимоотношение описывает так называемая гипотеза эффекта Чёрной Королевы (The Red Queen Effect), которая говорит о том, что *«относительно эволюционной системы виду необходимы постоянное изменение и адаптация, чтобы поддерживать его существование в окружающем биологическом мире, постоянно эволюционирующем вместе с ним»*. Данная гипотеза была названа в честь одноимённого персонажа сказки Льюиса Кэрролла «Алиса в Зазеркалье», считавшей, что «здесь, знаешь ли, приходится бежать со всех ног, чтобы только остаться на том же месте».

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Механизмы саморегуляции» на с. 200.





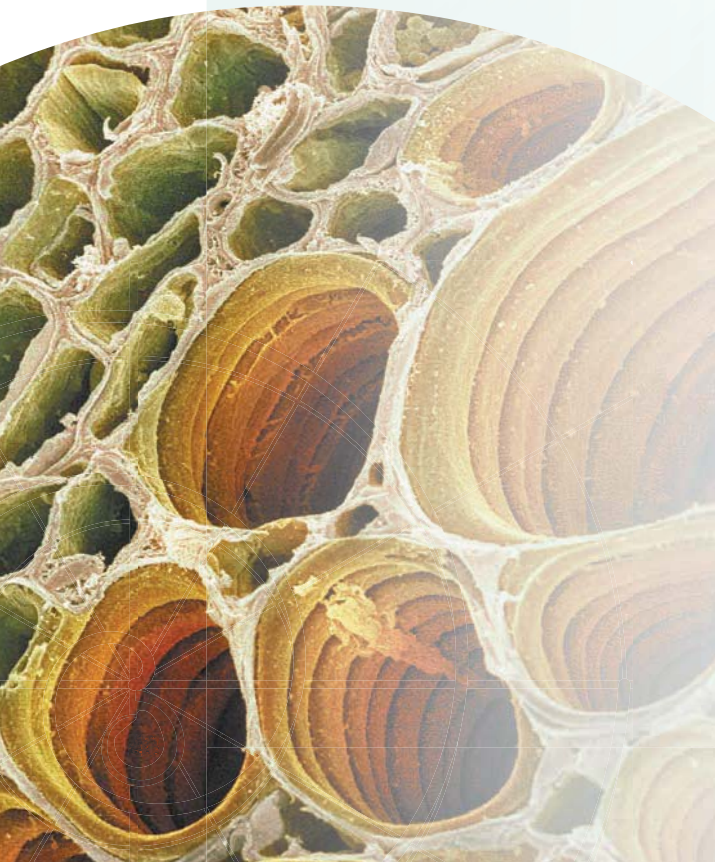
КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Составлением современной научной картины мира занимается целый комплекс естественных наук. Особое место в её формировании занимает биология, чья основная функция заключается в изучении и раскрытии общих законов и закономерностей развития живой природы.

Человек накапливал биологические знания на протяжении многих тысячелетий. По мере их накопления происходила дифференциация биологии на самостоятельные научные дисциплины: ботанику, зоологию, цитологию, генетику и др. В настоящее время осуществляется интеграция наук, поэтому многие открытия в биологии делаются на стыке нескольких научных направлений, в связи с чем биологию часто характеризуют как комплексную науку.

В качестве объекта изучения биология рассматривает основные проявления жизни на различных уровнях её организации, а точнее, на различных уровнях организации биологических систем. Среди этих уровней выделяют молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, экосистемный и биосферный. Для их исследования применяются различные методы, такие, как наблюдение, описание, измерение, сравнение, моделирование, эксперимент и др.

Биологические системы независимо от уровня организации обладают общими признаками (критериями). Во-первых, все они являются открытыми, т. е. получающими энергию и питательные вещества из окружающей среды, а также способными к обмену веществ с окружающей средой. Во-вторых, они имеют сходный химический состав. Также биологические системы реагируют на внешние воздействия; содержат передающуюся по наследству генетическую информацию, необходимую им для развития и размножения; приспосабливаются к определённой среде обитания и т. п. Кроме того, все биологические системы находятся в непрерывном взаимодействии друг с другом и постоянно эволюционируют.





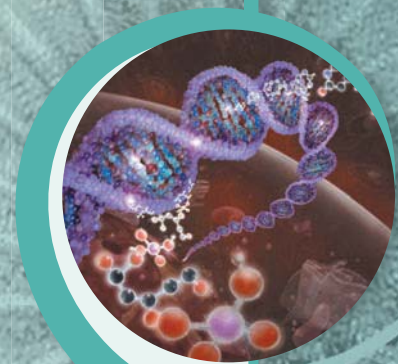
ГЛАВА 1

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ



Дж. Уотсон

Как бы сложно ни была организована биологическая система, особенности проявления её жизненных свойств зависят прежде всего от функционирования входящих в её состав биологических молекул — белков, углеводов, жиров (липидов), нуклеиновых кислот и других органических веществ. Исследуя эти важнейшие биологические соединения на молекулярном уровне, учёные изучают их роль в процессах жизнедеятельности на более высоких уровнях организации, например при росте и развитии организмов, хранении и передаче ими наследственной информации, обмене веществ и превращении энергии в живых клетках и т. д.



ВЫ УЗНАЕТЕ:

- о молекулярных основах жизни;
- о химическом составе организмов (биологических систем);
- о структурных и функциональных особенностях биологических молекул, обуславливающих особенности молекулярного уровня организации живого;
- о вирусах как неклеточной форме жизни и профилактике вирусных заболеваний.



ВЫ НАУЧИТЕСЬ:

- пользоваться биологической терминологией и символикой при характеристике молекулярного уровня организации живого;
- владеть основными методами познания, используемыми для изучения биологических молекул, и объяснять результаты биологических экспериментов по их изучению.



§ 5

Молекулярный уровень: общая характеристика

Вспомните:

1. Каковы основные положения атомно-молекулярного учения?
2. Что такое химические элементы? Как устроены атомы разных химических элементов?
3. Чем различаются свойства химических элементов главных и побочных подгрупп из левой и правой частей таблицы Менделеева?
4. Что такое валентные электроны

Химический состав организмов. Живые организмы, как и объекты неживой природы, состоят из различных химических элементов, которых в природе насчитывается около ста. Однако как по структуре химических соединений, входящих в их состав, так и по набору и содержанию химических элементов между неживыми и живыми системами имеются существенные различия. В живых системах в значительных количествах встречаются кислород, углерод, водород и азот (в сумме около 96 %). Вместе с ещё восьмью химическими элементами, содержание которых в живых организмах превышает 0,01 %, их называют **макроэлементами** (табл. 1).

Таблица 1

Содержание некоторых химических элементов
в организме человека и в земной коре (% по массе)

№	Химический элемент	Организм человека	Земная кора
1	Кислород (O)	62	49
2	Углерод (C)	21	0,35
3	Водород (H)	10	1,0
4	Азот (N)	3,0	0,04
5	Кальций (Ca)	2,0	3,25
6	Фосфор (P)	1,0	0,125
7	Калий (K)	0,23	2,35
8	Сера (S)	0,16	0,1
9	Хлор (Cl)	0,1	0,2
10	Натрий (Na)	0,08	2,4
11	Магний (Mg)	0,027	2,35
12	Железо (Fe)	0,01	4,2



Всего в живых организмах найдено более 80 химических элементов, однако содержание большинства из них крайне мало (их называют **микроэлементами**). Тем не менее они крайне необходимы для жизнедеятельности организмов — например, такой микроэлемент, как кобальт, входит в состав важнейшего для организма витамина B_{12} . При недостаточном содержании или отсутствии микроэлементов могут возникнуть серьёзные заболевания. Так, недостаток иода приводит к болезням щитовидной железы (эндемический зоб), недостаток фтора — к нарушениям развития эмали зубов.

Атомы и молекулы. Из школьных курсов физики и химии вам уже известны основные положения атомно-молекулярного учения, согласно которому почти все встречающиеся в природе вещества состоят из молекул (впрочем, есть вещества, состоящие непосредственно из атомов). А вот **молекулы**, в свою очередь, состоят из атомов различных химических элементов.

Атом (от греч. *атомос* — неделимый, неразрезаемый) — частица вещества микроскопических размеров и массы, наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств.

Разумеется, с момента появления атомно-молекулярного учения современные представления о структуре атома и его неделимости значительно расширились, но нам в процессе характеристики молекулярного уровня организации живого важно знать, что атом состоит из атомного ядра и электронов, образующих вокруг него электронное облако. Структура атомов некоторых химических элементов схематически представлена на рисунке (рис. 14).

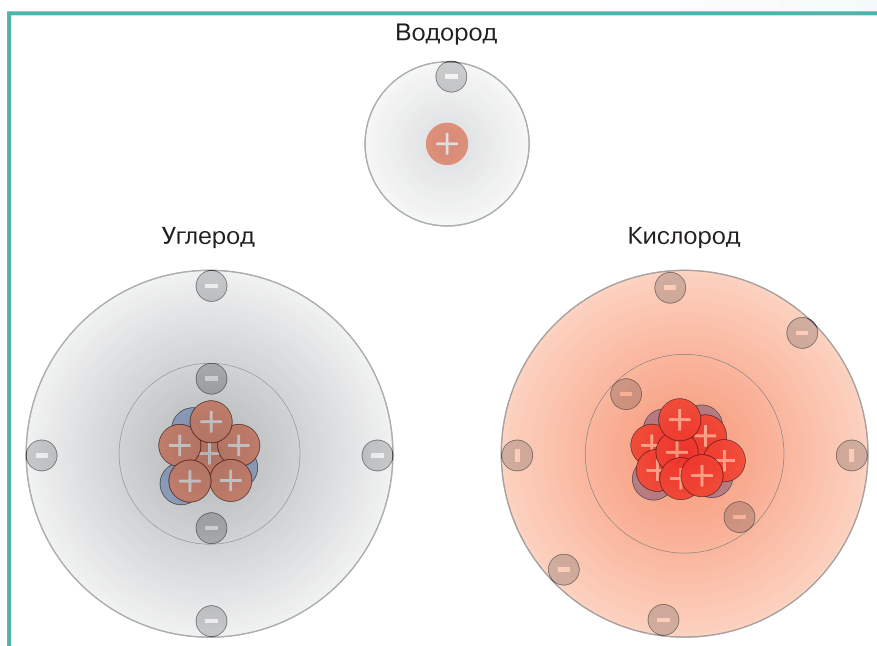


Рис. 14. Схемы строения атомов водорода, кислорода и углерода

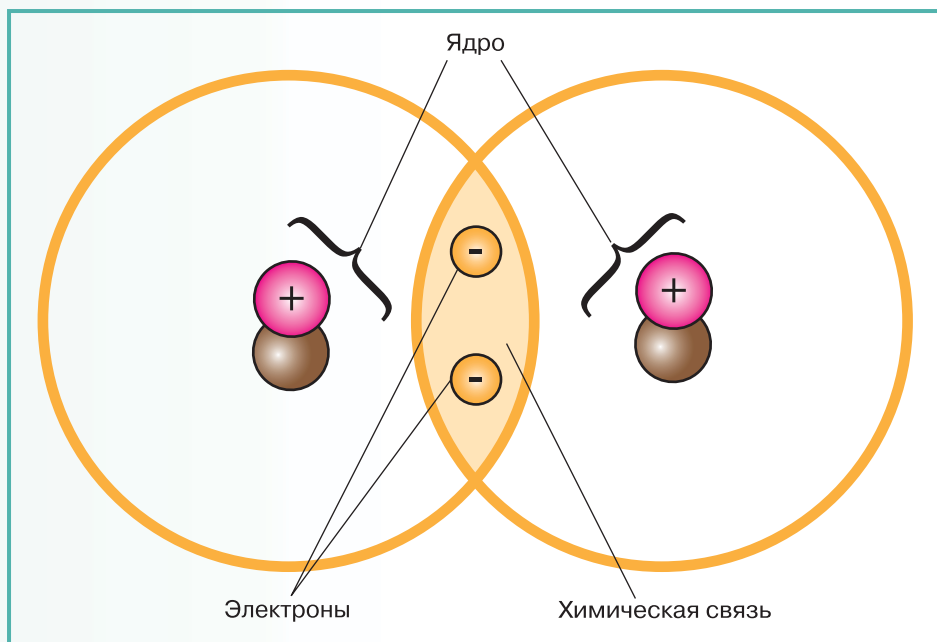


Рис. 15. Схема образования химической связи

Образование молекул различных веществ обеспечивается возникновением **химической связи** между входящими в их состав атомами. Эти связи возникают вследствие объединения электронных оболочек атомов, которые образуют молекулу (рис. 15).

Как видно из рисунка, особенности образующейся химической связи и собственно строение самой молекулы зависят от количества неспаренных электронов на внешних электронных оболочках образующих её атомов, которые называют *валентными*.

Химическую связь, образующуюся в молекулах между атомами за счёт объединения валентных электронов, называют **ковалентной связью**.

Путём образования ковалентных связей атомы стремятся заполнить свои внешние валентные оболочки. При этом атомы одних химических элементов (например, водорода и металлов) чаще выступают в качестве доноров электронов, «отдавая» их атомам других элементов. В то же время атомы других элементов (например, кислорода и галогенов) являются акцепторами электронов, стремясь «отобрать» их у соседей. Если объединяется одна пара электронов, связь называется одинарной, если две — двойной и т. д. Такие связи весьма прочные, поэтому молекулы большинства веществ достаточно стабильны.

Неорганические и органические вещества. Значительная часть соединений, входящих в состав клетки, встречается только в живой природе. Почти все подобные молекулы, за небольшим исключением, относятся к соединениям углерода, которые называют **органическими веществами**. Кроме того, в клетках в значитель-

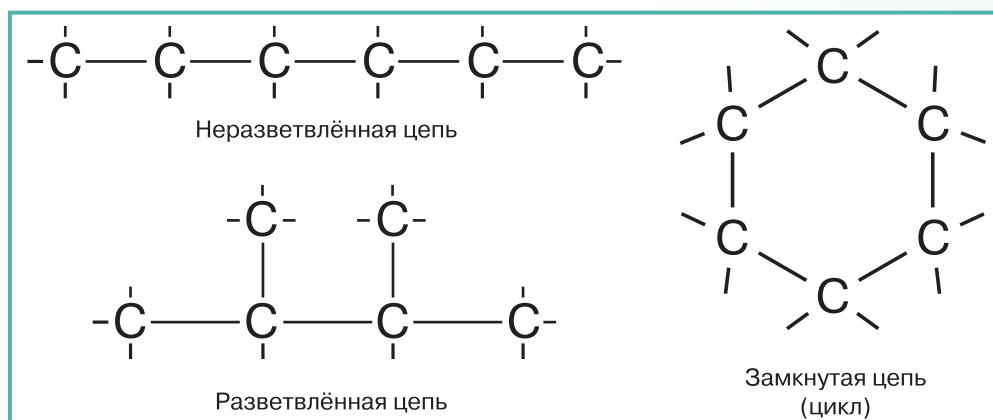


Рис. 16. Углеродный скелет

ных количествах представлены и **неорганические вещества**: вода и некоторые соли, которые нужны для осуществления функций живых организмов.

Очень важным свойством атома углерода является его способность образовывать связи сразу с четырьмя другими такими же атомами. Благодаря этой способности атомы углерода могут образовывать каркасы огромного количества разнообразных биологических молекул, которые называют *углеродными скелетами* (рис. 16).

Большинство органических веществ состоит из небольшого количества элементов: в них, помимо *углерода*, входит *водород*, а многие содержат ещё *кислород* и *азот*. Для заполнения внешней орбиты углероду недостаёт четырёх электронов, поэтому он может образовать четыре общие электронные пары (т. е. четыре связи). Азоту для заполнения валентной оболочки недостаёт трёх электронов, кислороду — двух, а водороду — одного. Кроме того, углерод, азот и кислород способны также образовывать двойные связи (а углерод и азот — ещё и тройные). Это значительно увеличивает разнообразие органических веществ и придаёт им новые свойства. В состав многих органических соединений входят также *сера* и *фосфор*.

Многообразие органических веществ.

Органические вещества — это сложные углеродсодержащие соединения, имеющие крайне разнообразную структуру и свойства. Они могут быть как низко-, так и высокомолекулярными (так называют вещества, состоящие из громадного количества повторяющихся элементарных звеньев и характеризующиеся большой молекулярной массой, а низкомолекулярные вещества, напротив, имеют небольшой молекулярный вес),

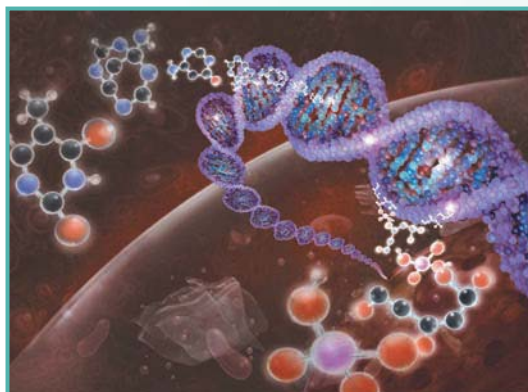


Рис. 17. Многообразие органических веществ: справа мы видим молекулу ДНК — высокомолекулярный линейный полимер, а слева — входящие в её состав азотистые основания (низкомолекулярные циклические вещества)

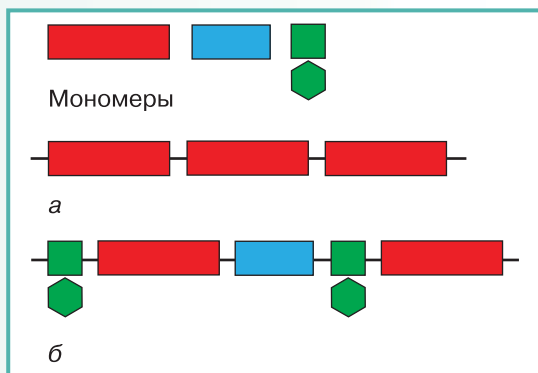


Рис. 18. Схема строения полимеров: а — гомополимер, б — гетерополимер

линейными или циклическими, гидрофильными или гидрофобными (см. § 6). Их общее количество во много раз превосходит таковое всех известных неорганических веществ (рис. 17).

На этих свойствах основана классификация органических веществ, хотя в ряде случаев данный принцип строго не соблюдается. Например, в группу *витаминов* входят соединения, имеющие различную структуру и химические свойства, однако все они обладают высокой биологической активностью и

необходимы животным и человеку в микроколичествах. А общим свойством липидов является их плохая растворимость в воде, хотя разные группы этих веществ могут сильно различаться по своей структуре.

Биополимеры. В состав живых организмов входят не только *низкомолекулярные* органические вещества (аминокислоты, сахара, органические кислоты, нуклеотиды, липиды и т. д.), но и *высокомолекулярные*, к которым относятся различные *биологические полимеры (биополимеры)* (рис. 18).

Полимеры — это молекулы, состоящие из большого количества повторяющихся единиц (*мономеров*), соединённых друг с другом ковалентными связями и образующих длинные неразветвлённые или разветвлённые цепи.

Все подобные молекулы разделяют на **гомополимеры**, которые состоят из одинаковых *мономеров* (так, полисахариды крахмал, гликоген и целлюлоза состоят из молекул глюкозы), и **гетерополимеры**, которые построены из нескольких различающихся структурных блоков (так, в построении белков участвуют 20 разных аминокислот, а нуклеиновые кислоты состоят из 4 типов нуклеотидов). Гетерополимеры могут быть *регулярными* и *нерегулярными*. Например, белки и нуклеиновые кислоты — это нерегулярные гетерополимеры, поскольку последовательности аминокислот в разных белках или нуклеотидов в ДНК и РНК уникальны и не имеют строгой периодичности, а вот перечисленные среди гомополимеров полисахариды (см. выше) являются типичными регулярными.

АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ • ОРГАНИЧЕСКИЕ И НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА • КОВАЛЕНТНАЯ СВЯЗЬ • МАКРОЭЛЕМЕНТЫ • МИКРОЭЛЕМЕНТЫ • БИОПОЛИМЕРЫ: ГОМОПОЛИМЕРЫ И ГЕТЕРОПОЛИМЕРЫ

ПОДУМАЙТЕ

Основные макроэлементы, в первую очередь углерод, водород и азот, присутствуют в живых организмах в больших количествах, чем в неживой природе. Почему? Что из этого следует?



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какие химические элементы относят к группе макроэлементов и почему?
2. Из чего состоят молекулы различных веществ? Что лежит в основе образования их структуры?
3. Что лежит в основе разделения веществ на органические и неорганические?
4. Какие особенности атомов углерода обуславливают многообразие органических веществ в природе?
5. Какие органические вещества являются биополимерами? Приведите примеры известных вам регулярных и нерегулярных полимеров, гомо- и гетерополимеров.

Совершенствуемся

1. Используя данные таблицы 1, постройте диаграмму, отражающую содержание указанных в ней химических элементов в организме человека и в земной коре (% по массе).
2. Прочитайте статью «Химические связи в молекулах веществ». Составьте схему образования молекул известных вам веществ: водорода (H_2), кислорода (O_2), воды (H_2O), хлорида натрия ($NaCl$) и метана (CH_4). Подпишите на схеме названия типов химических связей, участвующих в их образовании.
3. Используя материалы свободной интернет-энциклопедии «Википедия», обобщите собственные представления о строении атома и молекул. Оформите их в виде таблицы.
4. Используя доступные информационные источники, найдите и рассмотрите таблицу химических элементов Д. И. Менделеева. Найдите в ней элементы, относящиеся к микро- и макроэлементам. Атомы нескольких химических элементов обладают строением, сходным со строением атомов углерода. Назовите эти элементы. Могли бы они заменить углерод в структуре органических веществ? Ответ обоснуйте и подкрепите известными вам примерами.

Обсуждаем

Какую проблему необходимо учитывать учёным в связи с разработкой и внедрением в производство новых искусственно созданных органических веществ? Обсудите это с учителем и одноклассниками.





Химические связи в молекулах веществ. Если в молекулу объединяются атомы одного и того же элемента или близких по своим свойствам элементов, то электроны «делятся» между ними поровну, и ковалентная связь является *неполярной*. Так, в молекуле H_2 имеется одинарная неполярная ковалентная связь, а в молекуле O_2 — двойная неполярная ковалентная связь. Если же атомы значительно различаются по своей способности притягивать электроны (это свойство называют электроотрицательностью), то более электроотрицательный атом «перетягивает» электронную пару на себя и приобретает частичный отрицательный заряд ($\delta-$, или «дельта минус»), а менее электроотрицательный атом приобретает частичный положительный заряд ($\delta+$, или «дельта плюс»). Например, в молекуле воды (H_2O) атом кислорода имеет частичный отрицательный заряд, а атомы водорода — частичный положительный. Связи в таких молекулах называют ковалентными *полярными* связями.

Если взаимодействующие атомы очень сильно различаются по своей электроотрицательности, то один из них может полностью «потерять» свой электрон (или электроны) и превратиться в положительно заряженный ион (*катион*). В свою очередь, другой атом может присоединить чужой электрон (электроны) и превратиться в отрицательно заряженный ион (*анион*). Связи в таких веществах называют *ионными*.

Веществами, образованными за счёт ионных связей, являются *соли*. В сухом виде многие из них представляют собой кристаллы (например, $NaCl$ или $MgCl_2$), которые в воде распадаются не на отдельные молекулы, а на составляющие их катионы (Na^+ , Mg^{2+}) и анионы (Cl^-). В виде ионов могут также находиться молекулы, состоящие из разных атомов, связанных между собой ковалентными связями (*комплексные ионы*). Так, в водных растворах катионом является аммоний (NH_4^+), а анионами — остатки неорганических и органических кислот (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CH_3COO^-).

Это интересно

В настоящее время известно 120 химических элементов. Из них 94 в различных количествах встречаются на Земле, остальные же были получены искусственным путём с помощью ядерных реакций. В природе они до сих пор не обнаружены. Массовая доля отдельных химических элементов в земной коре также не одинакова. На десять самых распространённых из них (кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, калий, натрий, магний, титан и марганец) приходится около 99,2 % вещества земной коры, причём на долю кислорода приходится около 49,4 %, кремния — 25,8 %, алюминия — 7,5 %, железа — 4,7 %. На долю оставшихся названных шести элементов в сумме приходится менее 13 %, а на остальные 84 элемента — всего 0,8 %.

Все наиболее распространённые элементы обладают одной общей чертой — их атомы легко образуют химические связи за счёт спаривания электронов. Так, например, атому водорода для образования стабильной электронной связи на



внешней электронной оболочке не хватает одного электрона, атому кислорода — двух, атому азота — трёх, атому углерода — четырёх электронов. Также углерод, водород и кислород оказались подходящими элементами для образования соединений живой материи ещё и потому, что они являются наиболее лёгкими среди элементов, способных образовывать устойчивые химические связи.

Искусственное получение органических веществ. Ранее считалось, что органические вещества могут синтезировать только живые организмы. Действительно, все встречающиеся в природе представители этого типа соединений входят в состав живых организмов или являются продуктами их жизнедеятельности. Однако сейчас с помощью методов химического синтеза получено огромное количество органических веществ, намного превышающее число известных природных соединений (рис. 19).

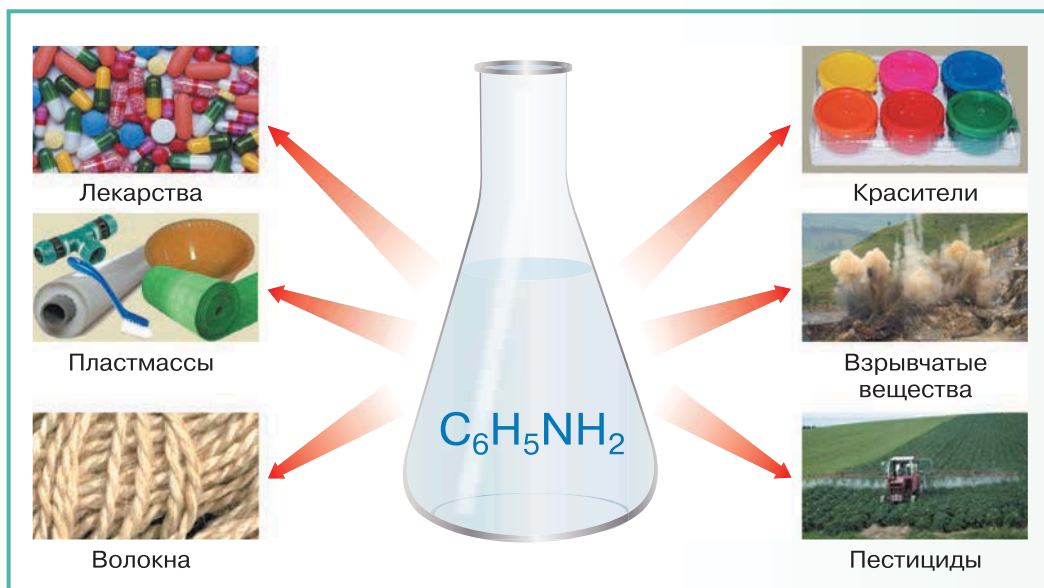


Рис. 19. Анилин — важнейшее из искусственных органических веществ

Кроме того, не так давно были обнаружены крупные скопления различных органических молекул в межзвёздном пространстве некоторых галактик. Не исключено, что некоторые из них образовались сразу после Большого Взрыва, т. е. они намного старше не только Земли, но и всей Солнечной системы!

Могут ли живые существа состоять не из углеродных полимеров? Конечно, жизнь на Земле совсем не случайно основана на соединениях углерода. Этот элемент весьма распространён во Вселенной (четвёртый после гелия, водорода, кислорода). Углерод относительно легко вступает в химические реакции, образуя сложные устойчивые соединения с другими элементами.

Но учёные считают, что в иных космических мирах, богатых металлами и кремнием, жизнь может быть построена на основе других химических элемен-



тов, например азота — и это несмотря на то, что название данного элемента переводится с греческого как «безжизненный».

В начале XXI в. группа учёных под руководством отечественного химика *Артёма Оганова* провела расчёты, согласно которым азот, находящийся в недрах планет-гигантов (вроде нашего Юпитера), может под действием давления образовывать полимерные цепочки. Исследователям удалось смоделировать аналоги многих органических веществ, в которых на месте углерода присутствовал азот. Так что не исключено, что в глубинах планет-гигантов действительно могут обитать инопланетяне, состоящие в основном из азота.

По мнению Артёма Оганова, если в эти полимеры на основе азота добавить другие атомы, такие, как кислород, сера, фосфор и т. п., то химическое разнообразие этих веществ превысит разнообразие всех известных на данный момент углеродных соединений.

Однако вряд ли мы когда-нибудь сможем встретиться с этими существами. Углеродные формы жизни не смогут выдержать чудовищного давления в недрах этих планет, а азотные никогда не смогут подняться к их поверхности, поскольку при ослабевании давления полимеры из азота просто рассыплются.

Другим наиболее вероятным претендентом на роль структурообразующего атома неуглеродных органических соединений является кремний. Этот элемент находится в той же группе Периодической системы, что и углерод, поэтому их свойства во многом схожи между собой. Однако атом кремния имеет бóльшую массу и радиус, чем атом углерода. Именно из-за этого атомам данного элемента сложно образовывать двойную или тройную ковалентную связь, что может помешать образованию биополимеров. Так что полимерные соединения кремния не могут быть настолько разнообразны, как соединения углерода.

В то же время учёные отмечали, что силиконы — гетерополимеры, включающие цепочки чередующихся атомов кремния и кислорода, — более жаропрочны, чем углеродные или просто кремниевые соединения. Это навело их на мысль о том, что кремниевая жизнь может существовать на планетах со средней температурой, значительно превышающей земную. Кроме того, было замечено, что соединения кремния оказываются стабильнее углеродных молекул в среде, содержащей большое количество серной кислоты. Таким образом, кремниевая жизнь вполне может быть распространена на планетах вроде Венеры, температура которой (как и периодически идущие на этой планете дожди из серной кислоты) не оставляет шанса на выживание существам, состоящим из углеродных молекул.

Насколько же велика вероятность возникновения жизни на основе кремния? Для того чтобы оценить её, необходимо принять во внимание тот факт, что такой основной компонент песка, как диоксид кремния, являющийся аналогом углекислого газа в углеродных формах жизни, представляет собой твёрдое и очень плохо растворимое в воде вещество. Поэтому, даже если существование силиконовых биологических молекул всё-таки окажется возможным, вышеупомянутое свойство SiO_2 будет препятствовать свободному поступлению кремния в биологические системы, основанные на водных растворах (чего не наблюдается в случае хорошо растворимого в воде CO_2).



Впрочем, диоксид кремния может находиться в различных агрегатных состояниях: от жидкого до так называемого стеклообразного. Было замечено, что чем выше поднимается температура, тем жиже становится данное вещество. В этом случае появляется возможность существования кремниевой жизни в виде расплава «кремниво-биологических молекул» в диоксиде кремния в весьма широком температурном диапазоне.

Тем не менее из всех полимеров, которые были на сегодняшний день обнаружены в межзвёздной среде, 84 имели в своей основе углеродные цепочки, и только лишь 8 — кремниевые. Более того, половина из вышеназванных силиконов имеет в своём составе атомы углерода, что косвенно указывает на небольшую возможность промежуточного, т. е. кремний-углеродного, варианта жизни. В целом примерное соотношение космического углерода к кремнию составляет 10 к 1. Это наводит на мысль о том, что сложные углеродные соединения всё-таки более распространены во Вселенной, и это весьма сильно снижает вероятность формирования жизни на основе кремния — по крайней мере в тех условиях, которые можно ожидать на поверхностях планет.

Интересно, что на Земле, как и на других планетах земной группы, достаточно много кремния и очень мало углерода, однако земная жизнь развилась на основе последнего. Это свидетельствует в пользу того, что данный элемент куда больше подходит для формирования биохимических процессов на планетах земного типа. Но в то же время остаётся возможность того, что при других комбинациях температуры и давления на поверхности таких планет кремний сможет принять участие в формировании биологических молекул силиконовой природы.

Следует отметить, что многие соединения кремния (в частности, SiO_2) используются некоторыми земными организмами. Например, диатомовые водоросли строят свой панцирь из диоксида кремния, который они добывают на дне водоёмов. В качестве строительного материала соединения кремния также используют радиолярии, некоторые губки и даже млекопитающие — эти вещества входят в состав связок, хрящей и стенок сосудов.



§ 6

Неорганические вещества: вода, соли

Вспомните:

1. Какие вещества называют неорганическими?
2. Какие известные вам организмы содержат много воды?
3. Какие неорганические вещества мы употребляем в пищу? Почему?

Вода (H_2O) является веществом, распространённым как в живой, так и в неживой природе. В среднем она составляет около 70 % от массы живых организмов (её доля колеблется в зависимости от разновидности клетки и возраста организма). Уникальные физические и химические свойства воды определяются особенностями структуры её молекулы (рис. 20), которые возникают в результате специфического расположения электронов в атомах кислорода и водорода.

Два электрона, располагающиеся на внешней электронной орбите атома кислорода в молекуле воды, объединяются с двумя электронами, которые принадлежат атомам водорода (каждый атом водорода имеет на внешней электронной орбите по одному электрону). Вследствие этого между атомом кислорода и двумя атомами водорода образуются две ковалентные связи. Однако, поскольку кислород является более электроотрицательным, чем водород, он в большей степени притягивает к себе электроны, приобретая частичный отрицательный заряд. В свою очередь, каждый из атомов водорода приобретает частичный положительный заряд.

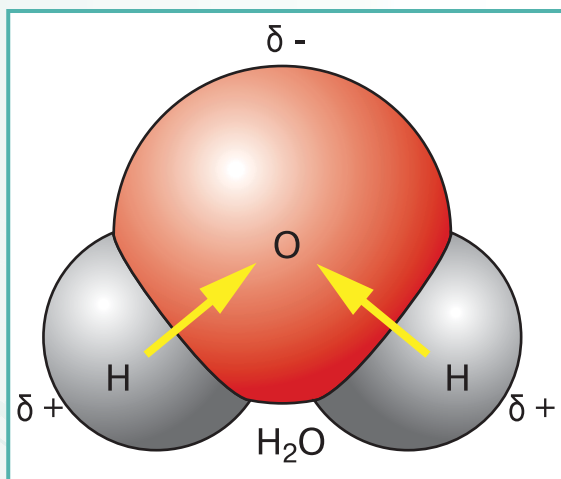


Рис. 20. Строение молекулы воды: δ^- — частичный отрицательный заряд, δ^+ — частичный положительный заряд

В итоге отрицательно заряженный атом кислорода одной молекулы воды притягивается к положительно заряженному атому водорода другой молекулы, что приводит к образованию **водородной связи**. Таким способом отдельные молекулы воды оказываются связанными друг с другом (рис. 21).

Важным свойством водородной связи является её меньшая прочность по сравнению с ковалентной — она слабее примерно в 20 раз. Поэтому водородная связь относительно легко образуется и разрывается. Однако даже при температуре 100 °C между молекулами воды существует ещё достаточ-

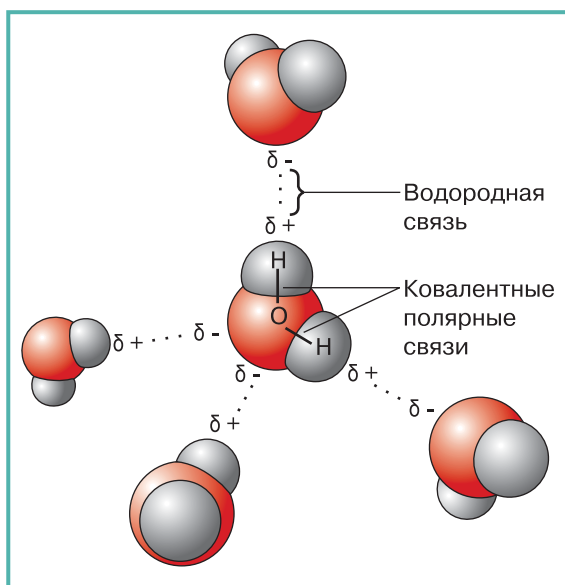


Рис. 21. Водородные связи между молекулами воды

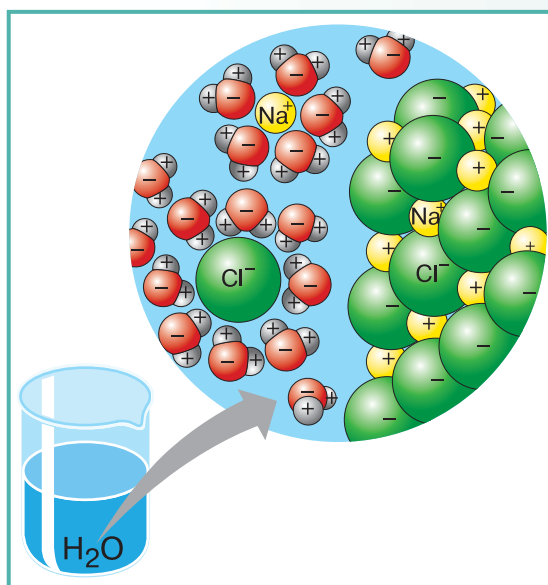


Рис. 22. Вода как растворитель

но сильное взаимодействие. Так что для того чтобы оторвать одну молекулу воды от других, требуется затратить энергию на разрыв водородных связей.

Наличие водородных связей между молекулами воды обеспечивает её структурированность, что и объясняет такие необычные свойства, как высокая температура кипения, плавления и высокая теплоёмкость. Именно высокая *теплоёмкость* (способность поглощать тепло при незначительном изменении собственной температуры) воды предохраняет клетку от резких температурных колебаний, а высокая *теплопроводность* обеспечивает возможность равномерного распределения теплоты между отдельными частями организма. Высокая *теплота испарения* используется живыми организмами для предохранения от перегрева: испарение жидкости растениями и животными охлаждает организм и является защитной реакцией на повышение температуры. Вода практически *несжимаема*, благодаря чему клетки поддерживают свою форму и обладают упругостью. Очень важно, что лёд легче воды, так как вода имеет *максимальную плотность* при +4 °С, поэтому пресные водоёмы не промерзают до дна.

Для живых организмов весьма важно ещё и то, что молекулы воды являются *диполями*. Как уже говорилось выше, атомы водорода в молекуле воды несут частичный положительный заряд, а атомы кислорода — отрицательный. Угол между связями Н—О—Н составляет 104,5°, поэтому отрицательный заряд сосредоточен на одной стороне молекулы, а положительный заряд — на другой. Дипольный характер молекулы воды определяет её способность ориентироваться в электрическом поле. Именно это свойство воды определяет её уникальность как растворителя: если в молекулах веществ содержатся заряженные группы атомов, они вступают в электростатические взаимодействия с молекулами воды и растворяются в ней (рис. 22). Такие вещества называют **гидрофильными**.



В клетках имеется большое количество гидрофильных соединений: это соли, некоторые низкомолекулярные органические соединения (органические кислоты, аминокислоты, простые сахара), а также полимеры (полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты).

Однако есть ряд веществ, которые почти не содержат заряженных атомов, и поэтому они не растворяются в воде. Их называют **гидрофобными**. К этим соединениям относятся, в частности, липиды (жиры). Гидрофобные вещества не взаимодействуют с водой, но хорошо взаимодействуют друг с другом. Благодаря этому свойству липиды, являющиеся гидрофобными соединениями, формируют двумерные структуры (мембраны), почти непроницаемые для воды.

Из-за своей полярности вода растворяет больше химических веществ, чем любой другой растворитель. Именно в цитоплазме, где растворены разнообразные химические вещества, осуществляются многочисленные химические реакции, без которых невозможна жизнедеятельность клетки. Вода растворяет также ненужные клеткам продукты реакций: в растворённом виде они выводятся из них (а также из многоклеточных организмов) во внешнюю среду. За счёт перемещения воды в организмах животных и растений осуществляется обмен различными веществами между тканями.

Вода как химическое соединение обладает одним очень важным свойством: она вступает во многие реакции, протекающие в клетке. В свою очередь, молекулы воды образуются в результате других реакций, которые идут в живых организмах.

Масса атома водорода очень мала, а его единственный электрон в молекуле воды удерживается атомом кислорода. Поэтому протон (ядро атома водорода, лишённое электрона) способен отрываться от молекулы воды. В результате этого образуются гидроксильный ион (OH^-) и свободный протон (H^+):



Этот процесс называется *диссоциацией* воды. Гидроксильные ионы и протоны, образующиеся при этом, также являются участниками многих важных реакций, протекающих в организме.

Соли. Кроме воды, важную роль в жизнедеятельности клетки играют растворённые в ней соли, которые представлены главным образом катионами калия (K^+), натрия (Na^+), магния (Mg^{2+}), кальция (Ca^{2+}) и других металлов, а также анионами соляной (Cl^-), угольной (HCO_3^-) и фосфорных кислот (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}).

Многие катионы распределены неравномерно между клеткой и её окружением: так, в цитоплазме наблюдается более высокая концентрация K^+ по сравнению с окружающей клетку средой, в то время как концентрация Na^+ и Ca^{2+} там ниже, чем снаружи клетки. Внешней же по отношению к клетке может быть как природная среда (например, океан), так и жидкости организма (кровь, тканевая жидкость), которые по ионному составу близки к морской воде. Неравномерное распределение ионов между клеткой и окружающей



средой необходимо для осуществления многих важных для жизнедеятельности процессов, в частности для проведения возбуждения по нервным и мышечным клеткам, а также для сокращения мышц. Однако, как мы помним, между клеткой и окружающей средой всё время осуществляется диффузия — процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого, приводящий к самопроизвольному выравниванию их концентраций по всему занимаемому объёму. Все ионы стремятся к более равномерному распределению по обе стороны клеточной мембраны, но этого клетка не может допустить. На противостояние диффузии она затрачивает значительную часть образующейся в ней энергии. После смерти клетки концентрация катионов вне клетки и внутри её быстро становится одинаковой.

Каждое неорганическое вещество или составляющие его атомы (ионы) играют определённую роль в жизни клетки. Так, ионы Na^+ и K^+ нужны для образования нервных импульсов, ионы Ca^{2+} необходимы для свёртывания крови и работы сократительных элементов мышечных клеток. Анионы угольной и фосфорной кислот нужны для поддержания постоянства внутриклеточного pH, т. е. они играют роль *буферных соединений* (подробнее о том, что это такое, вы можете прочитать в рубрике «Это интересно»). Соединения азота служат источником минерального питания, синтеза белков, нуклеиновых кислот.

Часто неорганические вещества или их атомы могут входить в состав органических молекул. Например, атомы фосфора входят в состав нуклеиновых кислот и фосфолипидов — основного компонента клеточных мембран (подробнее о них вы узнаете из § 7). Сера присутствует во многих белках, а железо является обязательным компонентом активного центра гемоглобина — белка красных кровяных клеток, способного образовывать связи с кислородом.

Неорганические и органические вещества содержатся в живых организмах не только в растворённом, но и в твёрдом состоянии. Например, кости формируются главным образом из фосфата кальция (в меньших количествах в них присутствует и фосфат магния), раковины моллюсков — из карбоната кальция, а кристаллы некоторых органических кислот могут откладываться в листьях растений.

ВОДОРОДНАЯ СВЯЗЬ ● ГИДРОФИЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА ● ГИДРОФОБНЫЕ ВЕЩЕСТВА

ПОДУМАЙТЕ

Уникальные свойства воды определяются в том числе существованием между её молекулами водородных связей. Возможно ли существование таких связей между молекулами других веществ

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какие неорганические вещества содержатся в живых организмах?
2. Что определяет уникальные физические и химические свойства воды, столь важные для существования живой материи?
3. Какие химические связи называют водородными?
4. Какие физико-химические свойства воды наиболее важны для обеспечения жизнедеятельности клеток и многоклеточных организмов в разных условиях?
5. В каких растворителях могут растворяться гидрофобные вещества, а в каких — гидрофильные? Какие растворители вам известны?

Совершенствуемся

1. Используя интернет-ресурсы и другие источники информации, найдите сведения о значении для клетки и организма следующих элементов: В, Р, S, Са, Мп, Fe, Со, Zn, Cu. Ответ представьте в виде таблицы.
2. Прочитайте статью «Сахар против льда» и на основе полученной информации предложите свой способ борьбы со льдом.

Обсуждаем

Используя доступные информационные источники, уточните, какие условия проведения эксперимента в естественных науках (давление, температура и др.) считаются нормальными. Обсудите с учителем и одноклассниками, почему при нормальных условиях вода (H_2O) — это жидкость, а сероводород (H_2S) — газ.

Это интересно

В отличие от пресной, морская вода начинает замерзать при температуре минус $1,86^\circ\text{C}$, и когда на поверхности моря появляется лёд, температура воды под ним остаётся отрицательной (в полярных областях около минус $1,8^\circ\text{C}$). А кровь морских рыб, обитающих в этих морях, замерзает уже при минус $0,6$ — $0,8^\circ\text{C}$. Как же этим рыбам удаётся выживать при таких низких температурах? Оказалось, что они синтезируют специальные белки-антифризы, которые циркулируют в крови и не дают ей превратиться в лёд! Эти белки предотвращают образование и рост кристаллов льда внутри клеток.



Сахар против льда. Все мы видели, как дворники зимой посыпают тротуары и мостовые солью (чаще всего это хлорид кальция) для того, чтобы на поверхностях дорог не образовывался слой льда. Но почему же соль препятствует этому? Потому что она сразу же растворяется в воде, а температура замерзания такого раствора намного ниже, чем обычной воды.

Итак, люди используют соль для того, чтобы бороться со льдом. А вот многие животные применяют для этих целей... сахар! Так поступают тихоходки, насекомые, пауки, клещи и некоторые черви. Когда наступают холода, в клетках их организма начинается активный синтез трегалозы — углевода, похожего на глюкозу. Для чего это нужно клеткам? Для того чтобы предотвратить замерзание клеточной воды, которая при этом образует ледяные кристаллы. Острые лучи этих кристаллов способны повредить любые органоиды и даже разорвать сами клетки. Однако трегалоза предотвращает эту катастрофу — температура замерзания её водного раствора значительно ниже, чем воды.

Сейчас опыт тихоходок, членистоногих и других беспозвоночных по борьбе с замерзанием воды начали перенимать и люди. В 2014 г. в США был изготовлен противогололёдный реагент, содержащий трегалозу. Его использование не несёт опасности для окружающей среды, в отличие от того же хлорида кальция, который, попадая с водой в почву, способствует её засолению.

«Плохой хороший» элемент. У стронция всегда была плохая репутация — долгое время его считали элементом, вызывающим болезни человека. Но оказывается, в организме человека всегда должно присутствовать около 300 мг стронция. Для чего же он нужен? Оказывается, его соединения увеличивают плотность костной ткани и тем самым делают её прочнее. Механизм этого явления, скорее всего, таков: стронций тормозит деятельность остеокластов — клеток, разрушающих кость, и одновременно ускоряет развитие остеобластов — создателей костной ткани.

Главное — «правильная» валентность. Трёхвалентный хром необходим для нормального обмена глюкозы в различных живых организмах. Но шестивалентный хром опасен для организма: он токсичен, легко проникает через клеточную мембрану и может быть причиной онкологических заболеваний.

Буферные соединения. Содержащиеся в клетке анионы слабых кислот (HCO_3^- , HPO_4^{2-}) играют важную роль в поддержании внутри клетки постоянства кислотности среды (концентрации ионов водорода — pH). Несмотря на то что в процессе жизнедеятельности в клетке образуются как щёлочи, так и кислоты, в норме кислотность цитоплазмы клетки почти нейтральная (значение pH цитоплазмы большинства клеток находится в диапазоне 7,2—7,4). Это обусловлено тем, что анионы слабых кислот и оснований выполняют *буферную роль* — связывают протоны и гидроксилы, нейтрализуя внутриклеточную среду.

Кроме того, эти ионы вступают в химические реакции, осуществляемые в клетке. В частности, анионы фосфорной кислоты необходимы для синтеза очень важного для клетки соединения — АТФ, аденозинтрифосфорной кислоты (об этом вы подробнее узнаете в следующих параграфах).



§7

Липиды, их строение и функции

Вспомните:

1. Какие соединения называют гидрофильными?
2. Что такое низкомолекулярные вещества?
3. Какие продукты питания богаты жирами?

Липиды. Как уже говорилось, около 70 % от массы клеток большинства живых организмов приходится на воду. Остальное — это главным образом органические вещества: белки (10—20 %), жиры (1,0—5,0 %), углеводы (0,2—2,0 %), нуклеиновые кислоты (1,0—2,0 %) и различные низкомолекулярные органические вещества (0,1—0,5 %). Среди последних важную роль играют **липиды**, в состав которых входят различные вещества (например, *жиры*). Эти вещества имеют разную структуру, но их объединяет то, что все они — гидрофобные соединения, нерастворимые в воде (полярный растворитель). При этом липиды достаточно хорошо растворимы в неполярных органических растворителях (хлороформе, бензоле, эфире). Обычно их подразделяют на простые и сложные.

Простыми липидами называют **нейтральные жиры** — эфиры трёхатомного спирта *глицерина* и *жирных (карбоновых) кислот*, с числом углеродных атомов от 14 до 22 (чаще всего их 16 или 18). Если все гидроксильные группы глицерина связаны **эфирными связями** с жирными кислотами, образуются триглицериды, если только две или одна — диглицериды и моноглицериды соответственно (рис. 23).

Входящие в состав липидов жирные кислоты содержат, как правило, чётное число атомов углерода и редко бывают разветвлёнными (последние встречаются

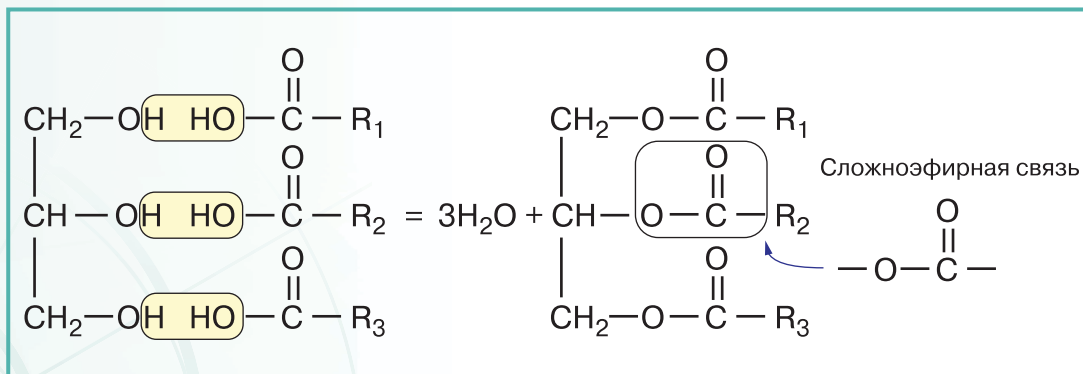
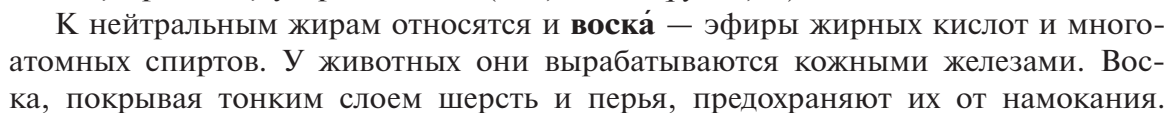


Рис. 23. Образование молекул липидов: справа — трёхатомный спирт глицерин вступает в реакцию с тремя карбоновыми кислотами; слева — в результате отщепления трёх молекул воды образуется жир-триглицерид



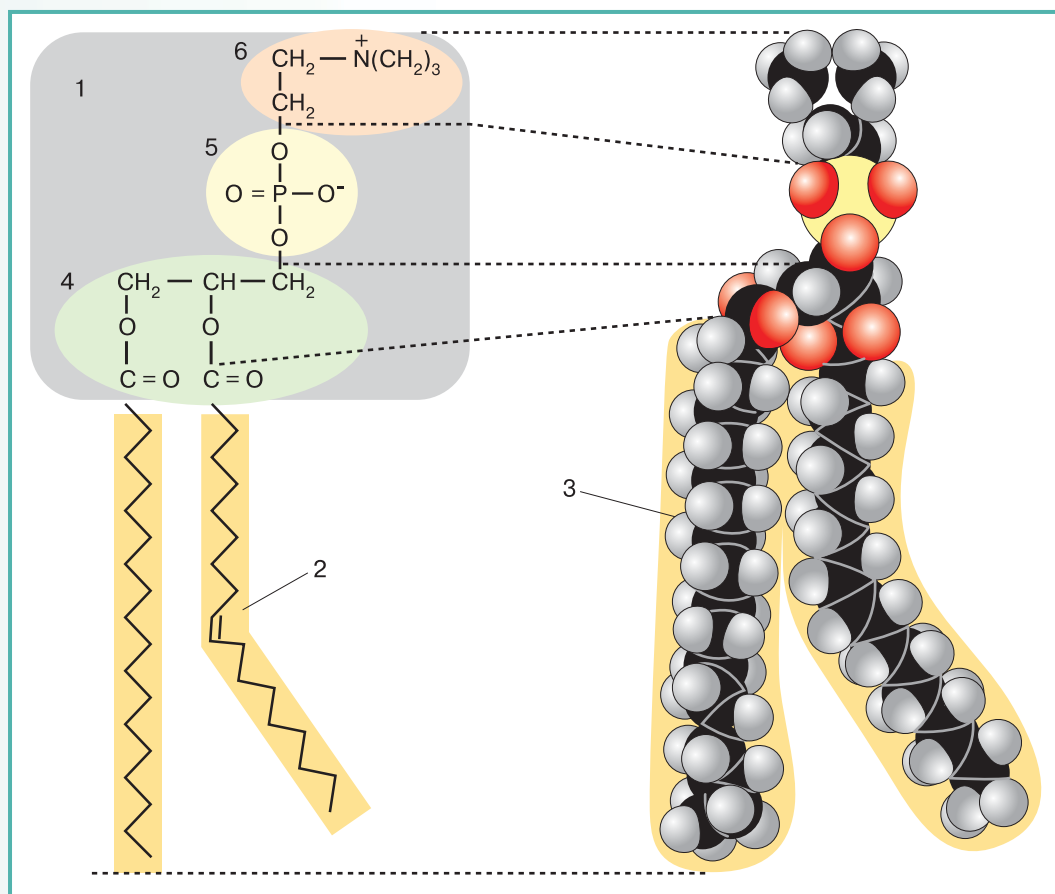


Рис. 24. Фосфолипиды: 1 — гидрофильная головка, 2 — гидрофобный хвост, 3 — жирные кислоты, 4 — глицерол, 5 — фосфат, 6 — холин

Некоторые насекомые (пчёлы) используют эти вещества для постройки сотов. У растений воска создают защитный слой на листьях и плодах. Много восков вырабатывают морские планктонные микроорганизмы.

В небольших количествах нейтральные жиры входят в состав биологических мембран, однако всё-таки их основу составляют не они, а **фосфолипиды**, относящиеся к сложным липидам. Фосфолипиды также являются эфирами глицерина и жирных кислот, но в их молекулах с последними связаны только две спиртовые группы глицерина, а третья образует эфирную связь с остатком *фосфорной кислоты*. Обычно она образует дополнительную эфирную связь с низкомолекулярными спиртами, и на том, с какими именно, основано выделение различных классов фосфолипидов (рис. 24).

Таким образом, в составе молекул всех фосфолипидов имеются гидрофобная (остатки жирных кислот) и гидрофильная (фосфорная кислота и присоединённый к ней спирт) части. Именно поэтому эти молекулы могут контактировать как с полярными, так и с неполярными растворителями (такие вещества называют амфифильными). В воде и водных растворах фосфолипиды самопроизвольно формируют различные структуры: *мицеллы*, или капли, в которых остатки жирных кислот (гидрофобные хвосты) обращены внутрь,



а полярные головки — в раствор; *липосомы* — двухслойные фосфолипидные пузырьки, внутренний объём которых заполнен водой; протяжённые *плоские бислои* — основу всех биологических мембран. Такие мембраны окружают клетки, создавая гидрофобный барьер между внутриклеточным содержимым и наружной средой, а мембраны клеточных органоидов отделяют их содержимое от цитоплазмы и делят клетку на отсеки — компартменты.

Мембраны практически непроницаемы для полярных соединений (солей, аминокислот, сахаров), плохо проницаемы для воды, но легко проницаемы для гидрофобных веществ. В их состав также входят различные белки, которые обеспечивают перенос через мембрану разных веществ (иногда затрачивая на это энергию АТФ) или участвуют в передаче сигналов внутрь клетки (ионные насосы, ионные каналы, белки-переносчики, рецепторы гормонов и нейромедиаторов и т. д.). Поскольку фосфолипиды состоят из большого количества ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, биологические мембраны при температуре обитания живых организмов находятся в полужидком состоянии. Это обеспечивает их гибкость, упругость и высокую подвижность встроенных в них белков.

Итак, основной функцией фосфолипидов является *структурная*, заключающаяся в том, что они формируют биологические мембраны.

Особое место среди сложных жиров занимают **стероиды** — холестерин и его производные. Это вещество и его эфиры с жирными кислотами входят в состав биологических мембран, придавая им определённую жёсткость (*структурная функция*). Кроме того, в корковом слое надпочечников из холестерина образуются *стероидные гормоны* — **кортикостероиды**, регулирующие водно-солевой обмен и процессы синтеза органических веществ, а в половых железах — **половые гормоны** (мужские андрогены и женские эстрогены), отвечающие за нормальное функционирование репродуктивной системы.

В клетках же печени из холестерина образуются *желчные кислоты*, необходимые для нормального переваривания жиров в кишечном тракте. Эти кислоты являются поверхностно-активными веществами и способны эмульгировать (т. е. смешивать с водой с образованием эмульсии — раствора одной жидкости в другой) жировые капли; они также активируют выделяемые поджелудочной железой в двенадцатиперстную кишку ферменты-липазы, расщепляющие жиры. А в коже под действием ультрафиолетовых лучей из холестерина образуется витамин D. Таким образом, производные холестерина выполняют важные *регуляторные функции*.

К липидам также относят *жирорастворимые витамины* — А, D, Е, К, обладающие высокой биологической активностью.

**ЛИПИДЫ • НЕЙТРАЛЬНЫЕ ЖИРЫ • ЭФИРНЫЕ СВЯЗИ • ВОСКА •
ФОСФОЛИПИДЫ • СТЕРОИДЫ**

ПОДУМАЙТЕ

Почему борщ имеет красный цвет, а капли жира на его поверхности жёлтые?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какие органические вещества относят к липидам? Приведите примеры.
2. Какова типичная структура молекулы нейтрального жира?
3. Каковы основные функции липидов?
4. Чем отличаются фосфолипиды от остальных групп сложных липидов? Какова их основная функция?

Совершенствуемся

1. Подсчитайте, сколько молекул воды образуется при окислении стеариновой жирной кислоты (общая формула $C_{18}H_{36}O_2$) кислородом? Напишите уравнение. Что ещё образуется при окислении стеариновой кислоты?
2. Известно, что при окислении жиров выделяется примерно в 2 раза больше энергии, чем при окислении углеводов и белков. Почему жиры так богаты энергией?

Обсуждаем

Известно, что для быстрого наращивания массы мышц некоторые спортсмены употребляют анаболические стероиды — искусственные аналоги стероидных гормонов коры надпочечников (кортикостероидов). Обсудите с одноклассниками, опасно ли это для здоровья. Почему?

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Обнаружение липидов с помощью качественной реакции» на с. 200.



Углеводы, их строение и функции

§ 8

Вспомните:

1. Какие углеводы вы знаете?
2. Какие продукты питания имеют сладкий вкус? Как вы думаете, почему?
3. В результате какого процесса на Земле образуются углеводы?

Углеводы. Углеводами или сахарами называют органические соединения с общей формулой $(\text{CH}_2\text{O})_n$ или $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$, хотя эти соотношения не всегда строго выполняются (например, углевод рибоза имеет состав $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$, а в молекуле похожей на неё дезоксирибозы на один атом кислорода меньше, $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$). Название «углеводы» было предложено российским химиком *Карлом Шмидтом* (1822—1894) в 1844 г., оно является русским аналогом термина «гидраты углерода». В растворах они обычно переходят в циклические формы (рис. 25).

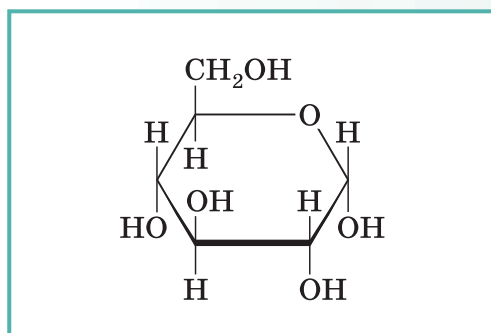


Рис. 25. Глюкоза

Эти циклические структуры могут существовать в двух формах, известных как альфа- и бета-формы. У альфа-формы гидроксильная группа при первом углеродном атоме расположена под плоскостью цикла, а у бета-формы — над ней (на рис. 25 как раз изображена альфа-форма глюкозы). Такие молекулы, с одинаковой химической формулой, но с разной структурой, называются изомерами. Связь же между альфа-изомерами будет называться альфа-связью, а между бета-изомерами — соответственно бета-связью.

В зависимости от числа входящих в молекулу сахаров атомов углерода (3, 4, 5, 6 и т. д.) их подразделяют на трёхуглеродные (*триозы*), четырёхуглеродные (*тетрозы*), пятиуглеродные (*пентозы*), шестиуглеродные (*гексозы*) сахара и т. д. В живых организмах углеводы встречаются как в мономерной форме (**моносахариды**), так и в виде полимеров разного размера (ди-, олиго- и полисахариды).

Среди моносахаридов наибольшее значение для клетки имеют пятиуглеродные *рибоза* и *дезоксирибоза*, входящие в состав нуклеотидов и нуклеиновых кислот, и *рибулоза*, к которой присоединяется углекислый газ в процессе фотосинтеза. Также для живых организмов весьма важны и некоторые шестиугле-

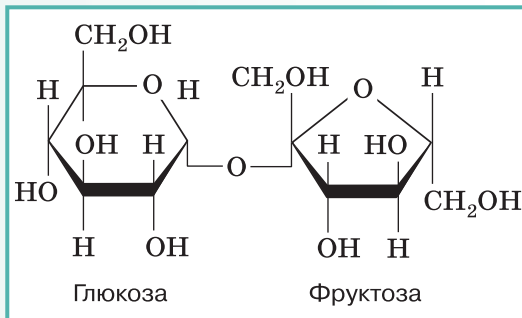


Рис. 26. Сахароза

родные сахара, такие, как *глюкоза* — основной источник энергии для человека и многих животных, *фруктоза* и *галактоза*, содержащиеся соответственно в продуктах растительного происхождения и в молоке млекопитающих. Поскольку глюкоза необходима для нормального функционирования любой ткани организма, её содержание в крови человека и других животных поддерживается на постоянном уровне.

Трёхуглеродные сахара (глицериновый альдегид и др.) образуются в качестве промежуточных продуктов в различных процессах обмена веществ и необходимы, например, для синтеза липидов.

Шестиуглеродные сахара редко встречаются в природе в мономерной форме, обычно они входят в состав ди-, олиго- и полисахаридов. **Дисахарид сахароза** (фруктовый сахар) состоит из остатков глюкозы и фруктозы (рис. 26). Именно она присутствует в плодах и фруктах и придаёт им сладкий вкус. Углеводы, образующиеся в зелёных листьях в процессе фотосинтеза, переносятся в другие части растений в виде этого углевода. Очищенная сахароза, которую получают из сахарной свёклы и сахарного тростника, и есть тот самый сахар, который мы добавляем в чай и другие продукты. Так как фруктоза имеет более сладкий вкус, чем глюкоза, сахарозу часто специально расщепляют на мономеры, чтобы добавлять в продукты меньше сахара.

Состоящая из остатков глюкозы и галактозы *лактоза* (молочный сахар) присутствует в молоке млекопитающих. Она обеспечивает энергией их новорождённых детёнышей. *Мальтоза* (солодовый сахар) состоит из двух остатков глюкозы. Она образуется при расщеплении крахмала и гликогена ферментами-амилазами.

Олигосахариды, образованные сахарами и их производными, входят в состав гликолипидов и гликопротеинов, участвующих, например, в формировании *гликокаликса* животных клеток (рис. 27).

Полисахариды представляют собой линейные или разветвлённые гомополимеры, состоящие из повторяющихся мономеров (молекул глюкозы, её производных или других сахаров), соединённых ковалентной связью между 1-м и 4-м (а у разветвлённых полисахаридов также между 1-м и 6-м) атомами углерода (рис. 28). Линейный полисахарид *целлюлоза* (или *клетчатка*) образует стенки растительных клеток. В ней молекулы глюкозы соединены бета-1,4-связью, для расщепления которой

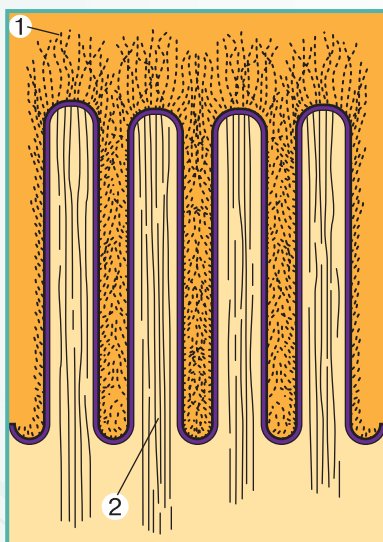


Рис. 27. Гликокаликс:
1 — молекулы гликокаликса, 2 — микроворсинки клеток кишечника



нужны специальные ферменты. Целлюлозу могут расщеплять многие бактерии, грибы и другие микроорганизмы, поэтому именно они играют главную роль в разложении растительных остатков.

Некоторые из этих микроорганизмов обитают в рубце жвачных животных, позволяя им усваивать целлюлозу. В желудке и кишечнике многих других животных и человека нет ферментов, расщепляющих целлюлозу, поэтому клетчатка, содержащаяся в пище, у них не усваивается без помощи микроорганизмов — кишечной палочки и других бактерий, которые способны расщеплять этот полисахарид.

К широко распространённым полисахаридам относится **хитин** — линейный полимер, состоящий из остатков производного глюкозы N-ацетил-D-глюкозамина, которые соединены между собой бета-1,4-связью (рис. 29). Он является структурным элементом многих защитных образований. Так, хитин образует основу наружного скелета членистоногих и ряда других беспозвоночных, а также входит в состав клеточных стенок грибов и некоторых зелёных водорослей. Комплексы хитина с белками, пигментами и солями кальция представляют собой достаточно прочные высокоупорядоченные надмолекулярные структуры, которые не растворяются в воде.

Основной запасной растительный полисахарид **крахмал** и основной запасной полисахарид грибов и животных **гликоген** представляют собой разветвлённые полимеры, близкие по своей структуре (гликоген имеет более разветвлённую структуру, чем крахмал, в состав которого входят также и линейные неразветвлённые молекулы). Молекулы глюкозы в них соединены альфа-1,4-связью, которая легко расщепляется пищеварительными ферментами животных — амилазами — с образованием дисахарида мальтозы, которая, в свою очередь, расщепляется до глюкозы ферментом мальтазой.

Образующаяся глюкоза всасывается в кишечнике и поступает в кровь, которая разносит её по организму. Потом она проникает в клетки, где либо используется для получения энергии (в процессах гликолиза и окислительного фосфорилирования), либо откладывается про запас в виде гликогена. Расщепление этого углевода в анаэробных условиях (в ходе гликолиза или брожения, которое происходит без участия кислорода) или полное аэробное окисление в митохондриях сопровождается выделением большого количества энергии (17,6 кДж/г).

Такие же процессы происходят и в человеческом организме, поэтому в рационе человека углеводы занимают значительное место. Их утилизация практически

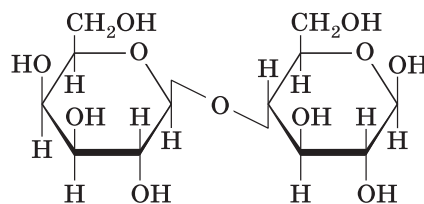


Рис. 28. Целлюлоза

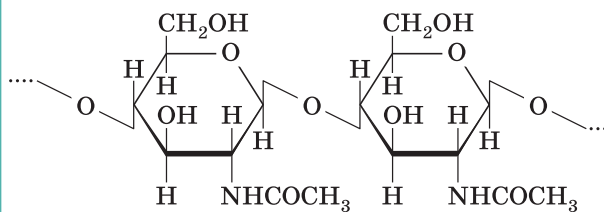


Рис. 29. Хитин



полностью покрывает энергетические затраты. Однако для больных сахарным диабетом продукты с глюкозой заменяют на те, в которых находятся другие сахара, например шестиатомный спирт сорбитол или фруктоза, которая медленно всасывается в кишечнике, а также её полимер инулин.

Таким образом, углеводы в живых организмах выполняют *структурную* и *защитную* (целлюлоза, хитин), *запасную* (гликоген, крахмал) и *энергетическую* (моно-, ди- и полисахариды) функции.



УГЛЕВОДЫ • МОНОСАХАРИДЫ • ДИСАХАРИДЫ • ОЛИГОСАХАРИДЫ • ПОЛИСАХАРИДЫ

ПОДУМАЙТЕ

1. Почему в клетках в качестве запасных углеводов откладываются полисахариды (крахмал и гликоген), а не моносахарид глюкоза?
2. Почему после лечения крупного рогатого скота антибиотиками падают надои молока (у молочных пород) и привес (у мясных пород)? Что нужно сделать для того, чтобы исправить ситуацию?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какой состав имеют молекулы углеводов? Приведите общую химическую формулу углеводов. Возможны ли исключения?
2. Какие моносахариды имеют наибольшее значение в природе и почему?
3. Почему даже здоровым людям важно контролировать уровень глюкозы в крови? Для кого это жизненно необходимо?
4. Какова роль (функции) полисахаридов в природе и жизни человека?
5. Напишите формулу четырёхуглеродного сахара (тетрозы).

Совершенствуемся

1. На основе текста параграфа и анализа иллюстраций составьте схему, отражающую классификацию углеводов, исходя из их структурных особенностей.



2. Посчитайте, сколько молекул кислорода потребуется для полного окисления молекулы сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$) и лауриловой (додекановой) жирной кислоты ($C_{12}H_{24}O_2$). Напишите уравнение реакций.
3. Определите, сколько звеньев $(C_6H_{10}O_5)_n$, т. е. чему равно число n , в молекулярной формуле полимера: хлопкового волокна ($Mr = 1\,750\,000$) и льняного волокна ($Mr = 5\,900\,000$).
4. Составьте сравнительную таблицу горения органических веществ и их биологического окисления.

Это интересно

Использование живыми существами углеводов и других органических веществ в качестве основного энергетического источника по своей химической природе сродни горению дров в печке или сгоранию жидкого топлива в тепловых двигателях, но в значительной мере отличается от таковых. Во всех перечисленных случаях имеет место процесс окисления органических веществ с образованием углекислого газа и воды, который сопровождается интенсивным выделением тепловой энергии. При горении, осуществляющемся, как правило, с воспламенением, практически вся выделяющаяся энергия переходит в тепло, и дальнейшее её использование для производства какой-либо работы всегда происходит с довольно низким коэффициентом полезного действия (КПД). Разумеется, в биологических системах, прежде всего в клетке, этот процесс организован значительно сложнее и различается у разных групп организмов по участвующим в нём клеточным структурам и реализуемым механизмам. Из-за участия в процессах биологического окисления ферментов эти процессы идут с довольно высокой скоростью при температуре, значительно более низкой, чем горение. Кроме того, при биологическом окислении главная часть энергии запасается в виде таковой макроэргических химических связей универсального энергетического вещества — АТФ, которое в дальнейшем используется клеткой с КПД, недостижимым для тепловых двигателей.

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Обнаружение углеводов с помощью качественной реакции» на с. 200.





§9

Белки. Состав и структура белков

Вспомните:

1. Что такое аминокислоты?
2. Какую роль играют белки в организме человека?
3. Какие продукты питания богаты белками?

Белки. Среди органических веществ клетки на долю *белков* приходится более половины сухого вещества. Белки — это полимеры, состоящие из ковалентно связанных между собой мономеров-аминокислот, имеющих сходное, но не одинаковое строение (рис. 30 на с. 70), а также из компонентов неаминокислотной природы (например, гемоглобин содержит гем-комплекс органических веществ порфиринов и железа).

Молекула аминокислоты состоит из двух частей. Одна из них у всех подобных веществ одинакова: она содержит аминогруппу ($-\text{NH}_2$) и карбоксильную группу ($-\text{COOH}$), которые присоединены к одному и тому же атому углерода. Другая часть данной молекулы, присоединённая к этому же атому углерода, называется боковой цепью или *радикалом*. У разных аминокислот она имеет разную структуру.

В состав белков в качестве мономеров входит 20 разных аминокислот — таким образом, в белковых молекулах встречается 20 различных по структуре радикалов. Они могут быть заряжены отрицательно или положительно, содержать ароматические кольца и гетероциклические структуры, гидрофобные группировки, гидроксильные ($-\text{OH}$) группы или атом серы. Особенности радикалов аминокислот, входящих в состав данного белка, определяют его свойства и лежат в основе всех сложных и разнообразных функций белковых молекул.

Многие бактерии и растения способны синтезировать все 20 аминокислот, входящих в состав белков. Однако животные в процессе эволюции потеряли способность самостоятельно производить 10 особо сложных аминокислот, в результате чего они должны обязательно получать их с пищей. Эти вещества называют **незаменимыми аминокислотами**. Они входят в состав растительных и животных белков, которые расщепляются в пищеварительном тракте. В клетках эти мономеры используются для построения собственных белков, характерных для данного организма. Отсутствие в пище незаменимых аминокислот может вызывать тяжёлые заболевания, связанные с нарушением обмена веществ.

Строение белков. В белковых молекулах последовательно расположенные остатки аминокислот соединяются друг с другом, образуя при этом длинные неразветвлённые полимерные цепи. Они располагаются в цепи так, что аминогруппа одной аминокислоты взаимодействует с карбоксильной группой другой.



При подобном взаимодействии происходит образование **пептидной связи** (рис. 31) с выделением молекулы воды, поэтому образовавшееся соединение называют пептидом. Если он состоит из двух аминокислот, то его называют дипептидом, из трёх — трипептидом и т. п. Как правило, молекулы белков представляют собой *полипептиды*, содержащие сотни и тысячи аминокислотных остатков.

Белковые молекулы представляют собой не беспорядочно построенные полимеры различной длины: каждая из них является определённой последовательностью аминокислот, которая определяется структурой *гена*, кодирующего данный белок. Впрочем, порядок расположения аминокислотных остатков в молекуле белка определяет только его *первичную структуру*, или, как сказали бы химики, его формулу. Точно так же как с помощью 33 букв, входящих в русский алфавит, создаётся огромное количество слов, с помощью 20 аминокислот можно создать множество белков, различающихся как по количеству входящих в их состав аминокислот, так и по их последовательности. Общее число различных белков, встречающихся у всех видов живых организмов, составляет величину порядка 10^{10} — 10^{12} .

Полипептидная цепь является достаточно гибкой молекулой, поскольку в ней возможно свободное вращение атомов вокруг многих связей. Теоретически белковая молекула может укладываться разными способами, принимая большое число различных форм (**конформаций**). Однако большинство клеточных белков в неповреждённом (нативном) состоянии могут существовать только лишь в одной, характерной для данного полипептида, конформации. Она определяется тем, как сворачивается полипептидная цепь в растворе, а это, в свою очередь, зависит от последовательности в ней аминокислот. Большое количество связей между разными группами аминокислотных остатков делает структуру белка достаточно стабильной.

Сравнение пространственной структуры белков показало, что, хотя конформация каждого из них уникальна, в разных белковых молекулах встречаются участки, где аминокислотные цепи уложены одинаково. Особенно часто встречаются два способа укладки, которые стабилизируются регулярными водородными связями между NH- и CO-группами, участвующими в образовании пептидных связей — *альфа-спираль* и *бета-структура* (бета-складчатый слой).

Спиральная структура формируется при закручивании полипептидной цепи вокруг самой себя с образованием жёсткого цилиндра. Она стабилизируется *водородными связями* между NH-группами, находящимися на одном витке, и CO-группами, расположенными на другом витке спирали (рис. 32).

Складчатый слой формируется двумя параллельными участками цепи. Он стабилизируется за счёт водородных связей между такими же группами. Хотя эти связи слабее ковалентных, их большое количество делает альфа-спирали или бета-складчатые слои достаточно прочными. Появление на отдельных участках полипептидной цепи альфа-спиралей и бета-структур приводит к формированию *вторичной структуры* белка.

После образования подобной конформации спиральные участки и бета-слои подвергаются дальнейшей укладке, в результате чего растворимые белки обыч-

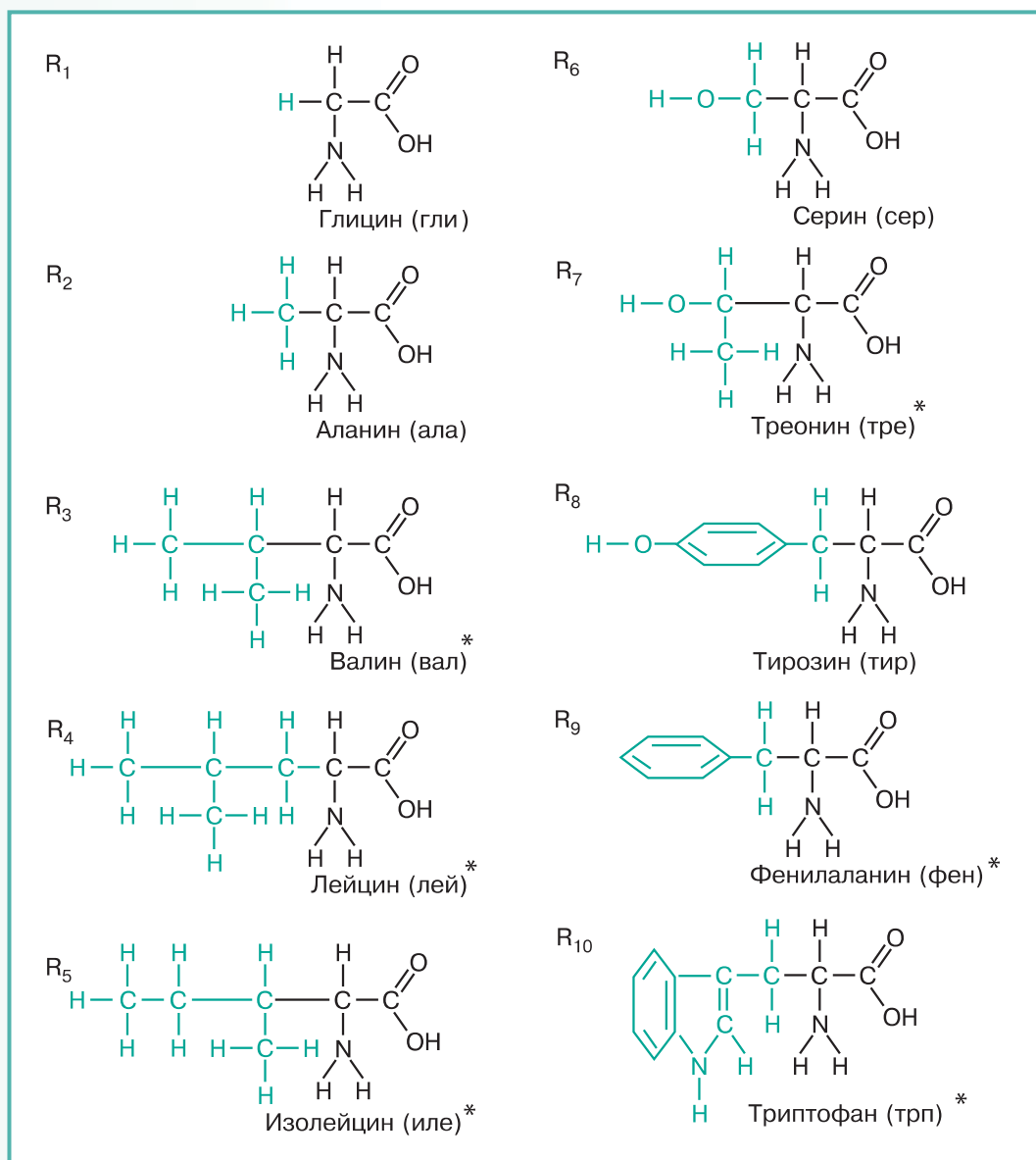
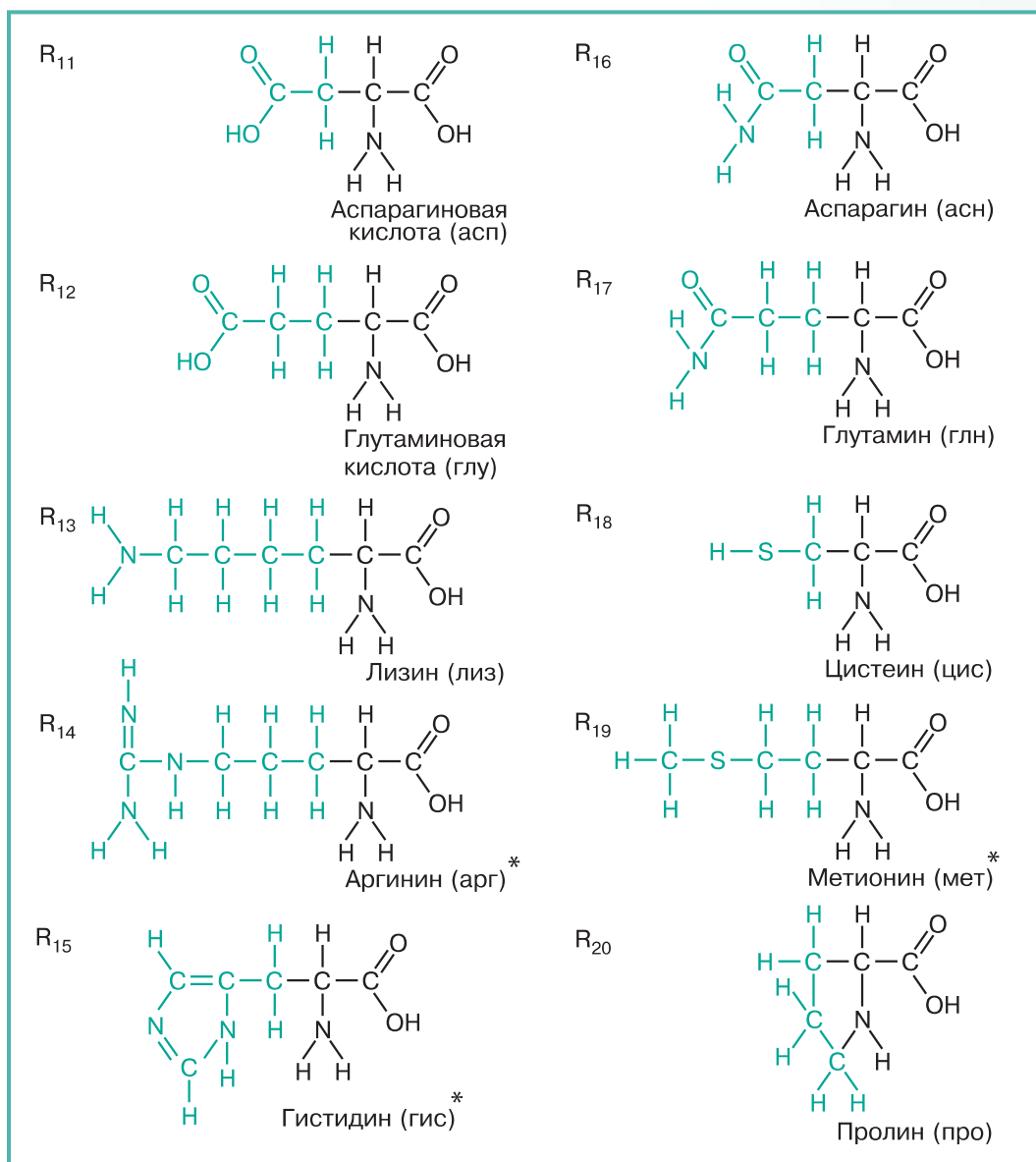


Рис. 30. Строение аминокислот: звёздочкой отмечены незаменимые для человека

но образуют **глобулярную структуру**, имеющую вид плотного клубка. В такой глобуле заряженные аминокислотные остатки оказываются на поверхности, а гидрофобные — внутри клубка. При этом формируется *третичная структура* белка. В упакованной в виде глобулы молекуле часто происходит сближение аминокислотных остатков, которые в полипептидной цепи расположены далеко друг от друга. Третичная структура поддерживается за счёт гидрофобных взаимодействий, ионных и водородных связей, а также образования ковалентных дисульфидных мостиков (S—S-связей) между боковыми радикалами молекул аминокислоты цистеина (рис. 33).



аминокислоты (аргинин и гистидин являются незаменимыми только для детей)

Форма некоторых полипептидов не глобулярная — они вытянуты и представляют собой длинные нити. Это **фибриллярные белки**, которые имеют специфический аминокислотный состав и особую третичную структуру в виде скрученных нитей. К ним относятся кератин волос и ногтей, коллаген и эластин соединительной ткани, а также белки шёлка и паутины. Как правило, фибриллярные белки формируют весьма прочные структуры.

Многие белки могут состоять из нескольких одинаковых или разных полипептидных цепей. Про такой сложный олигомерный полипептид говорят, что для него характерна *четвертичная структура*. Типичным примером такого

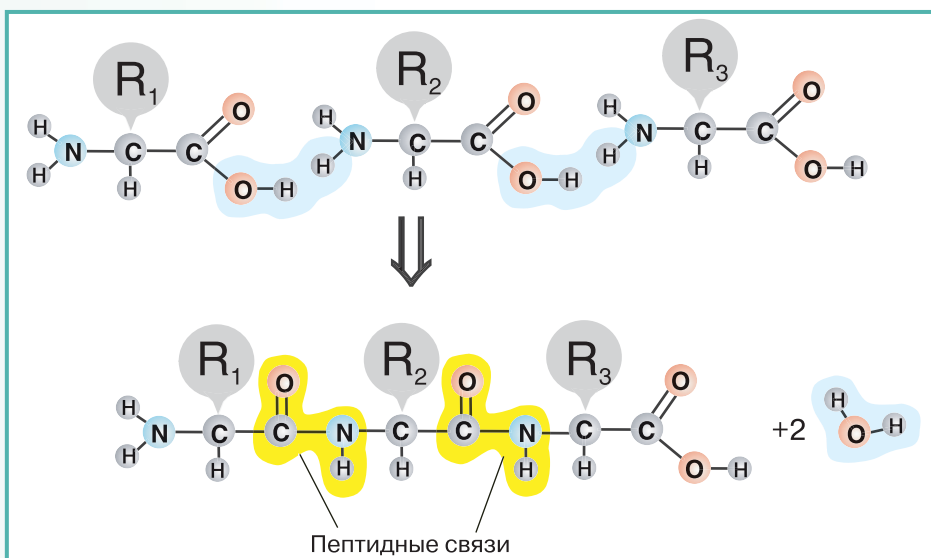


Рис. 31. Образование пептидной связи

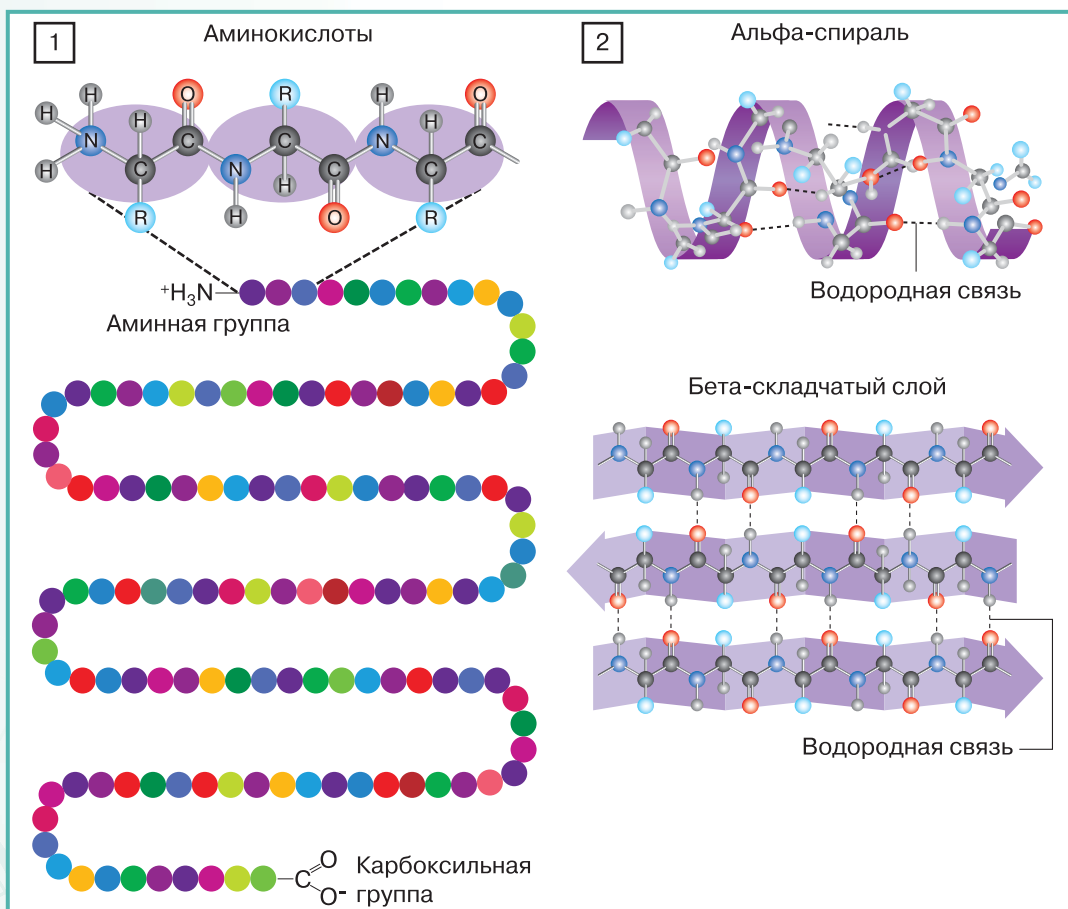


Рис. 32. Первичная и вторичная структуры белка: 1 — первичная структура белка, 2 — два способа укладки вторичной структуры



олигомерного белка является *гемоглобин*, который состоит из четырёх полипептидных цепей. Четвертичная структура позволяет гемоглобину быстро и эффективно связывать кислород, когда кровь, в клетках которой он находится, проходит через лёгкие, и быстро отдавать его в капиллярах тканей.

Белковые молекулы способны сохранять свою биологическую активность, т. е. исправно выполнять свои функции, только при определённых условиях (температуре, давлении, кислотности среды и т. п.). При повышении температуры или изменении кислотности среды до экстремальных значений происходят необратимые нарушения структуры белков, которые называют **денатурацией**.

Примером этого процесса является свёртывание белка куриного яйца при его варке. В процессе денатурации не происходит разрыва пептидных связей, а лишь разрушение характерной для данного белка четвертичной, третичной и вторичной структур. Поэтому в денатурированном состоянии полипептидные цепи белков образуют случайные и беспорядочные клубки и петли, слипаются друг с другом и формируют крупные, но совершенно неработоспособные агрегаты.

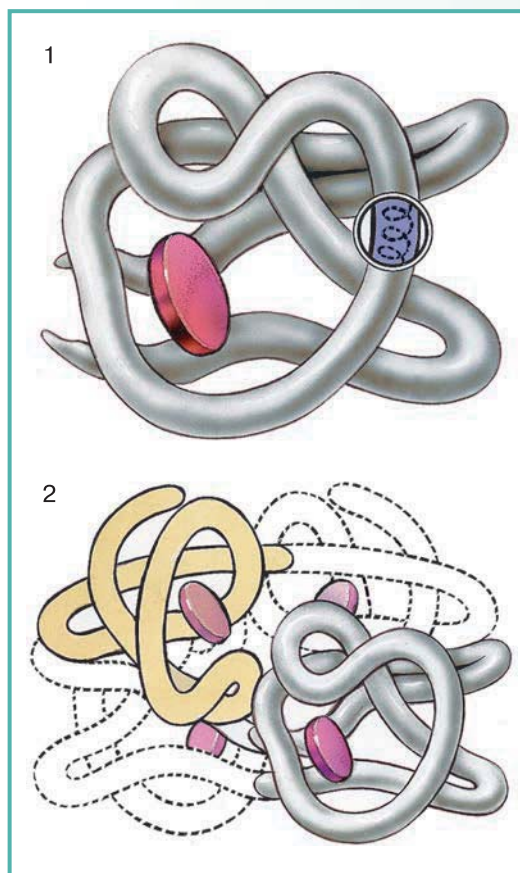


Рис. 33. Третичная и четвертичная структуры белка (на примере гемоглобина): 1 — третичная структура, 2 — четвертичная структура

**НЕЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ • ПЕПТИДНАЯ СВЯЗЬ •
КОНФОРМАЦИЯ БЕЛКА • ГЛОБУЛЯРНЫЕ И ФИБРИЛЛЯРНЫЕ БЕЛКИ •
ДЕНАТУРАЦИЯ**

ПОДУМАЙТЕ

Наверняка каждый из вас пробовал незамысловатые, но питательные блюда из куриных яиц. Кто-то любит их в варёном виде, кто-то в виде омлета или глазуньи. Чем можно объяснить изменение внешнего вида белка куриного яйца после его кулинарной обработки? Можно ли вернуть варёному яйцу первоначальную консистенцию?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какие органические вещества называют белками?
2. В чём заключаются структурные особенности аминокислот как мономеров белков?
3. Как образуется пептидная связь?
4. Что представляет собой первичная структура белка и от чего она зависит?
5. Что такое денатурация белка? Что её может вызвать?

Совершенствуемся

Изучите статью параграфа «Строение белков» и иллюстрации к ней. Обобщите для себя *в виде ментальной карты*, как образуются вторичная, третичная и четвертичная структуры белка. От чего они зависят?

Составьте сравнительную таблицу свойств белков и углеводов.

Это интересно

Если бы паутина имела диаметр 1 мм, то она могла бы выдержать груз массой примерно 200 кг. Стальная проволока того же диаметра выдерживает (в зависимости от типа стали) только груз массой 30—100 кг. В то же время паутина может растягиваться без разрыва в значительно большем диапазоне, чем сталь.

Такую прочность и эластичность паутине придают особенности строения белков *спидроинов* (от англ. *spider* — паук), в структуре которых имеются многочисленные чередующиеся гидрофильные и гидрофобные участки. Между ними возникают водородные связи и гидрофобные взаимодействия, которые соответственно и обеспечивают эти уникальные свойства паутинных нитей.

Белки-наставники. Денатурация, которая нарушает белковую структуру высших порядков, без сомнения, вредна для клетки, поскольку денатурированные белки не могут выполнять свои функции. Однако у клетки есть возможность восстановить третичную и четвертичную структуры денатурированных белков. Этим занимаются особые белки, которые называются *шапероны* (от фр. *chaperones* — наставники), или белки теплового шока — из-за того, что некоторые из них

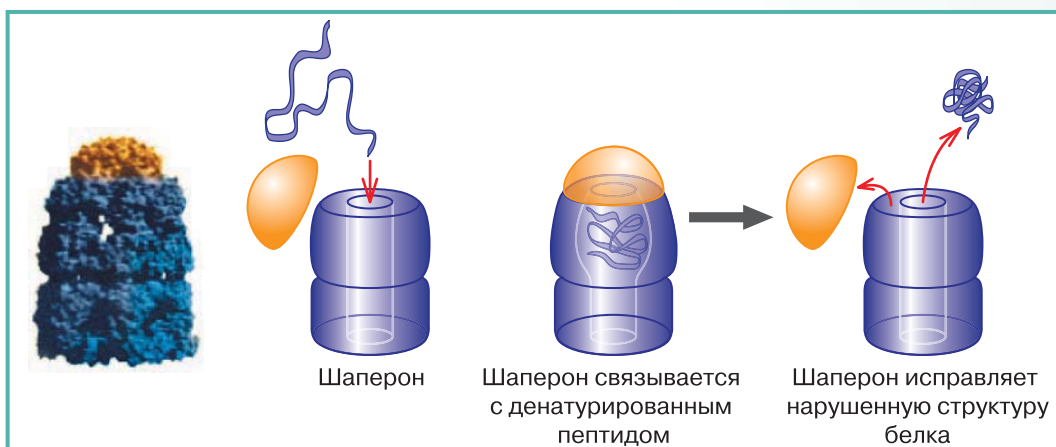


Рис. 34. Шапероны

обеспечивают восстановление разрушенной из-за перегрева третичной структуры белков. Шапероны связываются с гидрофобными участками денатурированных белков и помогают им восстановить утраченную структуру (рис. 34). Правда, в том случае, если у белка денатурация зашла так далеко, что оказалась разрушенной вторичная структура, то даже эти наставники не могут ничего исправить.

Интересно, что некоторые белки вообще не могут самостоятельно свернуться без шаперонов. Таков, например, белок α -кристаллин, который входит в состав хрусталика глаза человека. Мутации в генах шаперонов, помогающих α -кристаллину приобретать третичную структуру, приводят к помутнению хрусталика из-за агрегирования белков (поскольку только третичная структура не даёт им склеиваться) и, как результат, к катаракте.

В последнее время у шаперонов обнаружены и другие функции. Например, некоторые из них могут участвовать в борьбе со старением клеток кожи, способствуя нормальной укладке белков цитоскелета (о том, что это такое, вы узнаете из § 16) этих клеток в стабильные четвертичные структуры. Этим воспользовались работники парфюмерной промышленности — на основе таких белков теплового шока были созданы новые поколения гелей с шаперонами, которые помогают коже получить недостающие белки, ведь с возрастом клетка производит всё меньше и меньше шаперонов. Другие разновидности белков-наставников участвуют в транспортировке веществ сквозь мембраны, например в митохондриях и эндоплазматической сети (см. § 17 и 19) у эукариотов.

Но иногда бывает и так, что деятельность шаперонов является причиной тяжёлого заболевания. Дело в том, что иногда белки теплового шока могут участвовать в *ограниченном протеолизе* — процессе частичного разрушения пептидов (для их модификации). В результате ошибок такого протеолиза могут развиваться тяжёлые нейродегенеративные заболевания, такие, как *болезни Паркинсона* и *Альцгеймера*.



§10

Белки. Функции белков

Вспомните:

1. Что такое иммунитет?
2. Что такое катализатор?
3. Какие белки вам известны? Каковы их функции?

Функции белков. Белки выполняют самые разнообразные функции в клетках: определяют их структуру и форму, ускоряют или замедляют протекание химических реакций, обеспечивают передачу химических сигналов, осуществляют разные виды клеточного движения, а также перенос веществ через мембраны и др. (рис. 35).

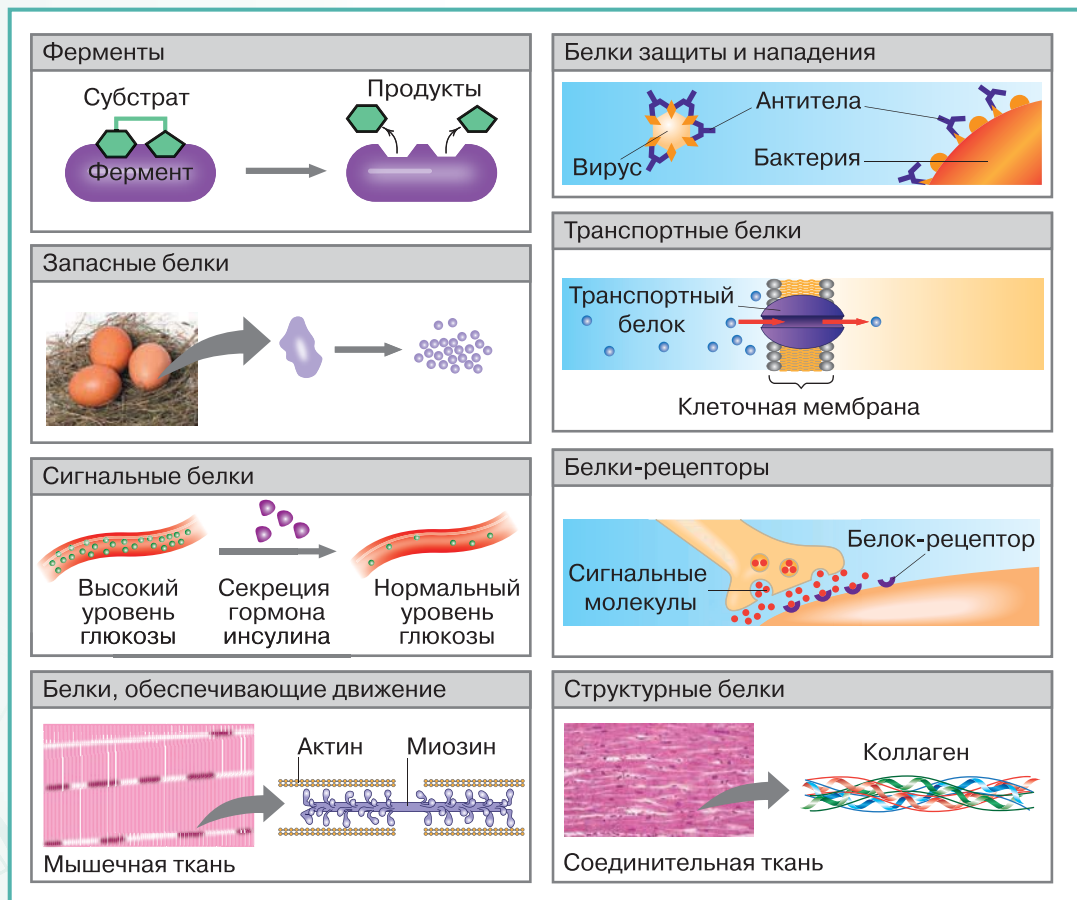


Рис. 35. Функции белков в организме



Белки-ферменты являются катализаторами биохимических реакций, в ходе которых идёт расщепление и окисление питательных веществ, поступивших в организм. Увеличивая скорости этих реакций в миллионы раз, они обеспечивают нормальное протекание обменных процессов.

Каждая клеточная реакция катализируется особым ферментом. По своей эффективности биологические катализаторы значительно превосходят неорганические. На сегодняшний день известно более четырёх тысяч различных ферментов. Действие некоторых из них вы уже изучали ранее. Вспомните, например, о роли в организме человека фермента пепсина — вещества, которое имеет белковую природу.

Запасные белки. Часто белки запасаются в разных органах и тканях растений и животных и при необходимости используются ими для получения аминокислот и энергии. Белками богаты семена бобовых и злаков; один из белков, входящий в состав белка птичьих яиц (яичный альбумин), является основным источником аминокислот для развивающегося эмбриона, а белок молока казеин — для детёнышей млекопитающих.

Сигнальные белки. В специализированных клетках растений и животных синтезируются *регуляторы (гормоны)*, часть из которых является белками и пептидами. В поджелудочной железе вырабатывается *инсулин* — гормон, регулирующий уровень глюкозы в клетках организма. При недостатке инсулина возникает заболевание сахарный диабет. Пептидами являются и *гормоны гипофиза* — *гормон роста, адренокортикотропный гормон, вазопрессин* и др.

Многие клетки в организме выделяют белки, обладающие высокой биологической активностью и влияющие на функции соседних клеток. К ним относятся многочисленные *факторы роста*, которые регулируют рост, деление и дифференцировку клеток определённых тканей, например фактор роста нервной ткани или фактор роста фибробластов.

Белки, обеспечивающие движение. Разные виды движения клеток и организмов также связаны с работой белков. Так, сокращение всех типов мышц обеспечивается взаимодействием и перемещением друг относительно друга (в присутствии Ca^{2+} и АТФ) двух типов белковых нитей, построенных из актина и миозина. Внутриклеточные мембранные органоиды могут перемещаться из одной части клетки в другую по построенным из белка *тубулина* микротрубочкам за счёт работы моторных белков *динеина* и *кинезина*.

Белки защиты и нападения. При попадании в организм животных или человека вирусов, бактерий или любых чужеродных белков в организме происходит синтез защитных белков — *антител*. Связывание их с белками вирусов или бактерий подавляет функциональную активность последних и останавливает развитие инфекции. Антитела обладают уникальным свойством: они способны отличать чужеродные белки от собственных белков организма.

Механизм защиты организма от возбудителей заболеваний с участием антител называют *гуморальным иммунитетом*. Иммунитет к инфекционным заболеваниям можно создать путём инъекции небольших количеств некоторых биополимеров из соответствующих возбудителей в виде *вакцин*. Образующиеся



при этом антитела способны защитить организм, если он подвергнется заражению этим возбудителем инфекции. Кроме того, в ответ на заражение клетки вирусом она вырабатывает специальные белки — *интерфероны*, которые препятствуют его размножению.

Многие организмы используют для защиты или нападения специфические пептиды и белки, называемые *токсинами*, которые в большинстве случаев являются сильными ядами. Часто эти вещества обладают ферментативной активностью (холерный токсин, коклюшный токсин) или же могут нарушать структуру клеточных мембран (белки ядов змей и насекомых).

Транспортные белки участвуют в переносе различных веществ в организмах живых существ. Так, *гемоглобин*, находящийся в эритроцитах позвоночных, связывает кислород и переносит его из лёгких в ткани. Липопротейды сыворотки крови переносят липиды, а сывороточный альбумин — свободные жирные кислоты. Транспортные белки, встроенные в наружную мембрану клеток, переносят различные вещества из окружающей среды в цитоплазму и обратно.

Белки-рецепторы отвечают за распознавание сигналов, получаемых клетками из внешней среды, и передачу информации внутрь клетки. Эти белки имеют центры связывания, которые могут узнавать активные участки определённого типа сигнальных молекул (нейромедиаторов, гормонов). Рецепторы расположены в плазматической мембране клеток и связаны либо с ионными каналами, которые открываются при контакте сигнальной молекулы с рецептором, либо с внутриклеточными белками, которые запускают каскады реакций, что приводит к необходимому ответу клетки на стимул. Другие рецепторы (например, стероидных гормонов и гормонов щитовидной железы) находятся в цитоплазме или ядре клетки. После связывания с сигнальной молекулой они приступают к регуляции активности генов.

Структурные белки участвуют в построении различных *структурных элементов* клетки. Из них формируется *цитоскелет* — внутренний каркас, который участвует в поддержании формы клетки, в соединении клеточных органоидов друг с другом и с плазматической мембраной. Они также играют важную роль при образовании межклеточного вещества, например, основу этого вещества у всех видов соединительной ткани составляет фибриллярный белок *коллаген*.

СТРУКТУРНЫЕ БЕЛКИ ● БЕЛКИ-ФЕРМЕНТЫ ● ТРАНСПОРТНЫЕ БЕЛКИ ● СИГНАЛЬНЫЕ БЕЛКИ ● БЕЛКИ ЗАЩИТЫ И НАПАДЕНИЯ ● БЕЛКИ-РЕЦЕПТОРЫ ● БЕЛКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДВИЖЕНИЕ ● ЗАПАСНЫЕ БЕЛКИ

ПОДУМАЙТЕ

Почему в запасных тканях семян растений (эндосперме, семядолях), даже очень богатых углеводами или жирами, обязательно присутствуют белки



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какие функции белков вам известны?
2. Чем объясняется многообразие функций белков?
3. Что представляют собой белки-ферменты? Приведите примеры таких белков.
4. Как реализуется белками защитная функция?
5. Что вам известно о гормонах? Есть ли среди них вещества белковой природы? Приведите примеры.

Совершенствуемся

1. Используя доступные информационные источники, подготовьте сообщение о конкретных видах белков, встречающихся в организмах, и выполняемых ими функциях.
2. Почему белки называют молекулами жизни?
3. Используя дополнительные источники информации, найдите сведения о классах белков-ферментов. Результаты представьте в виде таблицы.
4. Найдите в приведённом тексте ошибки. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки. Исправьте их.
 - 1) Большое значение в строении и жизнедеятельности организмов имеют белки.
 - 2) Это биополимеры, мономерами которых являются азотистые основания.
 - 3) Белки входят в состав плазматической мембраны.
 - 4) Все белки выполняют в клетке ферментативную функцию.
 - 5) Молекулы белка несут наследственную информацию о признаках организма.
 - 6) Молекулы белка входят в состав рибосом.

Это интересно

После расшифровки генома многих видов бактерий, грибов, растений и животных (в том числе человека) удалось подсчитать общее количество генов у этих организмов и связать эти гены с теми процессами (синтез ДНК, синтез белка, реакции энергетического обмена и т. п.), в которых принимают





участие кодируемые ими белки. Оказалось, что функции огромного числа генов (свыше 40 %!) у всех этих организмов пока неизвестны. Было также установлено, что у этих видов значительное число генов кодируют белки-переносчики, транспортирующие через плазматическую мембрану ионы и низкомолекулярные соединения (от 10 % из 4269 генов у бактерии *Escherichia coli* до 4 % из примерно 35 000 генов у человека).

В целом, чем более сложно устроен организм, тем бóльшая часть генома кодирует белки, обеспечивающие *регуляцию* разнообразных клеточных процессов, и тем меньшая часть приходится на белки, осуществляющие эти процессы (например, синтез АТФ или синтез белка). Так, у растения резуховидки Таля (*Arabidopsis thaliana*) гораздо больше тех генов, которые хранят информацию, необходимую для адресной доставки белков к месту их окончательной локализации в клетке, чем тех, что содержат информацию о самих белках (6 % и 2 % соответственно).

Транспортные белки в клетке. Эти белки обеспечивают перенос веществ через плазматическую мембрану в клетку и из клетки (или между разными органами и тканями у многоклеточных организмов). Биологические мембраны в обычных условиях непроницаемы для катионов (K^+ , Na^+ и Ca^{2+}). Их проницаемость обеспечивают белки-каналы, образующие поры, пересекающие внутренний гидрофобный слой мембраны. Через эти поры ионы могут проходить сквозь мембрану.

В обычных условиях пора закрыта — она открывается под действием электрических импульсов или биологически активных веществ. После этого ионы могут перемещаться с одной стороны мембраны на другую в направлении от большей концентрации к меньшей (пассивный транспорт). Миграция же ионов в противоположном направлении (активный транспорт) осуществляется с затратой энергии АТФ другими транспортными белками — *ионными насосами* (транспортными АТФ-азами). Белки-переносчики осуществляют перенос через мембрану низкомолекулярных полярных соединений — сахаров, аминокислот и т. п. (см. рис. 35).

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Обнаружение белков с помощью качественной реакции» на с. 201.



Ферменты — биологические катализаторы

§ 11

Вспомните:

1. Что такое катализ? Какие катализаторы химических реакций вы знаете?
2. Что такое экзо- и эндотермические реакции?
3. Что такое прямая и обратная химические реакции?

Механизм действия катализаторов в химических реакциях. Катализаторы могут значительно ускорять протекание химических реакций. Как вы знаете из курса химии, катализатор одинаково влияет как на скорость прямой, так и на скорость обратной реакции, т. е. ускоряет достижение состояния равновесия, но не сдвигает его в ту или иную сторону. Состояние равновесия и направление реакции определяются значениями свободной энергии исходных (*субстратов*) и конечных (*продуктов*) веществ, участвующих в реакции.

Самопроизвольно протекают только те реакции, в результате которых свободная энергия уменьшается, т. е. те, которые идут с выделением энергии. Они называются *экзергоническими*. К таковым относятся, например, реакции распада более сложных веществ на простые, расщепления полимеров на мономеры, окисления органических веществ кислородом и т. п.

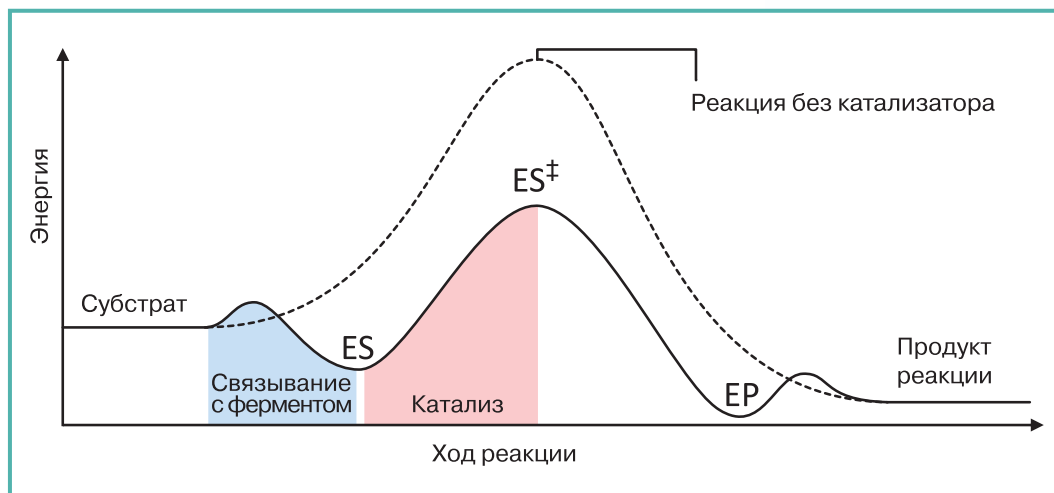


Рис. 36. Снижение значения энергии активации при помощи катализатора: Е — фермент, S — субстрат, P — продукт реакции



Но даже такие реакции могут протекать очень медленно. Например, сахароза (дисахарид, состоящий из глюкозы и фруктозы) в виде раствора в дистиллированной воде может сохраняться в течение нескольких лет. В то же время после добавления в этот раствор фермента (сахаразы или инвертазы) она расщепляется на глюкозу и фруктозу за несколько секунд.

Так почему же такие реакции идут медленно и как именно катализаторы ускоряют их протекание? Дело в том, что для вступления в реакцию субстрат (субстраты) должен получить дополнительное количество энергии, называемое **энергией активации**. Только после этого происходит образование продукта (продуктов) реакции. Например, бумажные рукописи хранятся столетиями, хотя бумага с годами становится ветхой, но при высокой температуре активационный барьер преодолевается и бумага быстро сгорает. Похожее могут делать и катализаторы — они снижают необходимое количество энергии активации, и за счёт этого ускоряется протекание реакции (рис. 36).

Строение фермента. Каталитическая активность фермента определяется не всей его молекулой, а определённым её участком с уникальной структурой, который называется **активным центром**. Известно, что химический катализ осуществляется за счёт образования комплекса превращаемого в процессе реакции вещества (субстрата) с катализатором. Этот комплекс распадается после превращения субстрата в продукт, и при завершении реакции катализатор освобождается в

неизменном виде. В процессе ферментативной реакции субстрат также взаимодействует с ферментом, причём связывание субстрата происходит именно в активном центре. Для этого необходимо пространственное соответствие между субстратом и активным центром фермента — они должны подходить друг к другу, как ключ к замку. Таким образом, ферменты характеризуются **субстратной специфичностью**, т. е. каждый из них обеспечивает протекание лишь одной реакции.

При связывании субстрата с активным центром фермента различные участки молекулы первого (функциональные группы) взаимодействуют с аминокислотными радикалами последнего. В результате такого взаимодействия определённые связи между атомами в молекуле субстрата ослабевают и разрушаются значительно легче, чем, например, это происходит в растворе. Или же две молекулы

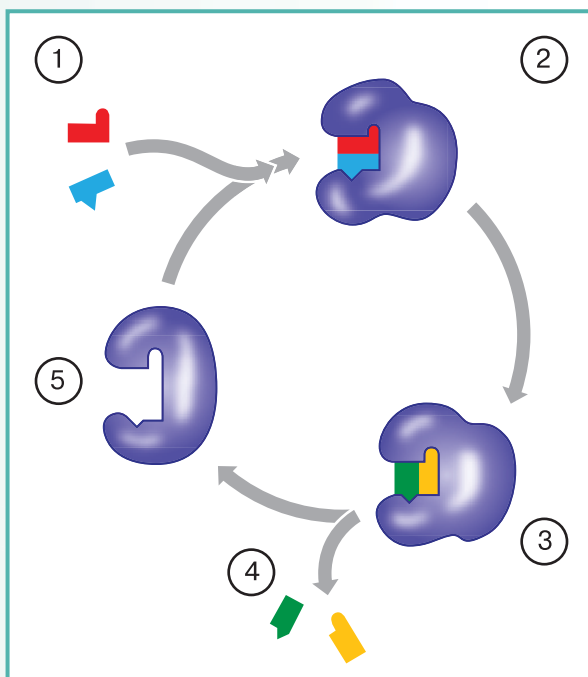


Рис. 37. Общая схема работы фермента: 1 — субстраты, 2 — образование связи с субстратом в активном центре фермента, 3 — фермент осуществляет катализ реакции, 4 — продукты реакции, 5 — фермент готов вступить в новую связь с субстратами



субстрата в процессе взаимодействия с активным центром фермента сближаются настолько, что между ними легко возникает химическая связь. Иногда в процессе реакции образуется промежуточный продукт, который вступает в ковалентную связь с одним из аминокислотных радикалов активного центра (рис. 37).

Таким образом, активный центр каждого фермента имеет уникальные химические свойства, зависящие как от природы аминокислотных радикалов данного участка молекулы фермента, так и от их точной взаимной пространственной ориентации. Эта уникальная структура связывается с определённым субстратом и обеспечивает такое изменение его структуры, которое облегчает превращение субстрата в продукт. При денатурации фермента его каталитическая активность исчезает, так как происходит разрушение структуры активного центра.

Коферменты. В состав многих ферментов, помимо аминокислотных радикалов, часто входят и небелковые соединения — **коферменты**. Это могут быть, например, ионы металлов (Fe^{2+} , Cu^{2+}) или органические соединения — динуклеотиды (НАД^+ , ФАД) и др. Они принимают самое непосредственное участие в катализе. Многие водорастворимые витамины, в частности витамины группы В, необходимы нам именно для синтеза таких коферментов (рис. 38).

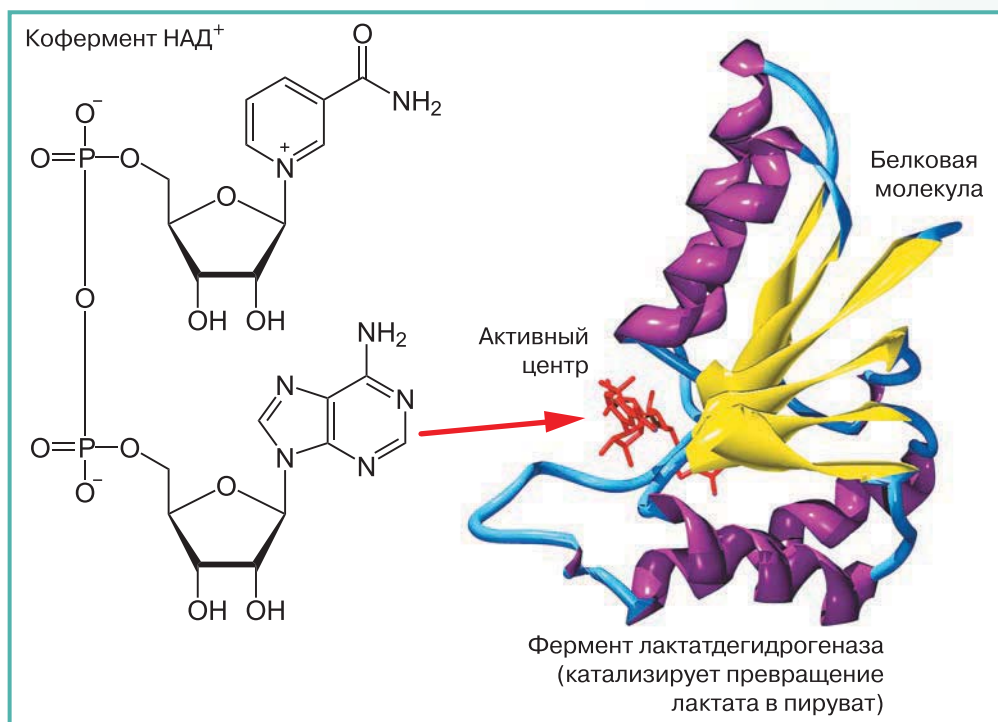


Рис. 38. Кофермент в составе фермента

Отличия ферментов от химических катализаторов. Каталитическая активность ферментов очень высока. Большинство из них ускоряет скорости протекания химических реакций в 10^7 — 10^9 раз, тогда как неорганические катализаторы ускоряют реакции лишь в десятки или сотни раз.



В отличие от таких катализаторов ферменты способны ускорять чаще всего только одну определённую химическую реакцию — превращение конкретного субстрата (субстратов) в столь же конкретный продукт (продукты). Кроме того, ферменты, в отличие от неорганических катализаторов, могут осуществлять и *эндергонические* реакции, т. е. такие, что идут с поглощением энергии. Для этого они сопрягают подобную реакцию с той, которая протекает с выделением энергии, причём суммарное изменение свободной энергии в этих двух реакциях должно быть отрицательным (так как часть её рассеивается в виде тепла). Чаще всего в качестве источника энергии ферменты используют макроэргические соединения, в первую очередь АТФ (аденозинтрифосфат) (см. § 13).

Ещё одна особенность ферментов, отличающая их от неорганических катализаторов, заключается в том, что активность первых может регулироваться. Это приводит к ускорению или же, наоборот, к замедлению протекания катализируемых ими реакций. Так, активность ферментов может регулироваться при связывании низкомолекулярных соединений в специальных регуляторных центрах катализатора или же за счёт взаимодействия ферментов с **белками-активаторами** или **белками-ингибиторами**.



ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ • АКТИВНЫЙ ЦЕНТР • СУБСТРАТНАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ • КОФЕРМЕНТЫ • БЕЛКИ-АКТИВАТОРЫ И БЕЛКИ-ИНГИБИТОРЫ

ПОДУМАЙТЕ

Почему белки редко используются организмами в качестве источника энергии для процессов жизнедеятельности?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какова роль катализаторов в протекании химических реакций?
2. Что лежит в основе работы (механизма действия) любых катализаторов, в том числе ферментов?
3. Какое строение имеет молекула белка-фермента?
4. Какую роль в составе фермента играют коферменты? Какие вещества в организме являются их предшественниками? Приведите примеры.
5. Как осуществляется регуляция активности фермента?



Совершенствуемся

1. Приведите примеры химических реакций с участием катализаторов, укажите условия их протекания.
2. Из курса химии вам известно, что реакции, протекающие при участии катализаторов (никель, платина), требуют высоких температур и давления. Ферментативные процессы протекают в узких пределах изменения температуры и давления. Дайте объяснение этому факту.

Обсуждаем

Взрослые люди часто тяжело переносят повышение температуры тела на несколько градусов от нормы, что само по себе является важнейшей защитной реакцией организма против возбудителей целого ряда заболеваний. Как это может повлиять на работу ферментов и других физиологически важных веществ организма человека, имеющих белковую природу?

Это интересно

Самым «эффективным» катализатором является один из ферментов, участвующих в синтезе азотистого основания урацила. Он ускоряет реакцию в 10^{17} раз! В его отсутствие образование необходимых для клетки количеств этого азотистого основания, входящего в состав рибонуклеотидов и РНК, занимало бы десятки миллионов лет. Совершенно очевидно, что без этого фермента, как и без многих других, жизнь была бы невозможна, поскольку обмен веществ просто остановился бы.

Регуляция активности ферментов. Часто активность ферментов регулируется за счёт фосфорилирования (присоединения остатка фосфорной кислоты) некоторых аминокислотных остатков специальными ферментами протеинкиназами. Это позволяет клеткам быстро «включать» или «выключать» те или иные катализаторы, запуская или блокируя протекание определённых биохимических процессов. Также можно при помощи фосфорилирования точно «подстраивать» скорость этих процессов к потребностям клетки, не прибегая к синтезу или разрушению молекул ферментов.

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Каталитическая активность ферментов (на примере амилазы)» на с. 201.





§12

Нуклеиновые кислоты: ДНК и РНК

Вспомните:

1. Какие вещества называют кислотами?
2. Какие органические вещества, содержащиеся в составе клетки, отвечают за хранение и передачу наследственных признаков?
3. Какие процессы происходят в клетке перед началом её деления?

Нуклеиновые кислоты. Ещё один важный класс биополимеров — это **нуклеиновые кислоты** (от лат. *nucleus* — ядро). Они являются носителями генетической информации, а также принимают участие в процессах её реализации, а точнее — в процессе синтеза белков. В живой природе обнаружено два типа нуклеиновых кислот: **дезоксирибонуклеиновая кислота** (сокращённо **ДНК**) и **рибонуклеиновая кислота** (**РНК**). Оба эти соединения имеются у всех живых организмов; исключение составляют **вирусы**, одни из которых содержат только РНК, тогда как другие — только ДНК. Мономерами ДНК и РНК являются вещества под названием **нуклеотиды** (рис. 39).

Нуклеотид — это органическая молекула, состоящая из трёх последовательно соединённых компонентов: *азотистого основания*, *пятиуглеродного сахара (пентозы)* и одного или нескольких остатков *фосфорной кислоты*.

Нуклеотиды ДНК и РНК обладают сходной, но не одинаковой структурой. Те из них, что входят в состав **ДНК**, содержат пятиуглеродный сахар **дезоксирибозу**, остаток фосфорной кислоты и одно из четырёх азотистых оснований: **аденин**, **гуанин**, **цитозин** или **тимин** (сокращённо **А**, **Г**, **Ц** и **Т**). Ну а те, которые являются мономерами **РНК**, состоят из пятиуглеродного сахара **рибозы**, остатка фосфорной кислоты, а также одного из четырёх азотистых оснований: **аденина**, **гуанина**, **цитозина** или **урацила** (сокращённо **А**, **Г**, **Ц** и **У**) (см. рис. 39).

Строение и функциональные особенности ДНК. ДНК является носителем генетической информации. В клетках эукариотов она сосредоточена главным образом в ядре, где является основным компонентом хромосом. Кроме того, своя ДНК также имеется в митохондриях и пластидах. Количество нуклеотидов, входящих в состав ДНК, очень велико: в клетках прокариот, содержащих единственную кольцевую хромосому, вся ДНК присутствует в виде одной макромолекулы и

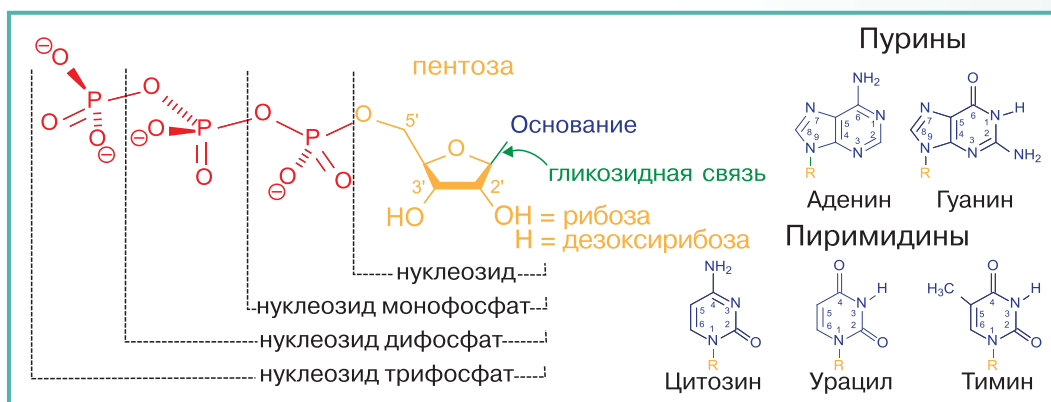


Рис. 39. Нуклеотиды

содержит 10^6 — 10^7 пар нуклеотидов, а размер генома эукариотов может превышать 10^{11} пар.

Молекула ДНК представляет собой длинный неразветвлённый полимер, состоящий из двух цепей нуклеотидов. В каждой из цепочек нуклеотиды соединены между собой при помощи ковалентной связи. Обе же цепочки молекулы ДНК соединяет друг с другом большое количество водородных связей, которые образуются между азотистыми основаниями нуклеотидов. Причём азотистое основание, стоящее в одной цепи ДНК, определяет вид основания, которое будет располагаться напротив него в другой цепи: против аденина одной цепи всегда располагается тимин другой цепи, а против гуанина — цитозин, и наоборот (рис. 40).

Строгое соответствие нуклеотидов, расположенных напротив друг друга в парных цепях молекулы ДНК, называют **принципом комплементарности** (от лат. *complementum* — дополнение). Именно благодаря этому свойству молекулы ДНК возможно точное воспроизведение генетической информации в процессе самокопирования биологических систем (деления клетки или размножения организмов).

Репликация ДНК. Из-за структурных особенностей двойной спирали ДНК записанная в ней биологическая информация может точно копироваться и передаваться по наследству в череде поколений. Если разделить цепи этой молекулы и использовать каждую из них в качестве *шаблона (матрицы)* для построения второй, то получатся две новые идентичные молекулы ДНК, которые несут одинаковую генетическую информацию. Именно так и происходит удвоение (*репликация*) ДНК перед делением клетки. В результате разрыва водородных связей между азотистыми основаниями соседних цепей ДНК эти цепочки разделяются, а затем происходит синтез двух новых (дочерних) цепей с использованием в виде матрицы родительских молекул. Эти реакции были названы *реакциями матричного синтеза*.

Виды РНК и их функции. РНК также представляет собой полимер, состоящий из ковалентно связанных между собой нуклеотидов. В большинстве клеток содержание РНК во много раз (от 5 до 10) превосходит содержание ДНК.

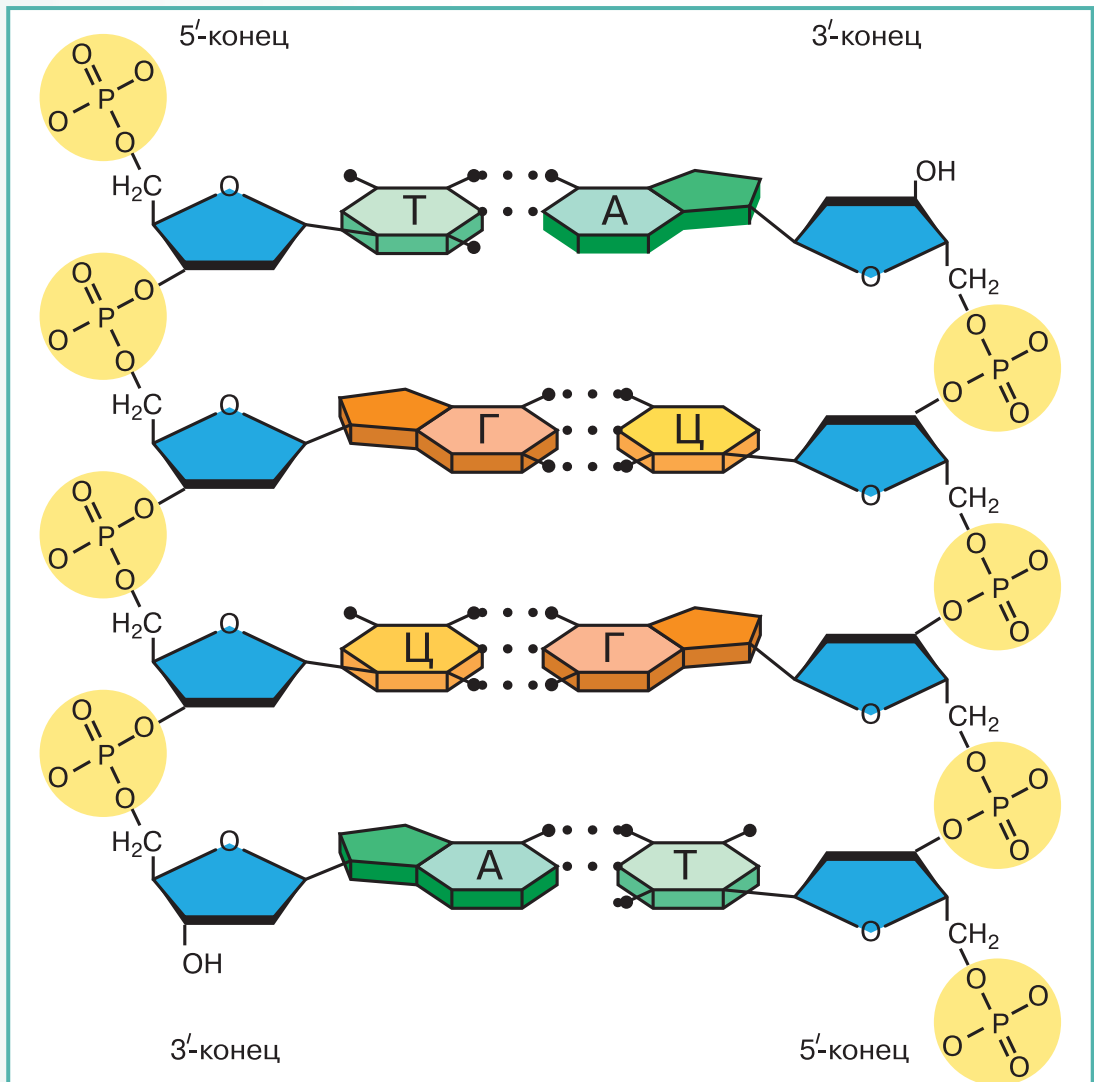


Рис. 40. Схема строения ДНК: А — аденин, Г — гуанин, Т — тимин, Ц — цитозин. Синим цветом выделен сахар дезоксирибоза, жёлтым — остаток фосфорной кислоты

В клетках существует три основных типа рибонуклеиновых кислот: информационная, или матричная, РНК (иРНК, или мРНК), транспортная РНК (тРНК) и рибосомная РНК (рРНК) (рис. 41). Молекулы всех трёх типов РНК состоят из одной цепочки нуклеотидов. Все они имеют значительно меньшую молекулярную массу, чем молекулы ДНК, но тем не менее без них синтез белка в клетке идти не будет.

Информационные, или матричные, РНК (иРНК) синтезируются на участке одной из цепей молекулы ДНК и передают информацию о структуре белка из ядра клеток к рибосомам, где эта информация реализуется.

Рибосомные РНК (рРНК) входят в состав рибосом и участвуют в формировании их активных центров, в которых происходит процесс биосинтеза белка. Молекулы рРНК состоят из 3—5 тысяч нуклеотидов и синтезируются в особых

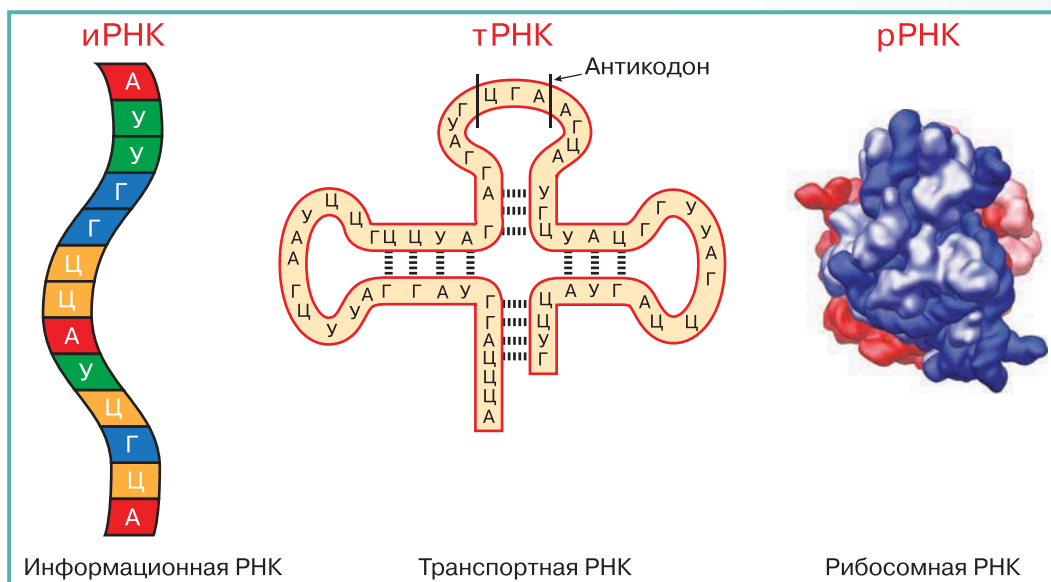


Рис. 41. Виды РНК

областях клеточного ядра — *ядрышках*, где находятся многочисленные копии генов рибосомных РНК.

Транспортные РНК (тРНК) — самые маленькие по размеру — транспортируют аминокислоты к месту синтеза белка, последовательно добавляя их к вновь синтезируемой полипептидной цепи. Эти аминокислоты могут прикрепляться к одному из концов молекулы тРНК. Молекулярная масса этой разновидности РНК невелика — от 75 до 90 нуклеотидов.

Роль нуклеиновых кислот в реализации наследственной информации. Информационные РНК синтезируются в ядре во время *транскрипции* — процесса, в ходе которого на определённом участке одной из цепей ДНК происходит создание молекулы иРНК (матричный синтез). Молекула этой кислоты состоит из примерно 300—30 000 нуклеотидов и представляет собой структуру, комплементарную определённому участку одной из цепей молекулы ДНК, который называется **геном**. После синтеза иРНК переходит в цитоплазму, где она прикрепляется к *рибосомам* и используется в качестве матрицы, определяющей последовательность аминокислот в синтезируемой полипептидной цепи. Таким образом, последовательность нуклеотидов участка цепи ДНК (гена), а затем синтезируемой на его основе иРНК определяет очерёдность расположения аминокислот в синтезируемом белке. Можно сказать, что реализация генетической информации клетки идёт в направлении ДНК → РНК → белок. Каждый из тысяч белков, синтезируемых клеткой, кодируется специфической иРНК (подробнее об этом см. в § 24).

НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ • ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА (ДНК) • РИБОНУКЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА (РНК) • НУКЛЕОТИД • ПРИНЦИП КОМПЛЕМЕНТАРНОСТИ • ГЕН





ПОДУМАЙТЕ

Возможно ли существование нуклеотидов в клетке не в качестве мономеров нуклеиновых кислот? Какие функции такие молекулы выполняют в этом случае?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какую роль играют нуклеиновые кислоты в хранении и реализации наследственной информации?
2. Что представляет собой молекула ДНК как биополимер?
3. Какое строение имеет нуклеотид?
4. В чём заключается принцип комплементарности?
5. Как и когда происходит репликация ДНК в клетке?
6. Какие типы молекул РНК вам известны? Какие функции они выполняют?

Совершенствуемся

1. Прочитайте текст параграфа, раскрывающий структурные особенности молекул ДНК и РНК. В чём сходство и различия молекул данных нуклеиновых кислот и выполняемых ими функций? Представьте ответ в виде схемы или таблицы.
2. Выполните задания в тетради.

Рибоза, в отличие от дезоксирибозы, входит в состав:

- 1) ДНК;
- 2) белков;
- 3) полисахаридов;
- 4) иРНК.

Установите соответствие между признаками нуклеиновой кислоты и её видами.

ПРИЗНАКИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ	ВИДЫ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ
А) состоит из двух полинуклеотидных цепей, закрученных в спираль	1) ДНК 2) тРНК
Б) состоит из одной полинуклеотидной неспирализованной цепи	



Продолжение

ПРИЗНАКИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ	ВИДЫ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ
В) передаёт наследственную информацию из ядра к рибосоме Г) является хранителем наследственной информации Д) состоит из нуклеотидов: АТГЦ Е) состоит из нуклеотидов: АУГЦ	1) ДНК 2) тРНК

Это интересно

Структура молекулы ДНК. Хотя дезоксирибонуклеиновая кислота впервые была получена швейцарским биологом *Фридрихом Мишером* в 1868 г., однако долгое время биологи никак не связывали её с хранением наследственной информации, считая её просто формой запаса фосфора в организме, поскольку строение её молекулы было неизвестно. Идея о том, что именно ДНК, а вовсе не белки, как считали прежде, является носителем генетической информации, была высказана отечественным биологом *Николаем Константиновичем Кольцовым* в 1928 г.

Первыми доказательствами этой гипотезы стали результаты экспериментов по трансформации бактерий, проведённых *Освальдом Эвери*, *Колином Маклаудом* и *Маклином Маккарти* в 1944 г. Им удалось показать, что за так называемую трансформацию, т. е. приобретение болезнетворных свойств безвредной культурой в результате добавления в неё мёртвых болезнетворных бактерий, отвечает выделенная из пневмококков ДНК.

Проведённый же в 1952 г. эксперимент американских учёных *Алфреда Херши* и *Марты Чейз* с помеченными радиоактивными изотопами белками и ДНК бактериофагов (вирусов, паразитирующих в бактериях, подробнее о них см. в § 14) показал, что в заражённую клетку передаётся только нуклеиновая кислота фага. Новое же поколение этих вирусов содержит такие же белки и нуклеиновую кислоту, как исходный фаг.

Структура молекулы ДНК была расшифрована в 1953 г. англичанами *Морисом Уилкинсом*, *Розалиндой Франклин*, *Фрэнсисом Криком* и американцем *Джеймсом Уотсоном*.

За это открытие Уилкинс, Уотсон и Крик в 1962 г. получили Нобелевскую премию по медицине (умершей от рака в 1958 г. Франклин она не досталась, потому что Нобелевские премии не вручают посмертно).

В ходе проведённых исследований было установлено, что эта молекула состоит из двух нуклеотидных цепей, расположенных навстречу друг другу (т. е. антипараллельно) и формирующих правозакрученную спираль.

Нуклеотиды одной цепи ДНК последовательно соединяются друг с другом за счёт образования ковалентных фосфодиэфирных связей между ОН-группой





дезоксирибозы одного нуклеотида и остатком фосфорной кислоты другого. Азотистые основания, которые располагаются по одну сторону от образовавшегося остова цепи ДНК, как бы нанизаны на сахарофосфатную цепь наподобие четырёх типов бусинок, надетых на одну нить. Концы цепи ДНК различны: на одном из них находится свободная ОН-группа 3'-углеродного атома остатка дезоксирибозы (3'-конец), а на другом — остаток фосфорной кислоты, присоединённый к 5'-углеродному атому остатка дезоксирибозы (5'-конец).

Ширина этой двуцепочечной спирали составляет примерно 2 нм, тогда как длина может достигать сотен тысяч нанометров. Все азотистые основания ДНК находятся внутри спирали, а сахарофосфатный остов — снаружи. Таким образом, основания одной цепи максимально сближены с основаниями другой и между ними формируются водородные связи.

Количество входящих в состав ДНК азотистых оснований одного типа (аденина и гуанина) равно количеству азотистых оснований другого типа (тимина и цитозина), т. е. $A + G = T + C$, причём количество аденина всегда равно количеству тимина, а количество гуанина — количеству цитозина. Между этими парами и формируются водородные связи: две в паре А—Т и три в паре Г—Ц. Это определяется размером и структурой конкретных азотистых оснований: размер пар аденин—тимин и гуанин—цитозин составляет примерно 1,1 нм, что соответствует размеру внутренней части спирали ДНК.

После расшифровки генома человека и других многоклеточных эукариотов было установлено, что белки, а также рибосомные и транспортные РНК кодирует всего несколько процентов ДНК. Однако остальная часть генома — это не «бессмысленные» последовательности: примерно 75 % ДНК служит матрицей для синтеза молекул РНК разного размера, которые не используются при синтезе белков (так называемые некодирующие РНК). Функции этих молекул в настоящее время активно исследуются. Уже установлено, что они участвуют в реорганизации хроматина в ядре и в регуляции экспрессии генов.

МикроРНК. В последние годы обнаружено несколько ранее неизвестных разновидностей рибонуклеиновой кислоты — микроРНК (или минорные РНК). Назвали их так потому, что молекулы этих нуклеиновых кислот состоят всего из 18—25 нуклеотидов.

Долгое время учёные не могли понять, какую роль микроРНК играют в клетке, поскольку с самого начала было понятно, что такие короткие нуклеиновые кислоты не могут кодировать ни один из белков. Оказалось, что эти РНК являются внутриклеточными регуляторами, изменяя активность отдельных генов или вообще «выключая» их. Кроме того, они могут защищать клетки от вирусов. Так, микроРНК даже в очень малых количествах весьма эффективно блокируют попытки различных штаммов вируса гепатита С «захватить» клетку.

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Выделение ДНК из ткани печени» на с. 202.



АТФ и другие нуклеотиды. Витамины

§ 13

Вспомните:

1. Что такое обмен веществ?
2. Почему для жизнедеятельности любой биологической системы необходима энергия?
3. Какие витамины вам известны? Какую роль они играют в организме человека?
4. Какой процесс называют гидролизом?

Роль нуклеотидов в обмене веществ. Внутри клеток постоянно протекают процессы, необходимые для обеспечения их жизнедеятельности. В них происходят реакции, идущие как с выделением энергии (они могут протекать спонтанно), так и с её поглощением — как, например, синтез полимеров из мономеров, который не может протекать сам по себе и нуждается в обеспечении энергией.

Например, если перенос веществ через полупроницаемые биологические мембраны из области большей концентрации вещества в область с меньшей его концентрацией за счёт диффузии (см. § 6) может проходить спонтанно, то их обратный транспорт требует затрат энергии. Их же требуют и любые виды механической работы: движение жгутиков и ресничек, движение хромосом в процессе деления клетки, сокращение мышц.

Итак, для протекания в клетке процессов, требующих затрат энергии, нужно, чтобы она была, причём в максимально доступной форме. Поэтому для запасаания и использования энергии в клетке существуют специальные вещества. Они представляют собой нуклеотиды, которые отличаются от тех, что являются мономерами нуклеиновых кислот. В качестве примера такого соединения можно назвать известное вам вещество **АТФ** (аденозинтрифосфорную кислоту).

По своей химической природе АТФ (рис. 42) — это *моонуклеотид*, который, как все нуклеотиды, состоит из азотистого основания (в данном случае

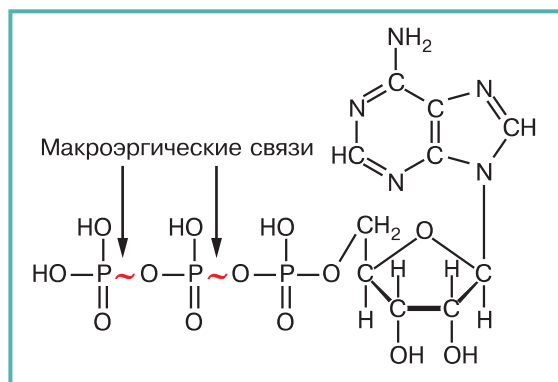


Рис. 42. АТФ



аденина), пятиуглеродного сахара (в данном случае это рибоза) и трёх остатков фосфорной кислоты. Гидролиз молекулы АТФ, осуществляемый при участии специальных ферментов (*АТФ-аза*), приводит к отщеплению от её молекулы одного остатка фосфорной кислоты и к образованию *АДФ (аденозиндифосфорной кислоты)*. Эта реакция сопровождается выделением большого количества энергии (около 40 кДж/моль).

Гидролиз — химическая реакция взаимодействия вещества с водой, при которой происходит разложение этого вещества и воды с образованием новых соединений.

Процесс гидролиза различных органических и неорганических соединений существенно различается как по механизму, так и по энергетическому эффекту. Поэтому те химические связи в молекулах органических веществ, гидролиз которых сопровождается значительным выделением энергии, называют **макроэргическими**. При их разрыве выделяется почти в четыре раза больше энергии, чем при расщеплении других химических связей.

В молекуле АТФ имеются две макроэргические связи: между первым и вторым, а также между вторым и третьим остатками фосфорной кислоты. Поэтому отщепление от АТФ двух остатков фосфорной кислоты (пирофосфата) с образованием АМФ (*аденозинмонофосфорной кислоты*) также сопровождается выделением энергии (ещё около 40 кДж/моль).

АТФ как универсальный аккумулятор энергии. АТФ является универсальным аккумулятором энергии — своеобразной энергетической «валютой» в клетках живых организмов. Клетки научились сопрягать процессы, сопровождающиеся выделением энергии, с синтезом АТФ из АДФ и неорганического фосфата (в качестве примеров можно привести субстратное фосфорилирование в ходе гликолиза и брожения, а также окислительное фосфорилирование в митохондриях и фотофосфорилирование в хлоропластах растений). В свою очередь, все процессы, протекающие с потреблением энергии, сопровождаются гидролизом АТФ до АДФ и неорганического фосфата (или до АМФ и пирофосфата). Освобождаемая при этом энергия используется клетками для совершения механической работы и для транспорта через биологические мембраны ионов натрия, калия или кальция против градиента их концентрации, а также для различных процессов биосинтеза.

Многообразие мононуклеотидов клетки. Кроме АТФ, в клетках присутствуют и другие мононуклеотиды, отличающиеся от неё разновидностью азотистого основания: ГТФ (гуанозинтрифосфорная кислота), УТФ (уридинтрифосфорная кислота), ЦТФ (цитидинтрифосфорная кислота). Они также являются макроэргическими соединениями, чья энергия гидролиза используется, например, при синтезе белка (ГТФ), полисахаридов (УТФ), фосфолипидов (ЦТФ). Все перечисленные нуклеотиды необходимы также для синтеза РНК.

Дезоксирибонуклеотиды, содержащие в своём составе вместо рибозы пятиуглеродный сахар дезоксирибозу — дАТФ, дГТФ, дЦТФ и дТТФ (дезокситимидинтрифосфорная кислота), выступают в роли субстратов при синтезе ДНК.



Витамины. В отличие от других биоорганических веществ витамины не используются в качестве источника энергии или строительного материала.

Витамины (от лат. *vita* — жизнь) — сложные биоорганические соединения, необходимые в малых количествах для нормальной жизнедеятельности организмов.

О роли витаминов вам многое известно из курса биологии основной школы. Напомним, что эти соединения принято обозначать буквами латинского алфавита. Долгое время в основу классификации данных веществ была положена их способность растворяться в воде и жирах, т. е. их подразделяли на *жирорастворимые* (или *липовитамины*), к которым относились витамины из групп А, D (рис. 43), Е и К, и *водорастворимые*, включавшие в себя витамины группы В (рис. 44), а также С, РР и др. Однако ещё в 1943 г. отечественный биохимик *Александр Владимирович Палладин* синтезировал водорастворимый аналог витамина К — *викасол*. Позже были получены водорастворимые препараты и других витаминов этой группы. Таким образом, в настоящее время деление этих веществ на водо- и жирорастворимые признано весьма и весьма условным. Впрочем, некоторые учёные всё равно продолжают пользоваться этой классификацией.

Некоторые из этих веществ могут синтезироваться самим организмом (например, бактерии способны образовывать практически все витамины). Другие витамины могут поступать в организм только с пищей. Как недостаток, так и избыток витаминов может привести к серьёзным нарушениям обмена веществ.

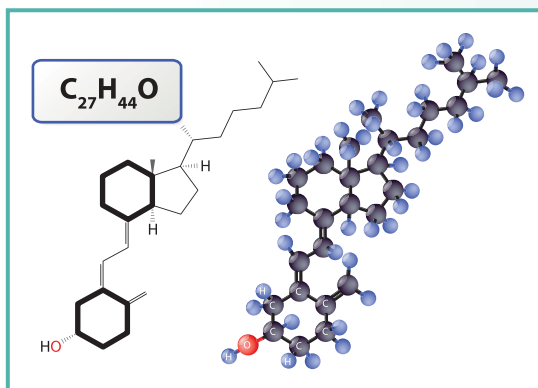


Рис. 43. Жирорастворимый витамин D₃

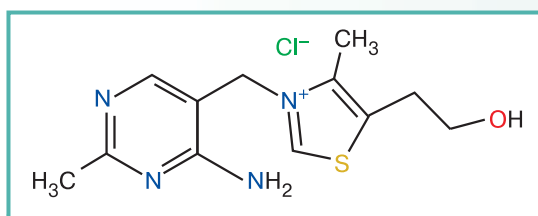


Рис. 44. Водорастворимый витамин В₁ (тиамин)

АТФ • ГИДРОЛИЗ • МАКРОЭРГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ • ВИТАМИНЫ

ПОДУМАЙТЕ

Можно ли удобрения, применяемые человеком для подкормки культурных растений, рассматривать в качестве аналогов витаминов?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какое строение имеет молекула АТФ?
2. Какое значение имеет АТФ для осуществления процессов обмена веществ у разных групп организмов?
3. Какие связи называют макроэргическими? Приведите примеры.
4. Какую роль в организме человека и животных играют витамины?
5. Что является источником витаминов для человека? Приведите примеры.

Совершенствуемся

Используя доступные информационные источники, подготовьте сообщение о роли нуклеотидов и витаминов в осуществлении процессов жизнедеятельности организмов. Оформите его в виде презентации.

Обсуждаем

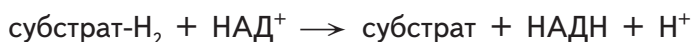
Каким образом человек может обеспечить свой организм необходимым количеством энергии и витаминов? Обсудите это с учителем и одноклассниками.

Это интересно

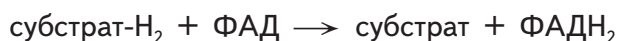
Кофермент А. Нуклеотидную природу имеет и *кофермент А* (КоА), в состав которого входит аденин, рибоза, три остатка фосфорной кислоты, пантотеновая кислота (витамин группы В) и бета-аминоэтантол. Свободная сульфгидрильная группа КоА может присоединять ацетильные группы (остатки уксусной кислоты) с образованием *ацетил-КоА*, называемого иногда активной формой ацетата, а также остатки жирных кислот (ацильные радикалы). Это происходит, например, при декарбоксилировании пирувата или при окислении жирных кислот. Получившийся в результате этого процесса ацетил-КоА вступает затем в реакции цикла Кребса.



Динуклеотиды и их роль в обмене веществ. Помимо моонуклеотидов, важную роль в обмене веществ играют *динуклеотиды*, в первую очередь НАД^+ (*никотинамидадениндинуклеотид*), НАДФ^+ (*никотинамидадениндинуклеотидфосфат*), ФАД (*флавинадениндинуклеотид*) и некоторые другие. В их состав входят производные витаминов РР (амид никотиновой кислоты) и В_2 (рибофлавин). Если АТФ является в клетке универсальным источником энергии, то НАД^+ , НАДФ^+ и ФАД — универсальные акцепторы, а их восстановленные формы НАДН , НАДФН и ФАДН_2 — универсальные доноры атомов водорода (*восстановительных эквивалентов*) в большинстве окислительно-восстановительных реакций. НАД^+ легко присоединяет два электрона и один протон (т. е. восстанавливается) в тех реакциях, в которых от субстрата при окислении под действием ферментов дегидрогеназ отрываются два атома водорода (второй протон при этом уходит в раствор):



В аналогичных реакциях ФАД может присоединять два атома водорода — они связываются с атомами азота, что сопровождается перераспределением двойных связей в сопряжённых кольцах рибофлавина:



В обратных реакциях ферменты, окисляя НАДН , НАДФН или ФАДН_2 , восстанавливают субстраты, присоединяя к ним два атома водорода.

Итак, окисление различных субстратов в процессе энергетического обмена приводит к накоплению восстановительных эквивалентов в виде НАДН или ФАДН_2 (реакции *цикла Кребса*, окисление жирных кислот и т. д.). Они могут использоваться в различных реакциях биосинтеза, но главным образом окисляются в дыхательной цепи митохондрий. Высвобождающаяся при этом энергия запасается в виде АТФ. У человека и животных НАДФН образуется в основном при окислительном расщеплении углеводов, а у растений — при фотосинтезе. В последнем случае он используется в основном для синтетических процессов (синтез глюкозы в хлоропластах, синтез жирных кислот), хотя может также окисляться в дыхательной цепи митохондрий для получения энергии.

Витамины против рака. Веществ, при помощи которых можно уничтожить клетку, очень много. Но как уничтожить именно раковые клетки, не затронув при этом здоровые ткани организма? Учёные обнаружили, что раковые клетки потребляют один из витаминов — фолиевую кислоту в гораздо больших количествах, чем обычные клетки. Поэтому очень токсичное лекарство особым способом присоединили к участку фолиевой кислоты. Раковая клетка поглощает эту конструкцию, а уже внутри её лекарство отсоединяется от носителя, активируется и уничтожает саму клетку.



§ 14

Вирусы — неклеточная форма жизни

Вспомните:

1. Какие организмы относят к паразитам?
2. Что представляют собой вирусы?
3. Какие вирусы вам известны?

Вирусы — **внутриклеточные паразиты**. Вирусы представляют собой неклеточную форму жизни. Они способны проникать в живые клетки и размножаться только внутри их, используя для этой цели биосинтетические и энергетические системы клетки хозяина. Пока вирус не проник в клетку-хозяина, он не проявляет свойств живого организма, т. е. в нём не протекает никаких биохимических реакций, он не может размножаться и т. д. Учитывая данные обстоятельства, можно утверждать, что вирусы являются внутриклеточными паразитами.

В отличие от всех других живых существ в вирусах присутствует *только один тип нуклеиновой кислоты, которая является носителем генетической информации*. Это либо ДНК, либо РНК. По этому признаку вирусы делят на *ДНК- и РНК-содержащие*. Нуклеиновые кислоты могут быть представлены в вирусах в различной форме: встречаются как *одно-*, так и *двухцепочечные* молекулы ДНК и РНК. И если вирусная ДНК может иметь как линейную, так и кольцевую структуру, то молекулы РНК вирусов, как правило, имеют только линейную форму.

Многообразие вирусов. Условно вирусы делят также на простые и сложные. Простые состоят из нуклеиновой кислоты и белковой оболочки (капсида). Они часто имеют правильную геометрическую форму — палочки, нити или шара (рис. 45).

Белки вирусов формируют оболочку, защищающую нуклеиновую кислоту. Они также отвечают за его антигенные свойства, а иногда могут выполнять функции ферментов.

Сложные вирусы окружены мембраной, содержащей липиды и сложные белки — гликопротеины, соединённые с углеводными компонентами. Однако эта мембрана не синтезируется ими самими, она является «позаимствованной» при выходе вируса частью мембраны той клетки, где была собрана данная вирусная частица.

Рассмотрим строение *вируса табачной мозаики*. Он имеет вид отдельных частиц, каждая из которых представляет собой цилиндр, состоящий из молекул белка. В полости цилиндра располагается молекула РНК, свёрнутая в спираль.

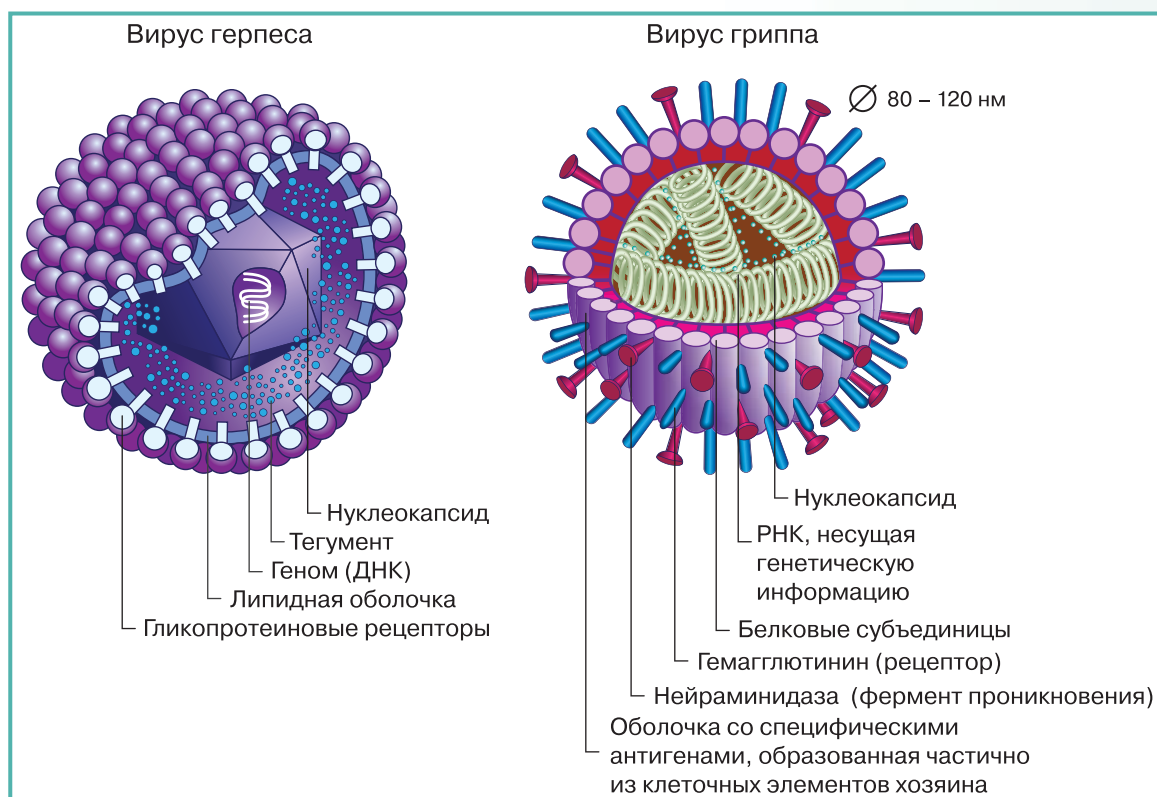


Рис. 45. Строение некоторых вирусов: вирус герпеса и вирус гриппа



Рис. 46. Строение вируса табачной мозаики: слева — фотография вируса табачной мозаики, сделанная при помощи электронного микроскопа, справа — модель его оболочки

В листьях табака вирусные частицы формируют агрегаты в виде кристаллов шестигранной формы, которые видны в электронный микроскоп (рис. 46).

Другим характерным примером вируса является *бактериофаг* (рис. 47), живущий в клетках кишечной палочки. Его тело состоит из головы, хвоста и нескольких хвостовых нитей. Снаружи голова и хвост покрыты белками оболочки. Внутри головы располагается молекула ДНК, а внутри хвоста прохо-

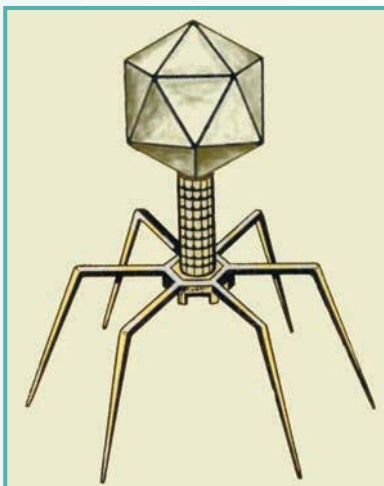


Рис. 47. Бактериофаг

дит канал. Бактериофаг прикрепляется к оболочке кишечной палочки, растворяет её, после чего ДНК вируса впрыскивается им в клетки бактерии.

К сложным вирусам относится вирус гриппа (см. рис. 45). Это РНК-содержащий вирус, капсид которого снаружи покрыт остатками клеточных мембран, содержащих белки-гликопротеины. Гены этих белков часто мутируют, что приводит к появлению новых штаммов (локальных разновидностей) вируса. Из-за этого иммунная система человека, который уже один раз болел гриппом, «не узнаёт» антигены таких новых штаммов, что приводит к возникновению эпидемий.

Жизненные циклы вирусов. Вирусы способны существовать в двух формах: покоящейся, или внеклеточной, и размножающейся, или внутриклеточной. Все активные процессы, характерные для вирусов, протекают только в клетках-хозяевах. После проникновения вируса в такую клетку происходит освобождение его нуклеиновой кислоты от

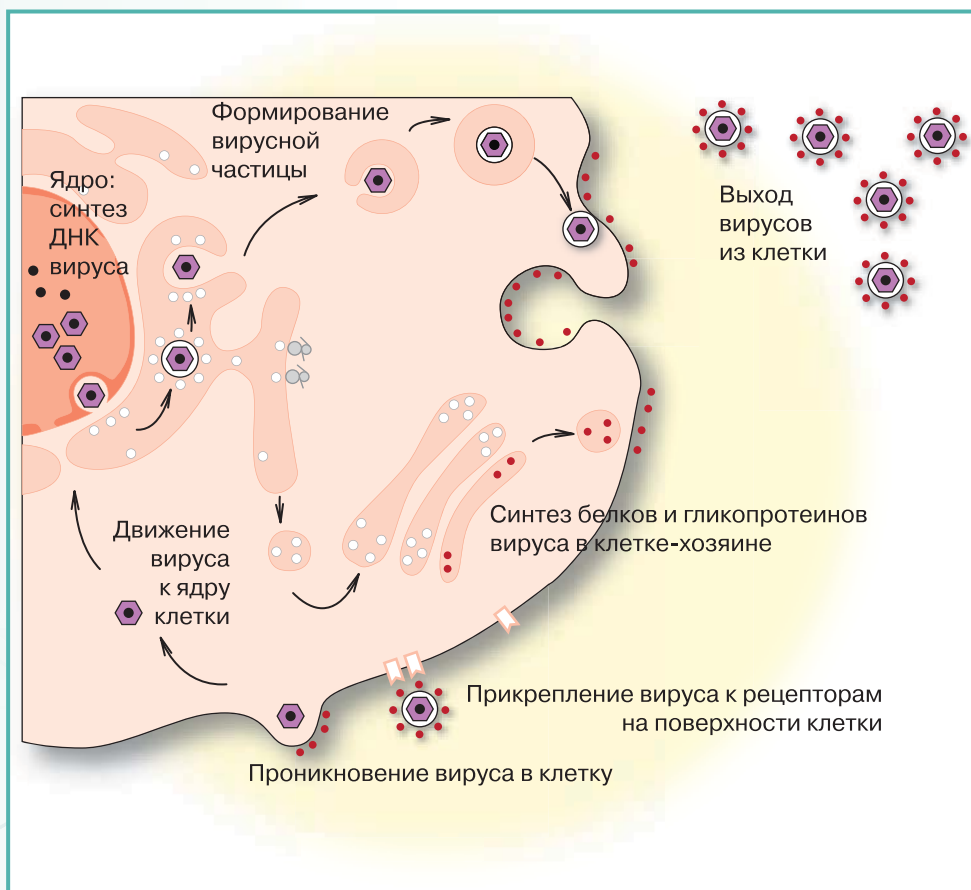


Рис. 48. Схема жизненного цикла вирусов на примере вируса герпеса

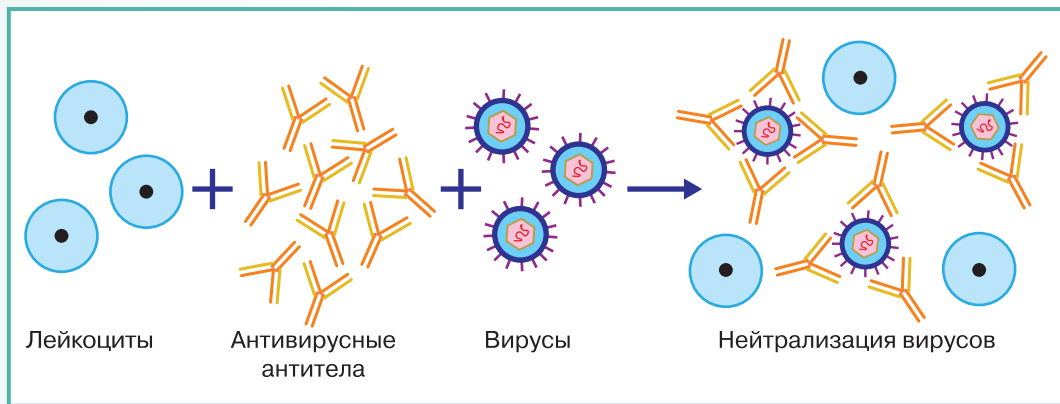


Рис. 49. Схема действия антител

которое долгое время называли «основной догмой молекулярной биологии». Оно гласит: «Переход наследственной информации последовательно от ДНК к РНК и затем от РНК к белку является универсальным для всех без исключения клеточных организмов, лежит в основе биосинтеза макромолекул». Иными словами, возможен лишь синтез РНК на основе ДНК (и соответственно белка на основе РНК) и никогда этот процесс не может идти в обратном направлении, т. е. синтезировать ДНК на основе РНК невозможно. Однако вирусы не особенно обращают внимание на всякие правила, поэтому некоторые из них не стали следовать и этой догме. Этих нарушителей называют *ретровирусами*, и к ним относится такой опасный враг человечества, как ВИЧ (вирус иммунодефицита человека). Они доказали, что возможен не только синтез РНК на основе ДНК, но и обратный процесс — создание ДНК на основе РНК. Хранительницей наследственной информации ретровирусов является молекула РНК. Кроме неё, в капсиде вируса имеется интересный белок — ревертаза (или обратная транскриптаза) — фермент, позволяющий синтезировать ДНК

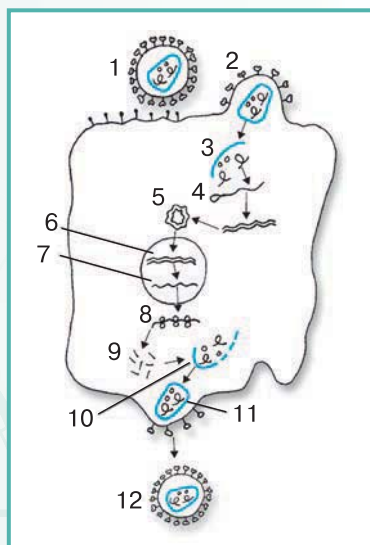


Рис. 50. Схема жизненного цикла ретровируса: 1 — вирус связывается с клеткой, 2 — вирус сливается с клеткой, 3 — белковая капсула распадается, освобождая молекулы РНК и обратной транскриптазы, 4 — обратная транскриптаза синтезирует ДНК на основе РНК, 5 — вирусная ДНК замыкается в кольцо, 6 — вирусная ДНК встраивается в хромосому, 7 — синтез на вирусной ДНК вирусной РНК, 8 — вирусная РНК выходит в цитоплазму, начинается синтез вирусных белков, 9 — присоединение к вирусным белкам полисахаридов, 10 — сборка вируса, 11 — вирус замыкается в мембранный пузырёк и отшнуровывается от клетки, 12 — новый вирус



на основе РНК. Обе эти молекулы должны попасть в клетку вместе, иначе вирус не сможет размножаться (рис. 50).

Когда это произойдёт, при помощи ревертазы осуществится синтез ДНК на основе РНК, после чего новоявленная молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты встроится в геном хозяина (и дальше цикл ретровируса протекает как таковой вируса, содержащего ДНК). Интересно, что когда вирусные частицы выходят из клетки, то, если клетка не погибает, эта ДНК так и остаётся в её геноме.

Учёные считают, что когда-то из такой «забытой» ДНК ретровирусов образовались ретротранспозоны — подвижные участки генома, которые не сидят в конкретном месте хромосомы, а постоянно путешествуют по ней. Механизм их перемещения основан на той же самой реакции обратной транскрипции — синтеза нити ДНК на РНК, что наблюдается и у ретровирусов. То есть такой мобильный элемент вовсе не вырезает себя при помощи фермента из генома и не вшивается в другой его участок (как это делает ДНК-транспозон). Он поступает хитрее — сначала на основе его последовательности синтезируется РНК, перемещающаяся к случайному месту разрыва ДНК (такие разрывы происходят в клетке постоянно), который ещё не успели починить специальные ферменты. Сюда же устремляются и необходимые для интеграции ретротранспозона белки, которые были синтезированы, — ревертаза и интеграза (оба они очень похожи на свои аналоги, имеющиеся у ретровирусов).

Когда вся «компания» оказывается в сборе, ревертаза создаёт одну нить ДНК на основе иРНК ретротранспозона, затем удаляет рибонуклеиновую матрицу и достраивает вторую нить ДНК (используя принцип комплементарности). Далее интеграза вшивает получившуюся двуцепочечную копию ретротранспозона в место разрыва. Так этот мобильный генетический элемент «переезжает» на новое место.

Ретротранспозоны являются весьма распространёнными элементами геномов живых существ.

Особенно много таких элементов у растений — у кукурузы, например, ретротранспозоны составляют до 78 % от генома. Велика их доля и в геноме млекопитающих — до 48 %. Функции многих ретротранспозонов до сих пор неизвестны, однако установлено, что некоторые из них играют большую роль в развитии организма. Так, необходимый для развития плаценты белок синтицин кодируется ретротранспозоном, предком которого, судя по всему, является ретровирус из семейства ERV.

ВИРУСЫ ● ВАКЦИНА

ПОДУМАЙТЕ

На основании чего вирусы относят к живым организмам



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Почему вирусы можно считать внутриклеточными паразитами?
2. Почему вирусы считают неклеточной формой жизни?
3. Каковы особенности строения вирусов? Расскажите об этом на конкретных примерах.
4. Каковы основные пути заражения вирусами? Приведите примеры.
5. Каковы основные меры профилактики вирусных заболеваний?

Совершенствуемся

1. Какие особенности отличают вирусы от других живых организмов? Представьте ответ на вопрос в форме таблицы.
2. Используя дополнительные источники информации, подготовьте короткое сообщение в виде презентации о сходстве СПИДа и вирусного гепатита В.
3. Какие распространённые заболевания, вызываемые вирусами, вы знаете? Предложите правила профилактики вирусных заболеваний.
4. Выполните задание в тетради.
 - 1) *Вирусы размножаются:*
 - а) самостоятельно вне клетки хозяина;
 - б) только в клетке хозяина;
 - в) только в воде;
 - г) в присутствии солнечного света.
 - 2) *Капсид — это:*
 - а) цитоплазма вируса;
 - б) ДНК вируса;
 - в) оболочка вируса;
 - г) ферменты вируса.
 - 3) *Вирусы относят к доклеточным организмам, потому что они:*
 - а) не содержат ядра;
 - б) не способны к самостоятельному обмену веществ;
 - в) являются паразитами;
 - г) не способны размножаться.



Обсуждаем

Используя доступные информационные источники, изучите и обсудите с учителем и одноклассниками проблему происхождения вирусов.

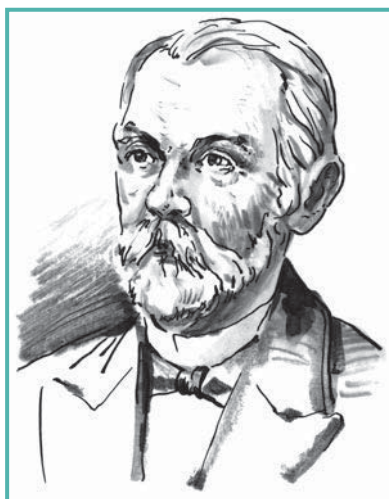
Это интересно

История открытия вирусов. Впервые вирусы были обнаружены русским учёным *Дмитрием Иосифовичем Ивановским* (1864—1920) в 1892 г., который и предложил название для этих паразитов (от лат. *virus* — яд). Поскольку их размеры крайне малы (от 20 до 3000 нм), они не видны в световой микроскоп; их смогли увидеть только после появления электронного микроскопа. Из-за малых размеров вирусы способны проникать через фильтры с мелкими порами, задерживающие клетки бактерий, за что они получили название «фильтрующиеся вирусы».

Именно благодаря этой особенности данные носители инфекции были обнаружены Д. И. Ивановским. Он показал, что бесклеточный фильтрат листьев растений, поражённых табачной мозаикой (заболевание, вызывающее появление светлых пятен на листьях табака), может заражать здоровые растения. В природе встречаются как вирусы растений, так и вирусы животных и бактерий (бактериофаги).

Птичий грипп. Вирусы очень коварны. В 2013 г. один из ранее абсолютно безопасных для человека вирусов неожиданно «взбесился» и вызвал вспышку опаснейшей формы гриппа. До этого вирус находили только у птиц. Но в этом случае в Китае заболело около 200 человек, причём 44 из них умерли. Своевременно принятые медиками меры не дали страшной вирусной инфекции широко распространиться, так что через полгода вспышка гриппа прекратилась.

Борьба со СПИДом. Нет сомнений в том, что биологи и врачи, создающие лекарства против СПИДа, в самом скором времени найдут желаемое средство. Причём разработки идут по различным направлениям: учёные пытаются найти у вируса иммунодефицита человека (ВИЧ) слабое место. Известно, что вирусная РНК ВИЧ защищена белковым капсидом. Учёные нашли блокатор фермента протеиназы — той самой, что «вырезает» из белка-предшественника составные участки этого капсида. Из-за действия этого блокатора протеиназа не может нормально



Дмитрий Иосифович
Ивановский



работать и оболочка у ВИЧ получается дефектной. В результате такой вирус не может заразить клетки иммунной системы человека.

Но иногда вирус СПИДа может помочь людям в борьбе с тяжёлыми болезнями. Недавно учёные, используя этот вирус, смогли разработать экспериментальный способ лечения одной из форм рака крови детей — В-лимфобластного лейкоза, при котором В-лимфоциты неконтролируемо размножаются. Исследователи заменили генетическую начинку ВИЧ таким образом, что он по-прежнему взаимодействовал с В-лимфоцитами, но одновременно делал эти клетки узнаваемыми для собственного иммунитета ребёнка. В результате этого избыточные В-лимфоциты быстро уничтожались другими иммунными клетками.

Бактериофаги. Одним из первых, кто открыл вирусы — убийцы бактерий, был канадский микробиолог *Феликс д'Эрель* (1873—1949). В 1917 г. он нашёл в кале больных дизентерией неких существ, которые убивали возбудителей этой опасной болезни. Он и назвал эти существа бактериофагами. Ф. д'Эрель в 30-е гг. XX в. работал в Грузии и разработал методы лечения бактериальных болезней с помощью открытых им вирусов.

В настоящее время в России бактериофаги используют главным образом при лечении таких инфекций, при которых есть возможность подействовать вирусом-убийцей непосредственно на бактерии-возбудители, т. е. при заболеваниях кожи, ротовой полости, кишечника, ушей, глаз, мочеполовой системы. Впрочем, пока что ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) относится к препаратам, содержащим бактериофаги, весьма настороженно и рекомендует применять их только в тех случаях, когда другие способы борьбы с инфекцией оказываются неэффективными. Причина такой осторожности кроется в том, что до сих пор неизвестны последствия применения такого препарата как для возбудителя инфекции, так и для организма больного.

Загадочный белок-убийца — ещё одна доклеточная форма жизни? До сих пор среди учёных нет единого мнения о том, откуда взялись вирусы. Многие биологи считают, что их предками были паразитические бактерии, которые в процессе адаптации к внутриклеточному паразитизму настолько деградировали, что утратили даже клеточную организацию. Другие учёные возражают им: геномы вирусов и остальных организмов настолько разные, поэтому сложно представить, что у них имеется общий предок. Не исключено, считают они, что вирусы произошли независимо от остальных организмов — они являются потомками каких-то древних живых существ, которые не дожили до нашего времени (и не сохранились в палеонтологической летописи из-за отсутствия твёрдого скелета).

Но каково же было изумление учёных, когда они узнали, что вирусы являются не единственной неклеточной формой жизни! Произошло это в 1957 г., когда биолог *Даниел Гайдушек* и его коллега *Винсент Зигас* выяснили, что вызывает тяжёлое заболевание нервной системы, распространённое среди папуасов Новой Гвинеи, — болезнь куру. Оказалось, что в её возникновении виновен не вирус (как это считали раньше), а небольшой белок, способный к самовоспроизведению без участия ДНК и РНК! Учёные назвали этот пептид *прионом* (от англ. *protein* — белок и *infection* — инфекция).



Как же размножается этот опасный пептид? Дело в том, что в организме есть его аналог — белок, кодирующийся в геноме человека, который встроен в мембрану нервных клеток (он отвечает за передачу некоторых клеточных сигналов). Он отличается от приона только деталями третичной структуры (одна из пептидных цепей у него повернута вправо относительно основной цепочки, тогда как у приона — влево).

Именно этот белок-рецептор и становится жертвой нападения таящегося в межклеточном пространстве приона, который при помощи электростатического взаимодействия изменяет его третичную структуру, превращая тем самым полезный рецептор в собственную копию. Такой «испорченный» белок не может удержаться в мембране — он выпадает из неё и идёт «ломать» другие подобные белки. Клетка же, оставшись без важных сигнальных молекул, постепенно деградирует и умирает.

Дальнейшие исследования показали, что прионная форма белка чрезвычайно стабильна и поэтому прионы устойчивы к денатурации под действием химических и физических агентов, т. е. уничтожить эти частицы или сдержать их рост чрезвычайно тяжело.

В результате они накапливаются в поражённой ткани, вызывая её повреждение и в конечном счёте отмирание.

Но как прион может передаваться от человека к человеку? Описанная Зигасом и Гайдушеком болезнь куру распространялась через ритуальный каннибализм, а именно через поедание мозга больного. Поэтому с окончательным искоренением каннибализма в Новой Гвинее она полностью исчезла. Некоторые прионные болезни, например коровье бешенство, могут распространяться при поедании не до конца прожаренного мяса больных домашних животных или при скормливание скоту мясо-костной муки, изготовленной из останков инфицированных коров.

Происхождение прионов ещё более загадочно, чем происхождение вирусов. Одни учёные считают, что эти белки возникли в результате деградации вирусов, другие предполагают, что прионы имеют независимое происхождение и появились в результате достаточно редкой мутации (случайного изменения) гена вышеупомянутого белка-рецептора. В любом случае существование прионов показывает, что иногда белки могут размножаться без помощи нуклеиновых кислот.

Интересно, что в конце XX в. прионы были обнаружены у некоторых грибов. Однако, в отличие от аналогичных белков, встречающихся у животных, грибные прионы не вызывают гибели клеток организма своих хозяев. А в 2016 г. у растения резуховидки Таля (*Arabidopsis thaliana*) были найдены белки, обладающие прионными свойствами (т. е. они тоже могут менять конформацию родственных пептидов, превращая их в свои копии). Однако и эти прионы не вызывают никаких заболеваний в организме арабидопсиса.

Почему же грибные и растительные прионы безопасны для своих хозяев, а те, которые обитают в организмах животных, опасны? Учёные до сих пор не могут дать ответа на этот очень интересный вопрос. Тем не менее изучение механизмов размножения прионов грибов оказалось важным для понимания аналогичных процессов у млекопитающих.



КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ГЛАВЫ 1

В составе живых организмов можно обнаружить почти все химические элементы, которые содержатся в окружающей их среде. Этот научный факт, несомненно, указывает на единство происхождения объектов живой и неживой природы. При этом между ними имеются существенные различия.

Почти все молекулы, встречающиеся в клетке, за небольшим исключением относятся к соединениям углерода, которые называют органическими веществами. Кроме того, в клетках в значительных количествах представлены и неорганические вещества: вода и некоторые соли. Около 70 % массы клеток большинства живых организмов приходится на воду. Остальное — это главным образом органические вещества: белки (10—20 %), жиры (1,0—5,0 %), углеводы (0,2—2,0 %), нуклеиновые кислоты (1,0—2,0 %) и различные низкомолекулярные органические вещества (0,1—0,5 %).

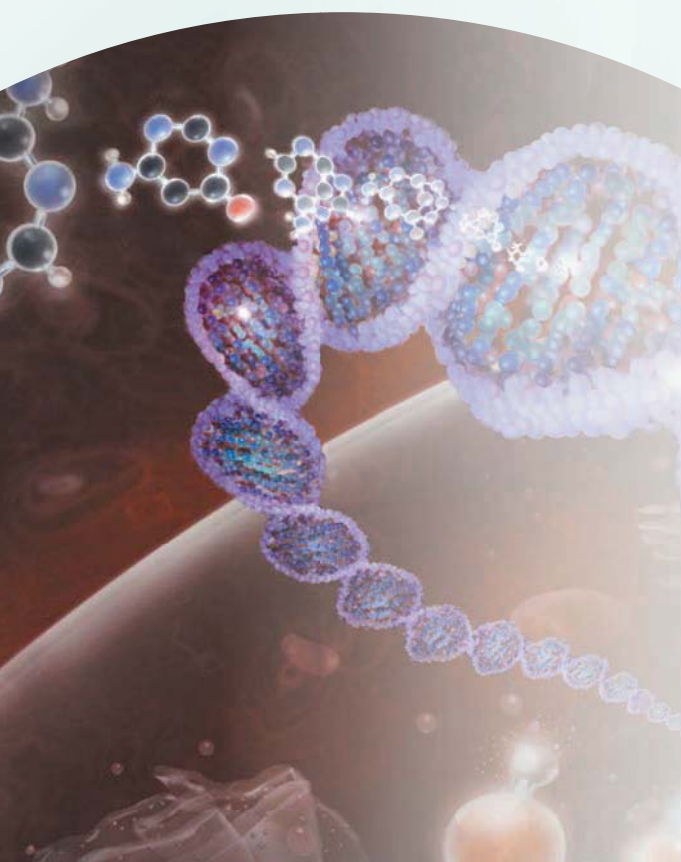
Встречающиеся в живых организмах органические вещества крайне разнообразны по своей структуре и выполняемым ими функциям.

Белки являются основными структурными элементами клеток, а также обеспечивают регуляцию протекающих в них процессов.

Нуклеиновые кислоты участвуют в передаче наследственной информации от клетки к клетке, от организма к организму, а также в её реализации. Углеводы и липиды служат важнейшими источниками необходимой для жизнедеятельности организмов энергии, а также строительным материалом клетки.

Кроме того, в любой клетке всегда есть много других веществ, которые являются промежуточными или конечными продуктами обмена веществ. Например, нуклеотид АТФ является универсальным источником энергии для всех протекающих в клетке процессов обмена веществ.

Вирусы часто рассматриваются в качестве переходной формы между живой и неживой материей. Они не имеют клеточного строения и представляют собой многочисленную группу внутриклеточных паразитов.





ГЛАВА 2

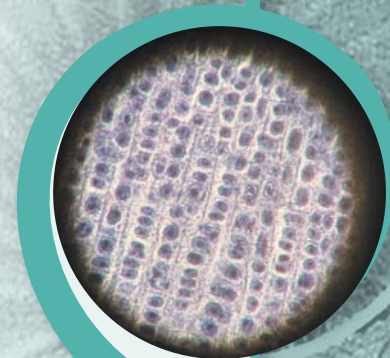
КЛЕТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ



И. Мечников

Преемственность между молекулярным и клеточным уровнями организации биологических систем обеспечивает то, что биологические молекулы являются строительным материалом для всех надмолекулярных структур клетки. Именно благодаря деятельности клеток в многоклеточных организмах осуществляется обмен веществ, происходит их рост, размножение, а также осуществляются другие процессы жизнедеятельности.

На клеточном уровне организации могут быть изучены вопросы морфологической (структурной) и функциональной организации различных клеток, их специализации в ходе развития, механизмов деления клетки. Все они имеют первостепенное значение для различных направлений биологической науки, в том числе и прикладное — особенно для медицины и биотехнологических производств.



ВЫ УЗНАЕТЕ:

- о клетке как структурной и функциональной единице живого;
- об основных этапах развития цитологии — науки о клетке;
- о методах изучения клетки;
- об основоположниках клеточной теории, а также о её основных положениях в свете современных знаний о строении и процессах жизнедеятельности клеток прокариотов и эукариотов.

ВЫ НАУЧИТЕСЬ:

- пользоваться биологической терминологией и символикой в процессе характеристики клеточного уровня организации живого;
- владеть основными методами научного познания, используемыми для изучения клетки как биологической системы, и объяснять результаты биологических экспериментов по их изучению;
- решать элементарные биологические задачи, связанные с определением последовательности нуклеиновых кислот и установлением соответствий между ней и последовательностью аминокислот в пептиде.





§ 15

Клеточный уровень: общая характеристика. Клеточная теория

Вспомните:

1. Что такое научная картина мира? Что влияет на её изменение?
2. Какие одноклеточные организмы среди представителей различных групп (царств) живых существ вы можете вспомнить?
3. Какие клетки в организме человека имеют длинные отростки и для чего они нужны?

Общие сведения о клетке. Хотя современная клеточная теория говорит о единстве принципа строения и развития мира растений, животных и остальных живых организмов, имеющих клеточное строение, а сама

клетка рассматривается в качестве единого структурного элемента живых организмов, нельзя забывать о том, что в природе существует огромное разнообразие клеток. Ведь на Земле живут бок о бок миллионы одноклеточных и многоклеточных существ, и их клетки очень сильно отличаются друг от друга (рис. 51).

Исследователи подсчитали, что организм человека, например, состоит более чем из 200 млрд различных клеток. То же самое можно сказать и про организмы других многоклеточных: растений, животных, грибов. А уж если говорить об одноклеточных существах, то разнообразие их клеток гораздо больше, чем клеток многоклеточных

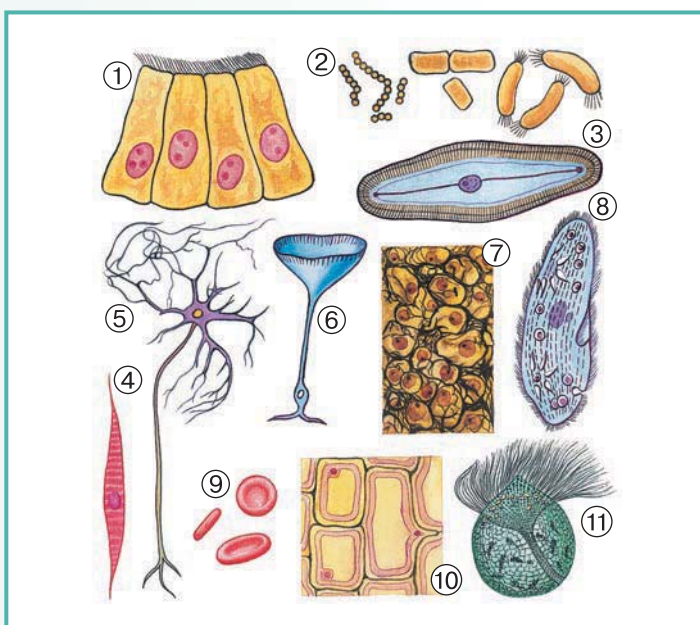


Рис. 51. Многообразие клеток: 1 — клетка эпителия кишечника, 2 — клетки разных бактерий, 3 — одноклеточная диатомовая водоросль, 4 — миоцит, 5 — нейрон, 6 — одноклеточная водоросль ацетабулярия, 7 — клетки печени, 8 — инфузория, 9 — эритроциты, 10 — клетки эпидермиса лука, 11 — жгутиконосец



организмов, и каждая отличается поистине индивидуальными особенностями строения и жизнедеятельности.

Но всё же между любыми клетками наблюдается гораздо больше общего, чем различий. Прежде всего это определяется тем, что все они без исключения существуют в сходных земных условиях (гравитация, определённая атмосфера, универсальный растворитель — вода и т. п.) и поэтому имеют схожие адаптации к этим условиям. Кроме того, клетки — это живые биологические системы, а значит, они обладают всеми свойствами живого. И для того чтобы обеспечить нормальную собственную жизнедеятельность, клетки должны иметь набор соответствующих структур.

Изучением строения клетки и принципов её функционирования занимается наука **цитология**, а учёных, специализирующихся на данном направлении биологической науки, называют *цитологами*. Именно они вносят значительный вклад в расширение научной картины мира, связанной с познанием клеточного уровня организации живого.

Методы изучения клетки. Для изучения особенностей строения и жизнедеятельности клеток в цитологии применяют самые разнообразные методы. Во-первых, это методы **микроскопии**: световой и электронной. Как вам известно, первые микроскопы были изобретены в начале XVII в. — они увеличивали объекты исследования всего в 20—35 раз (рис. 52).

Современные световые микроскопы способны увеличить изучаемый объект в 2000—2500 раз. Эти приборы применяют в цитологии очень широко, но они не позволяют изучать объекты размером менее длины световой волны (400—800 нм). Дело в том, что световая волна не может быть отражена очень

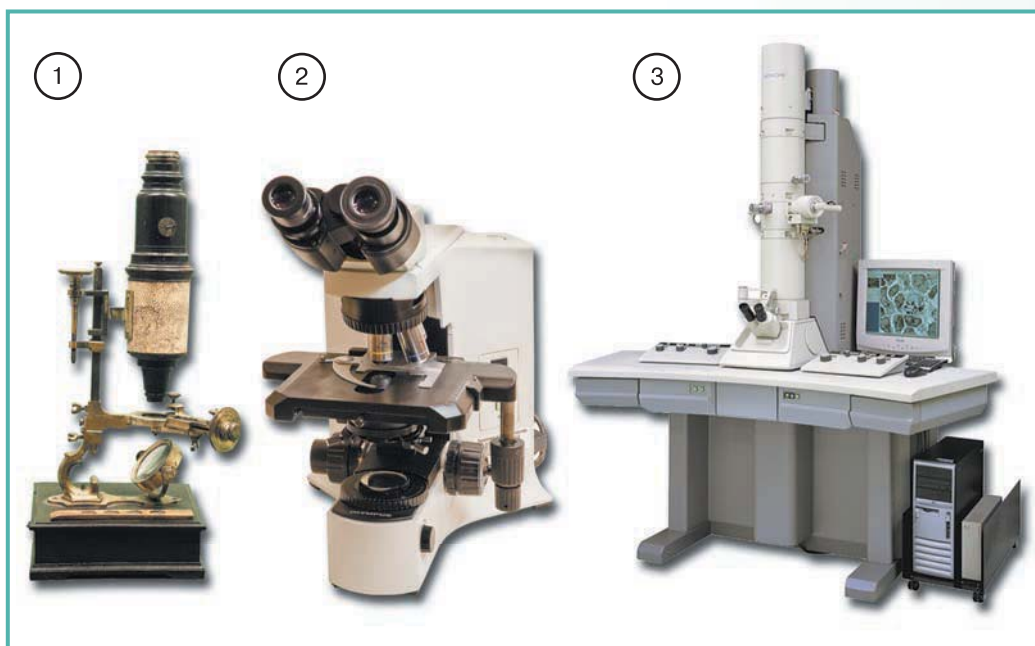


Рис. 52. Микроскопы: 1 — микроскоп XVII в., 2 — современный оптический микроскоп, 3 — электронный просвечивающий микроскоп

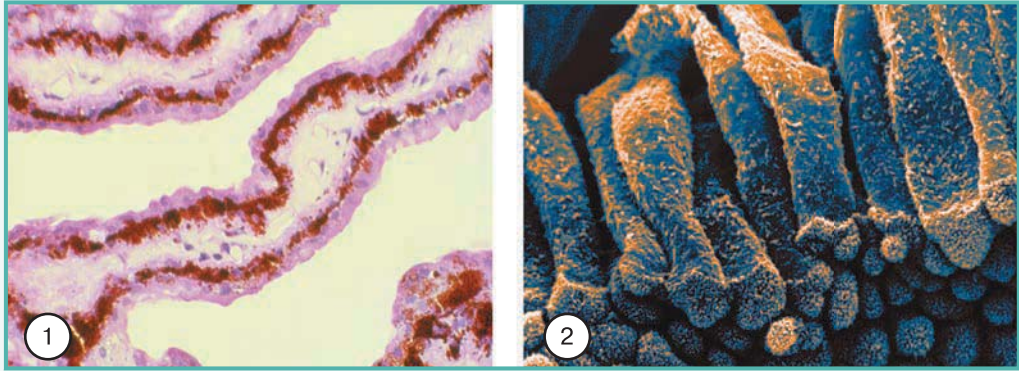


Рис. 53. Микрофотографии клеток ресничного эпителия, сделанные с помощью различных методов микроскопии: 1 — с помощью оптического микроскопа, 2 — с помощью электронного микроскопа

маленьким предметом из-за того, что она просто огибает его. Поэтому у физиков возникла идея использовать вместо луча света пучок электронов, которые способны отражаться от мельчайших объектов размером чуть более 1 нм. Так, изобретённый в 30-х гг. XX в. *электронный микроскоп* сделал доступным увеличение изучаемого объекта до 1 500 000 раз (рис. 52).

Микроскопическая техника непрерывно совершенствуется и даёт возможность исследовать мир клеток со всё возрастающей точностью, позволяя создавать объёмные изображения с высокой контрастностью и различной окраской (рис. 53).

Для выделения и изучения различных структур клетки цитологи используют **центрифугирование**. Суть этого метода вот в чём: разрушенные клетки помещают в пробирки и вращают с очень большой скоростью в специальных приборах — *центрифугах*. Так как разные составные части клеток имеют различные массу, размеры и плотность, то они под действием центробежной силы оседают на дно пробирки с разными скоростями. Разделяя полученные фракции, учёные получают возможность детально изучить именно те клеточные структуры, которые их интересуют (рис. 54).



Рис. 54. Центрифуга и центрифугирование



Кроме микроскопии и центрифугирования, исследователи применяют и другие методы изучения клеток. В том числе и те, которые основаны на способности клеток светиться при определённых условиях проведения исследования, усваивать радиоактивные изотопы и т. п. Особенно важны эти методы для изучения функционирования клеток в живом состоянии.

Клеточная теория. Постепенно накапливающиеся сведения о строении клеток различных живых существ позволили учёным сформулировать *клеточную теорию*. Это произошло в 30-х гг. XIX в. Разумеется, создатели теории, среди которых особенно следует отметить замечательных немецких учёных *Маттиаса Шлейдена* и *Теодора Шванна*, опирались на данные и других исследователей, работавших в области изучения клетки.

Основными положениями первой версии клеточной теории были следующие:

- все живые существа состоят из клеток;
- все клетки имеют сходное строение, химический состав и общие принципы жизнедеятельности;
- каждая клетка самостоятельна; деятельность организма является суммой процессов жизнедеятельности составляющих его клеток.



После этого клеточная теория многократно уточнялась и дополнялась. В частности, её основоположники ошибочно считали возможным воссоздание клеток из неклеточного вещества. Поэтому дополнение, которое внёс в клеточную теорию в 1858 г. немецкий медик и анатом *Рудольф Вирхов*, является очень важным: «каждая клетка — из клетки», т. е. новые клетки возникают только при делении предыдущих клеток. Кроме того, практически ничего не было известно о вирусах, которые сейчас считают неклеточными формами жизни (см. § 14).

Современные положения клеточной теории следующие:

- клетка является универсальной структурной и функциональной единицей живого, имеющего клеточную структуру;
- все клетки имеют сходное строение, химический состав и общие принципы жизнедеятельности;
- клетки образуются только при делении предшествующих им клеток;
- клетки способны к самостоятельной жизнедеятельности, но в многоклеточных организмах их работа скоординирована, и организм представляет собой целостную систему.



ЦИТОЛОГИЯ ● МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛЕТКИ ● МИКРОСКОПИЯ ● ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ ● КЛЕТОЧНАЯ ТЕОРИЯ



ПОДУМАЙТЕ

Могут ли существовать в природе настолько маленькие клетки, что их невозможно различить в современные микроскопы?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Можно ли в оптический микроскоп увидеть вирус? Почему?
2. Можно ли в электронный микроскоп увидеть бактерию?
3. От чего зависят размеры и особенности строения клетки? Чьи клетки крупнее: кашалота или дельфина?
4. Какие методы изучения клетки вы знаете?
5. Что такое клеточная теория и каковы её современные положения?

Совершенствуемся

1. Докажите, что клетка является системой.
2. Используя доступные источники информации и статью учебника «Основные этапы развития цитологии», подготовьте презентацию о развитии представлений о клеточном строении живых организмов.
3. От чего зависит выбор методов в процессе проведения исследования?
4. Прочитайте статью «Основные этапы развития цитологии». Подготовьте презентацию с использованием указанных в ней сведений.

Обсуждаем

1. Обсудите с одноклассниками, почему с момента первого описания клеток до создания клеточной теории прошло так много лет.
2. Обсудите такое утверждение: все клетки одного организма генетически идентичны. Аргументируйте свою позицию.

Это интересно

В 1930-х гг. советский биолог *Ольга Борисовна Лепешинская*, основываясь на данных своих исследований, выдвинула «новую клеточную теорию», согласно которой клетки можно воссоздать из неклеточного вещества. В своих исследованиях она якобы получала жизнеспособные размножающиеся клетки из



растёртых и тем самым умерщвлённых клеток. Однако, как показала проверка, дело было в том, что далеко не все клетки разрушались при растирании, а уцелевшие неповреждённые клетки, делясь, образовывали новые.

Основные этапы развития цитологии. О том, что живые организмы в основном состоят из тех же химических элементов, что и неживые объекты, учёные догадывались, очевидно, ещё со времён алхимии. Но то, что живая материя организована особым образом и построена из особых «кирпичиков жизни», выяснилось только в 1665 г., когда один из первых микроскопистов, англичанин *Роберт Гук*, стал разглядывать в свой ещё очень несовершенный микроскоп (рис. 55) кору дуба и увидел, что она имеет вид каких-то ячеек, т. е. клеток. Название «клетка» по сути своей случайное, но оно прижилось и стало одним из основных понятий биологии. А ведь Роберт Гук мог выбрать для наблюдений совсем иной биологический объект, и тогда клетки получили бы какое-то другое название: шариков, дисков, цепочек или кубиков, так как форма и размеры клеток, входящих даже в один многоклеточный организм, могут очень сильно меняться.

Только через 8 лет голландец *Энтони Ван Левенгук* при помощи гораздо более совершенного оптического микроскопа смог описать разные клетки самых различных живых организмов: эритроциты человека, клетки бактерий и листьев растений. Но и на этом совершенствование микроскопической техники не закончилось.

В 1781 г. *Феличе Фонтана* зарисовал клетки животных и их ядра, а в 1825 г. *Ян Пуркин* описал клеточное ядро и ввёл термин «протоплазма» (от греч. *protos* — первый и *plasma* — оформленное).

В 1838 г. вышла книга немецкого ботаника М. Шлейдена «Материалы к филогенезу», в которой он высказал идею о том, что клетка является основной структурной единицей растений, и ставил вопрос о возникновении новых клеток в организме. Основываясь на работах М. Шлейдена, немецкий физиолог Т. Шванн всего через год опубликовал книгу «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений», в которой и была изложена первая версия клеточной теории. Очень важным дополнением к ней стал принцип Рудольфа Вирхова: «Каждая клетка — из клетки» (1858). Позже, в 1875 г., *Оскар Гертвиг* и *Эдуард Страсбургер* независимо друг от друга пришли к выводу о том, что информация о наследственных признаках клетки заключена в ядре, и описали его деление, а в 1882 г. *Вальтер Флеминг* ввёл термин «митоз» (термин «мейоз» предложил несколько раньше первооткрыватель митоза



Рис. 55. Микроскоп Роберта Гука



Э. Страсбургер). Наконец, в 1892 г. *Илья Ильич Мечников* открыл явление фагоцитоза. Так благодаря работам многих исследователей была создана современная клеточная теория, основой которой является клеточная теория Шлейдена—Шванна—Вирхова.

Современная её версия исходит из того, что клеточная структура является главной формой существования жизни, присущей всем живым организмам, кроме вирусов. Совершенствование клеточной структуры явилось главным направлением эволюционного развития живой природы.

Проводим исследование

Внимательно прочитайте правила работы с микроскопом.

Правила работы с микроскопом

1. Работать с микроскопом следует сидя.
2. Перед началом работы осмотрите микроскоп, протрите от пыли мягкой салфеткой объективы, окуляр, конденсор и зеркало.
3. Установите микроскоп перед собой, немного слева, на расстоянии 2—3 см от края стола. Во время работы его не следует сдвигать.
4. Откройте полностью диафрагму, поднимите конденсор в крайнее верхнее положение.
5. Работу с микроскопом всегда следует начинать с малого увеличения. Опустите объектив с самым маленьким увеличением в рабочее положение, т. е. на расстояние примерно 1 см от предметного стекла.
6. Пользуясь зеркалом с вогнутой стороной, направьте свет от окна (или от имеющегося в комплекте осветителя) в объектив, а затем максимально и равномерно осветите поле зрения. При этом следует смотреть одним глазом в окуляр микроскопа.
7. Положите микропрепарат на предметный столик так, чтобы изучаемый объект находился под объективом. Глядя сбоку, опускайте объектив при помощи макровинта до тех пор, пока расстояние между нижней линзой объектива и микропрепаратом не станет 4—5 мм.
8. Смотря одним глазом в окуляр, вращайте винт грубой наводки в направлении на себя, плавно поднимая объектив до положения, при котором хорошо будет видно изображение объекта. Нельзя смотреть в окуляр и опускать объектив, поскольку в этом случае фронтальная линза может раздавить покровное стекло, и на ней появятся царапины.
9. Передвигая препарат рукой или при помощи винтов,двигающих предметный столик, расположите его в центре поля зрения окуляра.



10. Если изображение не появилось, то надо повторить все операции пунктов 5, 6, 7, 8.
11. Для изучения объекта при большом увеличении сначала нужно поставить выбранный участок в центр поля зрения микроскопа при малом увеличении. Затем поменяйте объектив на тот, который отмечен значком 40х, поворачивая револьвер (рис. 56) так, чтобы он занял рабочее положение. При помощи микровинта добейтесь хорошего изображения объекта.
12. По окончании работы с большим увеличением установите вновь малое, поднимите объектив, снимите с рабочего столика препарат, протрите чистой салфеткой все части микроскопа, накройте его полиэтиленовым пакетом и поставьте в шкаф.

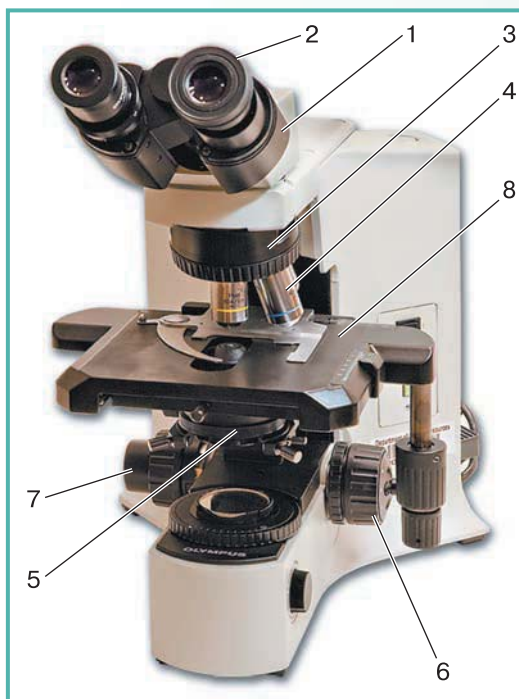


Рис. 56. Схема устройства микроскопа: 1 — тубус, 2 — окуляр, 3 — револьвер, 4 — объектив, 5 — конденсор с диафрагмой, 6 — макровинт, 7 — микровинт, 8 — предметный столик

Выполните лабораторную работу «Сравнение строения клеток растений, животных, грибов и бактерий под микроскопом на готовых микропрепаратах и их описание» на с. 203.



§ 16

Строение клетки. Клеточная мембрана. Цитоплазма

Вспомните:

1. Какими свойствами обладают молекулы липидов?
2. Как называются основные структурные части клетки?
3. Существуют ли клетки, у которых наружная мембрана отсутствует?

Сходство принципов построения клетки. Как уже было отмечено, несмотря на значительное разнообразие, клетки имеют гораздо больше общего, чем это может показаться на первый взгляд. Практически все они имеют единый план строения, включающий внешнюю оболочку, основу которой составляет *плазматическая мембрана*, и внутреннее содержимое — *цитоплазму* и *генетический аппарат*, отвечающий за хранение, передачу и реализацию наследственной информации.

Так что же «необходимо и достаточно» иметь клетке, чтобы нормально функционировать и воспроизводить себе подобных? Это плазматическая мембрана, которая, во-первых, создаёт барьер, отделяющий внутреннее содержимое клетки от окружающей среды (эту функцию обеспечивает фосфолипидный бислой мембраны, см. § 7), и, во-вторых, обеспечивает обмен веществ и получение

информации из окружающей среды и от других клеток (эту функцию выполняют различные мембранные белки, см. § 10). Генетическая информация в клетках хранится в виде ДНК, которая у прокариотов представлена в виде одной кольцевой молекулы, находящейся прямо в цитоплазме, а у эукариотов — в виде хромосом — комплексов ДНК и белков, расположенных в ядре клетки. Считывание и реализацию этой информации обеспечивают разные виды РНК и рибосомы, на которых синтезируются белки (см. § 12). Как вы увидите далее, именно так устроены клетки прокариотов — архей и

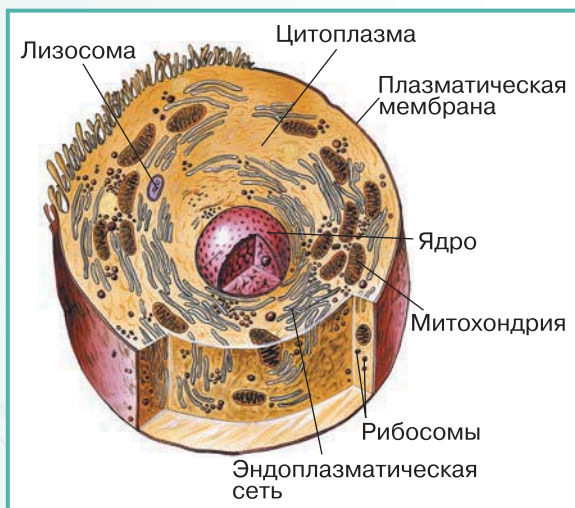


Рис. 57. Общий план строения животной клетки



бактерий. В клетках эукариотов, более сложных по своему строению, присутствуют и другие органоиды, многие из которых отделены от цитоплазмы мембранами. Познакомимся более подробно со строением и функциями этих клеточных структур (рис. 57).

Клеточная мембрана. Учёные, занимающиеся проблемой возникновения жизни на Земле, считают, что одним из главных событий, которые привели к её возникновению, стало появление такой структуры, как **клеточная**, или **плазматическая мембрана**. Она играет роль своеобразной оболочки, позволяющей клеткам обособиться от окружающей среды и существовать отдельно друг от друга.

Как вам уже известно, основу любой биологической мембраны образует двойной слой молекул фосфолипидов, расположенных таким образом, чтобы их нерастворимые в воде (гидрофобные) части были обращены друг к другу и формировали внутренний слой мембраны (см. § 7). В противном случае клетки просто растворялись бы при любом контакте с водой. Толщина двойного фосфолипидного слоя (*бислоя*) всего 6—10 нм (рис. 58).

В двойной слой липидов встроено множество молекул белков, которые могут в нём перемещаться. Они выполняют целый ряд важных функций:

1. Служат насосами, переносчиками и каналами, обеспечивающими транспорт через мембрану низкомолекулярных веществ (мембранный фермент Na^+/K^+ -АТФ-аза может ионы K^+ переносить внутрь клетки, а ионы Na^+ выводить во внешнюю среду).
2. Участвуют в обменных процессах (белки *цитохромы* в мембране митохондрий).
3. Выполняют функции рецепторов, воспринимающих те или иные воздействия на клетку (*родопсин* — рецептор мембран чувствительных клеток сетчатки глаза).
4. Защищают клетку от некоторых вредных воздействий (*каталаза*, белок мембран особых органоидов — пероксисом, — который разлагает опасную для клетки перекись водорода на безвредные кислород и воду).
5. Обеспечивают контакты с соседними клетками (белки *десмины*, соединяющие мышечные клетки в единую мышцу).

У многих клеток в состав окружающей их оболочки, помимо плазматической мембраны, входят и другие структуры, придающие ей особые физиологические свойства. Например, у растительных клеток поверх мембраны находится состоящая из полисахарида целлюлозы (полимер глюкозы) и других веществ плотная и прочная **клеточная стенка** (рис. 59). Из-за неё зрелые растительные клетки практически не могут изменять свою форму. Именно благодаря таким клеточным стенкам в природе существует многообразие древесных видов растений, а человек получает замечательный строительный материал с уникальными свойствами.

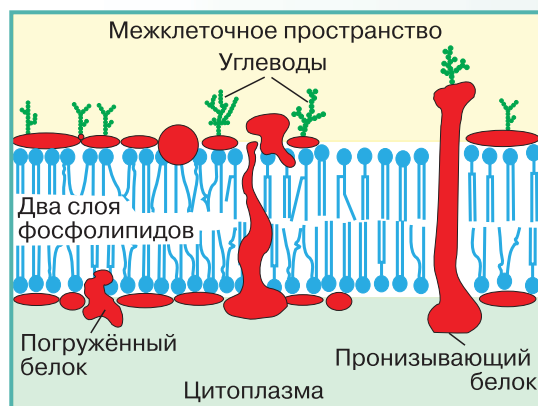


Рис. 58. Строение клеточной мембраны

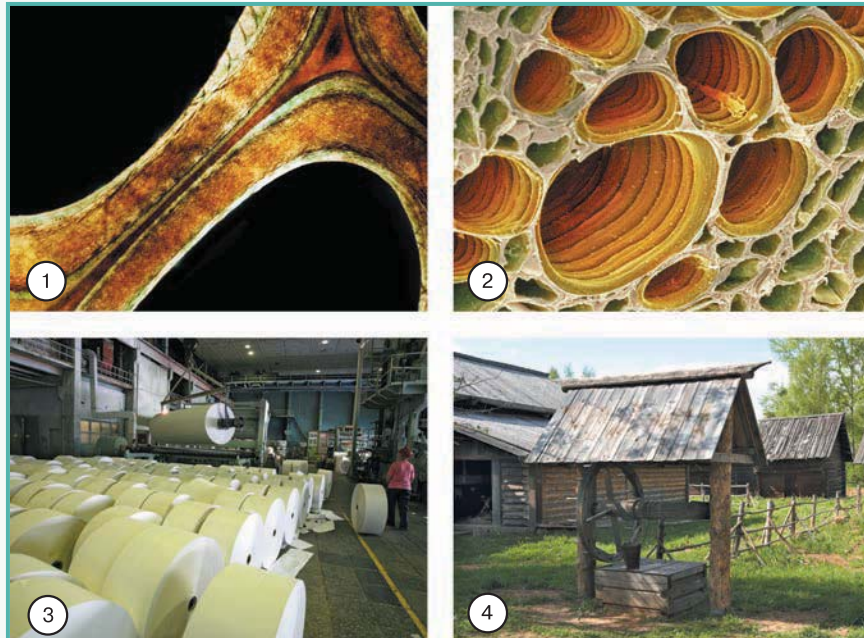


Рис. 59. Клеточная стенка у растений, древесина и изделия из неё: 1 — клеточная стенка, 2 — сосуды древесины, 3 — бумага, 4 — древесный сруб

В клеточной стенке имеются поры, благодаря которым клетки растений могут контактировать друг с другом посредством цитоплазматических «мостиков».

Плотность клеточной стенке грибов придаёт хитин, который, как и целлюлоза, представляет собой полимер производного глюкозы — N-ацетилглюкозамина. У животных клеток клеточная стенка отсутствует, но с наружной стороны плазматической мембраны к молекулам образующих её липидов и белков присоединяются полисахариды, в результате чего образующиеся при этом молекулы *гликолипидов* и *гликопротеинов* формируют особый наружный слой животных клеток — **гликокаликс** (см. § 8). Он играет важную роль в объединении клеток в ткани и выполняет многие другие важные функции (например, в клетках кишечного эпителия именно гликокаликс служит местом локализации ферментов, осуществляющих расщепление питательных веществ).

Функции плазматической мембраны. Оболочка клеток, основу которой составляет плазматическая мембрана, выполняет следующие функции:

1. Определяет и поддерживает форму клетки, ограничивает её внутреннее содержимое.
2. Защищает клетку от механических воздействий и проникновения повреждающих биологических агентов.
3. Регулирует обмен веществ между клеткой и окружающей средой, обеспечивая постоянство внутриклеточного состава.
4. Осуществляет узнавание многих молекулярных сигналов (например, гормонов).
5. Участвует в формировании межклеточных контактов и различного рода специфических структур (ресничек, жгутиков) и др.



В многоклеточных организмах соседние клетки должны взаимодействовать между собой, для чего необходимо обеспечить контакт между ними. Одни контакты нужны для удержания клеток вместе (к таковым относятся, например, плотные контакты клеток эпителия), другие — для поступления в клетку необходимых ей веществ или, наоборот, удаления из неё продуктов обмена (плазмодесмы растительных клеток). Через такие контакты могут проходить только очень маленькие частицы, например анионы или катионы, а относительно крупные частицы попадают в клетку путём **эндоцитоза** (рис. 60): **фагоцитозом** (твёрдые частицы) или **пиноцитозом** (капельки жидкости). В противоположном направлении, т. е. из клетки, вещества удаляются сходным образом. Этот процесс называют **экзоцитозом**.

Ещё одной из важнейших функций наружной клеточной мембраны является **рецепция**, т. е. определение (ощущение) тех или иных внешних воздействий на клетку — например, воздействия различных содержащихся в пище полезных веществ, гормонов или каких-либо вредных агентов (чужеродных белков — антигенов). Распознаванием антигенов, попавших в организм и представляющих для него опасность, занимаются специализированные клетки иммунной системы — лейкоциты.

Цитоплазма. Внутреннее содержимое клетки, за исключением некоторых структур, о которых будет рассказано ниже, называют *цитоплазмой*. Она обеспечивает внутриклеточное перемещение различных веществ и органоидов, образует среду, в которой происходят разнообразные биохимические реакции, вместе с вакуолями растительных клеток определяет внутриклеточное давление (*тургор*).

Цитоплазма представляет собой полужидкую внутреннюю среду клетки, которую называют **гиалоплазмой**, и расположенные в ней *органоиды клетки* и *клеточные включения*.

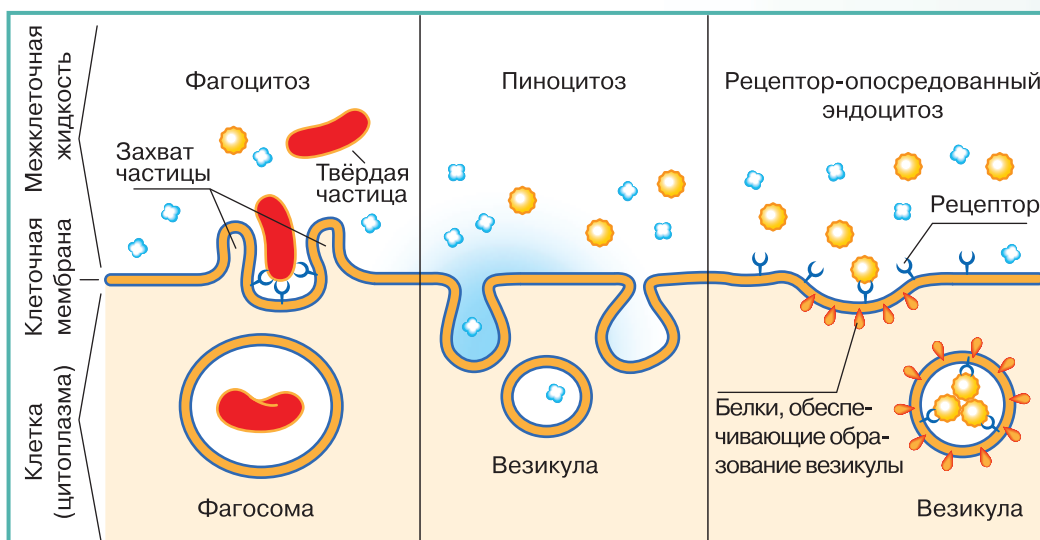


Рис. 60. Виды эндоцитоза

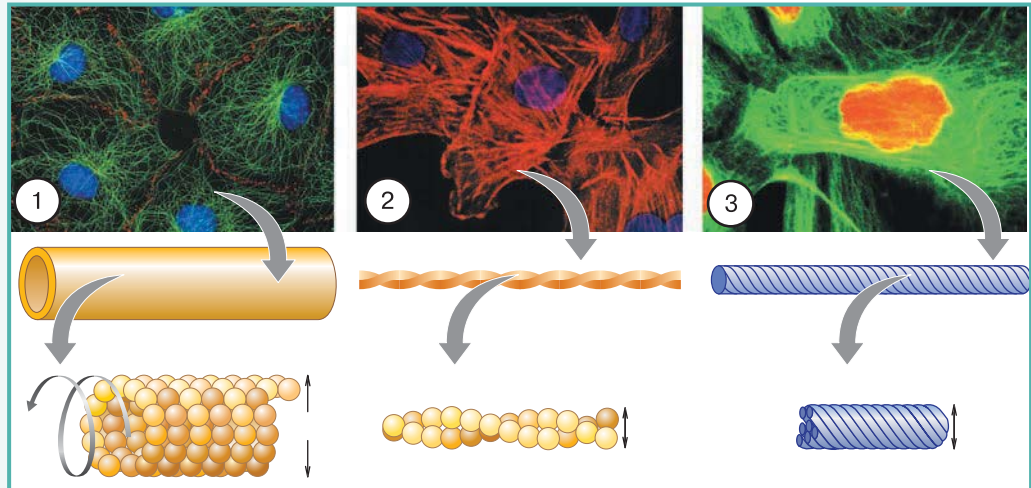


Рис. 61. Элементы цитоскелета: 1 — микротрубочки из тубулина, 2 — актиновые микрофиламенты, 3 — промежуточные филаменты

Гиалоплазма может обратимо менять своё состояние, становясь то более жидкой, то более густой, так как меняется структура молекул белков, образующих в ней так называемый *цитоскелет*.

Цитоскелет — это сложнейшая сеть из тонких белковых нитей и трубочек, пронизывающих всю цитоплазму клеток эукариотов. Все его компоненты очень изменчивы, особенно в периоды деления и роста клеток, и не содержат мембран. Он является опорно-двигательным аппаратом клетки, который определяет её форму, а также порядок расположения в ней органоидов. При участии этой структуры происходят экзоцитоз и эндоцитоз. В состав цитоскелета входят три вида компонентов: *микрофиламенты* — тонкие нити белка актина, *микротрубочки* — более толстые нити, построенные из белка *тубулина*, и, наконец, *промежуточные филаменты*, которые представляют собой наименее изменчивую часть данного образования (рис. 61).

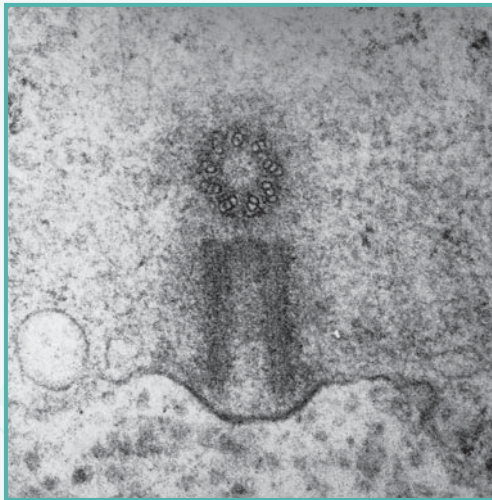


Рис. 62. Центриоли в составе клеточного центра

Клеточный центр — это ещё один из органоидов эукариотической клетки, не имеющих мембранного строения. Обычно он располагается возле ядра. В клетках животных клеточный центр состоит из двух **центриолей** — цилиндров из микротрубочек, расположенных под прямым углом друг к другу. Каждая центриоль образована девятью группами — по три микротрубочки в каждой. Эти группы располагаются по периметру полого цилиндра и удерживаются белковыми связками (рис. 62).

Клеточный центр участвует в построении цитоскелета, а также веретена деле-



ния во время митоза и мейоза. Перед началом деления клетки клеточный центр удваивается и центриоли расходятся к противоположным полюсам клетки. У высших растений многих водорослей, некоторых грибов и простейших центриоли отсутствуют и клеточный центр организован по-другому. Как правило, это отдельные белковые молекулы, способные инициировать процесс сборки микротрубочек из тубулина. Обычно они прикреплены к различным мембранам клетки, а во время деления концентрируются на полюсах.

КЛЕТОЧНАЯ СТЕНКА • КЛЕТОЧНАЯ (ПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ) МЕМБРАНА • ГЛИКОКАЛИКС • ЭНДОЦИТОЗ: ФАГОЦИТОЗ И ПИНОЦИТОЗ • ЭКЗОЦИТОЗ • РЕЦЕПЦИЯ • ГИАЛОПАЗМА • ЦИТОСКЕЛЕТ • КЛЕТОЧНЫЙ ЦЕНТР • ЦЕНТРИОЛИ



ПОДУМАЙТЕ

Клеточная мембрана имеет одинаковое строение у всех живых существ на Земле, кроме архей. О чём может свидетельствовать этот факт?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какое строение имеет мембрана клетки?
2. Какие функции выполняет наружная (плазматическая) мембрана?
3. Какие вещества, помимо липидов и белков, могут входить в состав внешней оболочки клетки? Какое они имеют значение?
4. Как могут проникать в клетку различные вещества?
5. Из каких элементов состоит цитоплазма клетки?

Совершенствуемся

1. Предложите схему, отражающую взаимосвязь компонентов мембраны клетки.
2. Из содержания параграфа вы узнали, что важнейшей структурой, обуславливающей существование клетки как структурной и функциональной единицы живого, является клеточная мембрана. Изучая в дальнейшем особенности строения клетки, обратите внимание на то, какие из органоидов имеют мембранное строение, а какие нет и почему.





Обсуждаем

Обсудите с одноклассниками, какие известные вам структуры клетки не входят в состав её цитоплазмы и почему. Аргументируйте свою позицию.

Это интересно

Неправильная мембрана архей. Древнейшие организмы на Земле — археи, которые в настоящее время выделяют в самостоятельный домен живых существ. Известно около 100 видов архей, большинство из которых обитает в экстремальных условиях, где не могут существовать никакие другие клетки (солёные и содовые озёра, кислотные водоёмы, большие глубины, гейзеры с очень высокими температурами). Оказалось, что клеточная мембрана архей отличается от мембран любых других клеток. Например, в ней два слоя фосфолипидов ковалентно «сшиваются» друг с другом своими гидрофобными участками, формируя единый слой, причём часто входящие в состав фосфолипидов гидрофобные углеводородные цепи являются разветвлёнными, что придаёт этой мембране дополнительную прочность и устойчивость. Кроме того, она имеет особо устойчивые дополнительные оболочки, что и помогает археям прекрасно чувствовать себя там, где жизнь, казалось бы, вообще невозможна.

Как был открыт фагоцитоз. Великий русский микробиолог И. И. Мечников долгое время работал во Франции, возглавляя там Пастеровский институт. Он стал одним из создателей теории иммунитета, открыв явление фагоцитоза. Это случилось так: Илья Ильич собрал шипы с мандаринового дерева и воткнул их в личинку морской звезды. Через несколько часов под микроскопом стало видно, что эти «занозы» окружены массой подвижных клеток звезды, которые, по-видимому, активно поглощали бактерий, попавших в ранки. Похожие данные были получены Мечниковым при воздействии инфекции на дафний. В итоге за исследования в области иммунитета Мечников в 1908 г. был удостоен Нобелевской премии.

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Наблюдение плазмолиза и деплазмолиза в клетках кожицы лука» на с. 203.



Рибосомы. Ядро. Эндоплазматическая сеть

§ 17

Вспомните:

1. Все ли клетки имеют ядра? У каких организмов клетки не содержат оформленного ядра?
2. Встречаются ли в природе многоядерные клетки? Приведите примеры.
3. Какие вещества отвечают за хранение, передачу и реализацию наследственной информации в биологических системах?

Рибосомы. Рибосомы представляют собой небольшие шаровидные органеллы, состоящие из белков и нескольких молекул РНК. Каждая рибосома образована из двух частей, называемых субъединицами: большой и малой. Эти органеллы обязательно есть в клетках всех организмов, так как они обеспечивают синтез белков, причём у прокариотов диаметр рибосом составляет 15—20 нм, у эукариотов — 25—30 нм, т. е. прокариотические рибосомы несколько меньше по размеру (рис. 63).

Большинство рибосом, которых в клетке эукариотов может быть очень много, располагается на шероховатой эндоплазматической сети (ЭПС), а некоторая их часть расположена по всей цитоплазме. Рибосомная РНК синтезируется в ядрышках, там же в ядре происходит и сборка самих органеллов. Потом рибосомы выходят в цитоплазму и уже там взаимодействуют с информационной (матричной) РНК, которая присоединяется к их малой субъединице. После этого рибосома начинает скользить вдоль иРНК, осуществляя синтез той молекулы белка, аминокислотная последовательность которой закодирована в цепочке данной кислоты (см. рис. 63). Рибосомы, находящиеся на ЭПС, обычно синтезируют белки, которые или используются в клеточных мембранах, или предназначаются для выноса из клетки, например белковые гормоны. Те же из них, которые находятся в цитоплазме, производят белки, которые будут использованы внутри клетки, например различные цитоплазматические ферменты или белки цитоскелета.

Рассматриваемые ниже органеллы присутствуют только в клетках эукариотов.

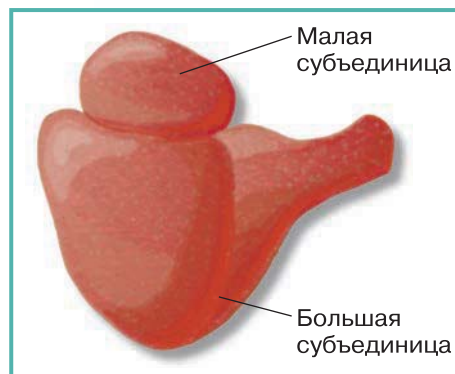


Рис. 63. Строение рибосомы



Ядро и ядрышки. Важной структурой подавляющего большинства клеток эукариотов является **ядро**. В связи с тем что именно в нём содержится *генетический аппарат клетки*, клеточное ядро отвечает за хранение, передачу и реализацию наследственной информации, осуществляемую в клетке путём биосинтеза белков. В ядре локализовано более 90 % клеточной ДНК — вещества, являющегося носителем наследственной информации.

История открытия ядра весьма интересна. Впервые эту структуру увидел и зарисовал уже известный вам голландский натуралист Энтони Ван Левенгук в 1700 г., когда рассматривал красные кровяные клетки морских рыб (которые, в отличие от эритроцитов человека, содержат ядра). Однако он так и не понял, зачем клетке нужна эта структура. Ответить на данный вопрос смог чешский физиолог Ян Пуркинье — в работе 1825 г., посвящённой исследованию яйцеклетки птиц, он писал о том, что обнаруженный им «...сжатый сферический пузырёк, одетый тончайшей оболочкой... содержит свою собственную лимфу, включён в белый сосковидный бугорок и преисполнен производящей силой...».

В растительных же клетках ядро впервые обнаружил в 1833 г. английский ботаник *Роберт Браун* (более традиционный вариант русского написания фамилии этого учёного, известного вам из курса физики, — Броун), который высказал предположение о том, что ядро является самой важной частью клетки.

Обычно ядро бывает округлым или овальным. Чаще всего в каждой клетке находится только одно ядро, хотя некоторые клетки, например грибов или поперечнополосатых мышц животных, являются многоядерными, а эритроциты человека и других млекопитающих в процессе созревания лишаются ядер и становятся безъядерными. Белые клетки крови — лейкоциты — имеют необычные ядра. Например, ядро нейтрофилов разделено на несколько долей, а у ядер эозинофилов всего две доли. Моноциты — крупные клетки крови, занимающиеся фагоцитозом, имеют очень крупные ядра, занимающие большую часть объёма клетки (рис. 64).

Ядро отделено от цитоплазмы **ядерной оболочкой**, образованной двумя мембранами, между которыми есть небольшое пространство. Ядерная оболочка пронизана многочисленными отверстиями — ядерными порами. Это позволя-

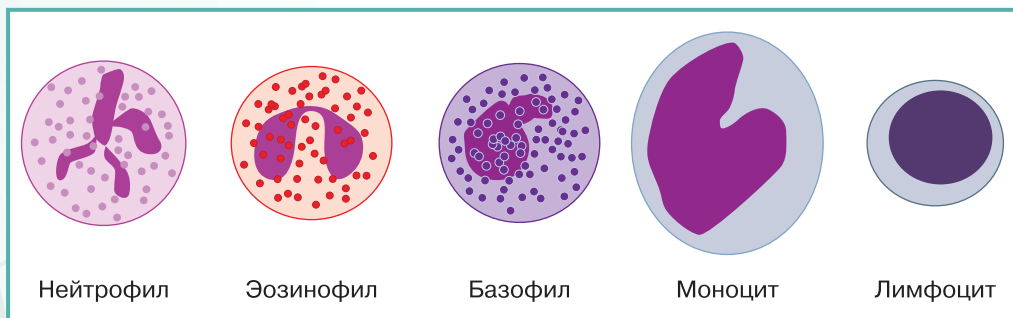


Рис. 64. Ядра в клетках иммунной системы

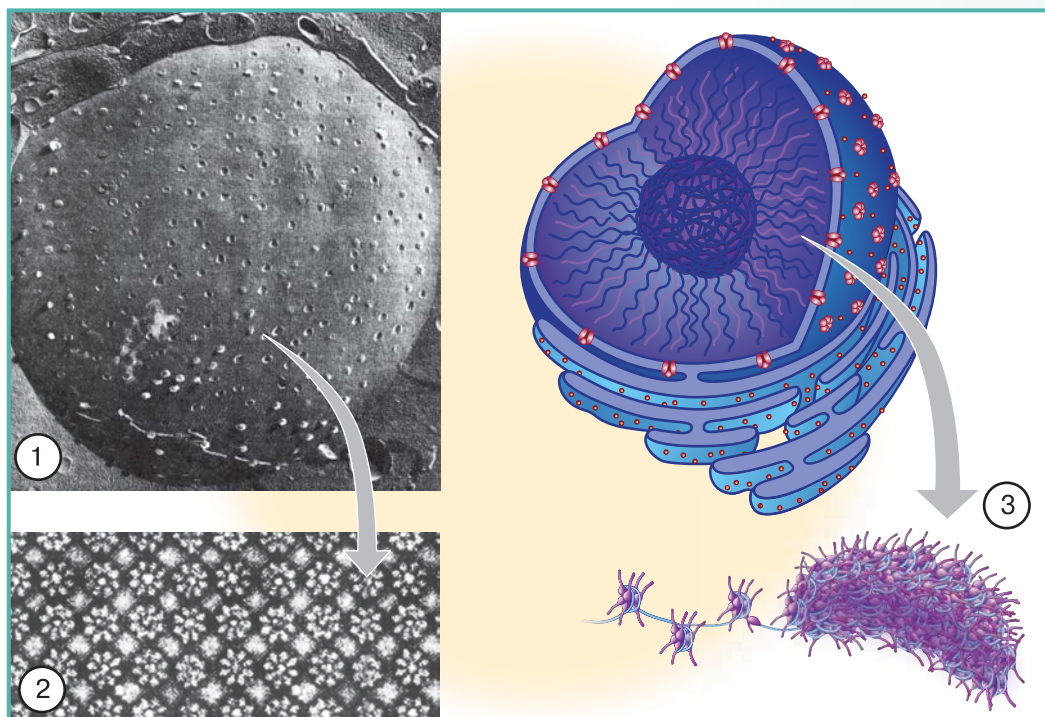


Рис. 65. Строение ядра: 1 — общий вид ядра в клетке, 2 — ядерная пора, 3 — хроматин

ет молекулам и даже некоторым органоидам перемещаться между содержимым ядра, которое называют **кариоплазмой**, и цитоплазмой (рис. 65).

В кариоплазме под микроскопом различимы **хроматин** и **ядрышки**. Хроматин представляет собой комплекс генетического материала (ДНК) и особых белков — **гистонов**, которые участвуют в упаковке нитей ДНК в ядре и в регуляции считывания с неё информации. Перед *делением клетки*, когда нужно, чтобы ДНК была точно поделена между двумя дочерними клетками, хроматин спирализуется и образует плотные окрашенные тельца — **хромосомы** (рис. 66).

Ядрышки — это видимые в световой микроскоп небольшие шаровидные образования — участки хромосом, содержащие множество копий генов рибосомных РНК. Там происходит синтез *рибосомных рибонуклеиновых кислот* (рРНК), входящих в состав рибосом и принимающих участие в реализации наследственной информации в клетке, и происходит сборка большой и малой субъединиц рибосом, которые затем через ядерные поры выходят в цитоплазму. Эти образования хорошо видны только в

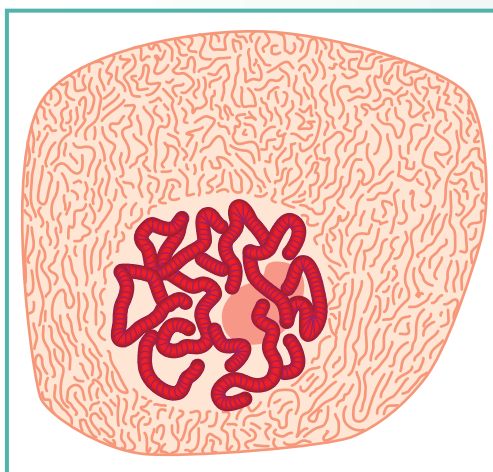


Рис. 66. Гигантские хромосомы в клетках слюнных желёз комара



Рис. 67. Эндоплазматическая сеть

промежутках между делениями клетки. В ядре можно наблюдать от одного до семи ядрышек.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС). Цитоплазму клетки пронизывает целая сеть каналов, ограниченная такой же фосфолипидной мембраной, как и плазматическая, — эндоплазматическая сеть (ретикулум) (рис. 67). Выделяют две разновидности ЭПС: **шероховатую** (гранулярную) и **гладкую** (агранулярную). Шероховатая сеть располагается вблизи от ядра, присоединяется к ядерной оболочке, а её наружная поверхность

покрыта **рибосомами** — органоидами, необходимыми для синтеза белка (см. с. 125). Таким образом, она необходима для синтеза белков и их транспорта к месту использования. Кроме того, там производятся компоненты для «строительства» и «ремонта» мембран.

Гладкая ЭПС, хоть и соединяется с шероховатой, однако содержит мало рибосом и располагается куда дальше от ядра. Внутри каналов гладкой ЭПС производятся жироподобные вещества, половые гормоны, углеводы, а также обезвреживаются некоторые ядовитые вещества, которые могут нанести вред клетке. Таким образом, эта сеть является главной «строительной фабрикой» клетки. Именно при её участии происходит сборка мембран для различных нужд клетки: построения наружной мембраны, «ремонта» её повреждения, создания ядерной оболочки пузырьков, цистерн, вакуолей и т. п.



ЯДРО ● ЯДЕРНАЯ ОБОЛОЧКА ● КАРИОПЛАЗМА ● ХРОМАТИН ● ЯДРЫШКИ ● ГИСТОНЫ ● ХРОМОСОМЫ ● ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ СЕТЬ: ШЕРОХОВАТАЯ И ГЛАДКАЯ ● РИБОСОМЫ

ПОДУМАЙТЕ

Эритроциты человека и млекопитающих животных — красные кровяные клетки, которые во взрослом (зрелом) состоянии совсем не имеют ядра. Оно выдавливается из этой клетки в процессе её созревания. А вот эритроциты большинства других животных — ядерные. Эта особенность очень помогала сыщикам уже более 100 лет тому назад определять, не подменил ли преступник место преступления, налив где-нибудь птичьей крови, например куриной. Как вы думаете, почему эритроциты человека не имеют ядра? Какой в этом физиологический смысл?



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какова функция ядра в клетке?
2. Какое строение имеет оболочка ядра клетки? Какие функции она выполняет?
3. Что представляет собой хроматин? Какую функцию в ядре выполняют белки гистоны?
4. Что представляют собой хромосомы? Каково их значение в клетке?
5. Каковы основные функции ядрышек, содержащихся в ядре клетки?
6. Каковы функции в клетке таких органоидов, как ЭПС и рибосомы?

Совершенствуемся

Прочитайте описание эксперимента и оформите его как мини-исследование.

Роль ядра в клетке можно продемонстрировать на примере следующего эксперимента. Нужно разделить клетку амёбы на две равные части, отличающиеся друг от друга только тем, что в одной из них будет содержаться ядро, а другая соответственно окажется без него. В итоге мы увидим, что первая часть быстро оправится от последствий травмы и будет активно питаться, расти и даже делиться. Вторая же часть просуществует всего несколько дней, а затем погибнет. Но если в неё ввести ядро от другой амёбы, то она быстро восстановится в нормальный одноклеточный организм.

Обсуждаем

Обсудите с одноклассниками, почему иногда в информационных источниках ядро не относят к органоидам клетки.

Это интересно

Ядерные поры. Клеточному ядру для успешного функционирования необходимы разнообразные белки. А все белки, как вам уже известно, синтезируются в цитоплазме. Для того чтобы необходимые белки могли проникнуть





в ядро, в его оболочку встроены сложные молекулярные наномашинны, построенные из многих компонентов. Они называются *ядерными поровыми комплексами*. Эти комплексы переносят через оболочку в ядро определённые белки, но не дают проникнуть в него опасным молекулам. Без них ядро не может нормально взаимодействовать с цитоплазмой, и клетка быстро погибает.

РНК помогла решить проблему старшинства курицы и яйца. Известный всем вопрос «Что было раньше, курица или яйцо?» в среде молекулярных биологов формулируется следующим образом: «Что появилось раньше — белок или нуклеиновая кислота?» С одной стороны, вся информация о белках заложена в нуклеиновых кислотах, и без неё они не могут синтезироваться. С другой стороны, нуклеиновые кислоты не могут реплицироваться и даже чинить сами себя — все эти процессы протекают только при участии белков.

Ответ на этот весьма непростой вопрос подсказала учёным рибосомная РНК. Среди всех нуклеиновых кислот она является уникальной молекулой, поскольку обладает каталитической активностью. Дело в том, что некоторые её участки могут быть катализаторами процесса собственного ремонта, а некоторые катализируют собственную репликацию. Именно поэтому её часто называют *рибозим* (от слов «РНК» и «энзим», т. е. фермент).

После того как в 1980-е гг. были открыты первые рибозимы на базе рРНК, учёные предположили, что, видимо, когда-то давным-давно, когда ещё не было клеток, в первичном океане существовало множество подобных рибозимов, которые могли катализировать и свою репликацию, и, возможно, синтез некоторых белков, с которыми они вступали в ассоциации. Эти молекулы ещё нельзя было назвать живыми организмами, однако они уже обладали важным свойством жизни — способностью к самовоспроизведению. Такую гипотетическую ситуацию учёные называли РНК-миром.

В дальнейшем при образовании клетки первым носителем генетической информации, видимо, была РНК. Однако ей пришлось отказаться от каталитической активности, поскольку из-за неё содержащаяся в молекуле информация могла повредиться. Таким образом, роль катализаторов стали выполнять связанные с РНК белки, а функцию хранения наследственной информации позже взяла на себя менее активная и более стабильная ДНК. Так РНК перестали быть рибозимами — кроме тех, которые находятся в рибосомах. Чтобы проверить это предположение, учёные искусственно синтезировали множество разнообразных рибозимов. Выяснилось, что многие из них способны катализировать свою собственную репликацию, собирая за сутки цепочку более чем из ста нуклеотидов! Конечно, это покажется достаточно низкой скоростью, однако рРНК собирают за сутки всего-то участок из 14 нуклеотидов. Не исключено, что в доклеточные времена существовали и более быстрые рибозимы.

Хромосомный набор клетки (кариотип). Набор хромосом, содержащийся в клетках какого-либо вида живых существ, называют *кариотипом*. Каждый кариотип уникален, и даже если число хромосом в клетках каких-то двух видов будет одинаковым (например, у картофеля и шимпанзе по 48 хромосом в клетке), то форма и строение этих хромосом всё равно будут различными.



Клетки, составляющие ткани любого многоклеточного организма, получили название **соматических**. Ядра таких клеток содержат, как правило, двойной, или **диплоидный**, набор хромосом, т. е. по две хромосомы одинакового вида. Исходно половина хромосом досталась каждой клетке от материнской яйцеклетки и столько же хромосом от сперматозоида отца. Парные, т. е. абсолютно одинаковые, хромосомы (одна от матери, другая от отца) получили название **гомологичных**. Исключение представляют половые хромосомы — например, у всех млекопитающих это X-хромосома, доставшаяся от матери, и одна из двух хромосом, X или Y, которую организм получает от отца.

Гаплоидный набор хромосом — это набор различных по размерам и форме хромосом клеток данного вида, но, в отличие от диплоидного набора, здесь каждая хромосома представлена в единственном числе. Гаплоидный набор содержится в ядрах половых клеток (гамет). Если у пчелы диплоидный набор — 32 хромосомы, то гаплоидный соответственно 16.

В профазе клеточного деления каждая хромосома удваивается, после чего в её составе можно наблюдать не одну, а две хроматиды. Соответственно в этом случае у человека в соматических клетках будет 92 хроматиды, попарно соединённые в 46 хромосом.

У каждого ядра своя функция. В клетках знакомых вам с 7 класса инфузорий два ядра: то, которое побольше, называют *макронуклеусом*, а поменьше — *микронуклеусом*. Но зачем же этим простейшим столько ядер? Оказывается, каждое из них выполняет свою уникальную функцию.

Микронуклеус устроен как типичное клеточное ядро — его ДНК может организовываться при надобности в хромосомы. Однако, пока клетка живёт обычной жизнью, это ядро бездействует. Микронуклеус становится активен лишь во время деления инфузории, поскольку его единственной функцией является обеспечение равномерного распределения генетического материала по ядрам дочерних клеток.

Более крупное ядро, макронуклеус, осуществляет управление жизнедеятельностью клетки, поэтому его гены постоянно работают. Однако в нём вы никогда не обнаружите хромосом — вся ДНК внутри этого ядра представляет собой множество коротких цепочек, беспорядочно расположенных в ядерном матриксе. Все эти цепочки содержат необходимые для нормальной жизни клетки гены. В то же время их число представляет собой всего 1,5 % от количества всех последовательностей, имеющих в микронуклеусе.

Макронуклеусу сложно самостоятельно поделиться, поэтому перед делением инфузории он обычно исчезает, а затем развивается из копии микронуклеуса (который перед этим ещё раз делится) в каждой дочерней клетке. Во время его развития в результате нескольких последовательных процессов 98,5 % ДНК микронуклеуса уничтожается, а оставшиеся гены копируются несколько сотен раз. Таким образом, макронуклеус является *полигенным* (т. е. содержащим очень много наборов копий одних и тех же генов) ядром.



§ 18

Вакуоли. Комплекс Гольджи. Лизосомы

Вспомните:

1. Какое значение имеют клеточные мембраны в клетке?
2. Клетки каких организмов содержат вакуоли?

Аппарат, или **комплекс, Гольджи** — это органоид, построенный из плоских полых мембранных структур, называемых цистернами. Они собраны в стопки по 4—6 штук (рис. 68). Внешне аппарат Гольджи (АГ) напоминает стопку тарелок, поставленных одна на другую.

Обычно аппарат Гольджи располагается вблизи от ядра. Цистерны этого органоида формируются из мембранных пузырьков, которые отсоединяются от ЭПС. В аппарате Гольджи происходит окончательное формирование структуры белков, синтезируемых на рибосомах гранулярного ретикулума. Далее эти белки или хранятся в самой эндоплазматической сети, пока они не понадобятся клетке, или упаковываются в мембранные пузырьки, которые отчленяются от аппарата Гольджи и выносятся наружу. Например, подобным образом из клеток эндокринных желёз выводятся в кровь гормоны. Именно поэтому в таких секреторных клетках очень хорошо развит аппарат Гольджи. Кроме того, в этом органоиде происходит сборка фрагментов биологических мембран для строительных нужд клетки. Таким образом, аппарат Гольджи выполняет синтетическую, запасующую, строительную и секреторную функции. Кроме того, в нём происходит формирование *лизосом*.

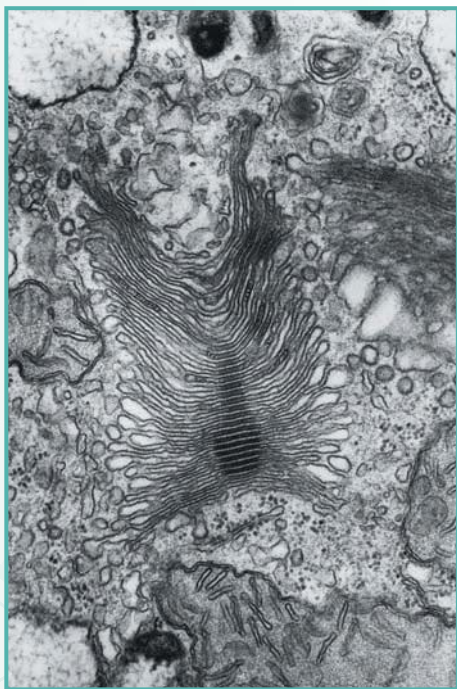


Рис. 68. Аппарат Гольджи

Лизосомы — небольшие внутриклеточные пузырьки, содержащие набор ферментов для внутриклеточного переваривания пищи. В одной лизосоме диаметром от 0,5 до 2 мкм содержатся десятки и даже сотни ферментов, способных разрушать молекулы белков, жиров, полисахаридов, нуклеиновых кислот. Они синтезируются на рибосомах шероховатой ЭПС, подвергаются там некоторым превращениям, а затем упаковываются в мембранные пузырьки и отсоединяются от аппа-



рата Гольджи. Такие лизосомы называются *первичными*.

После того как эти пузырьки с ферментами сливаются с вакуолями, содержащими пищевые частицы, образуются *вторичные лизосомы*, которые переваривают эти частицы и способствуют поглощению пищи (рис. 69).

Кроме того, первичные лизосомы могут сливаться с вакуолями фагоцитов, в которых содержатся захваченные посредством эндоцитоза бактерии, и уничтожать возможных возбудителей болезней (рис. 70). Те же фрагменты пищи или чужеродных частиц, которые не смогли перевариться во вторичных лизосомах, ещё называемых пищеварительными вакуолями, удаляются из клетки путём экзоцитоза.

Кроме того, лизосомы могут принимать участие в уничтожении клеточных органоидов, которое происходит в том случае, когда они уже не выполняют свои функции (например, из-за сильного повреждения). В этом случае предназначенная для уничтожения структура заключается внутрь пузырька, который похож на пищеварительную вакуоль, и доставляется

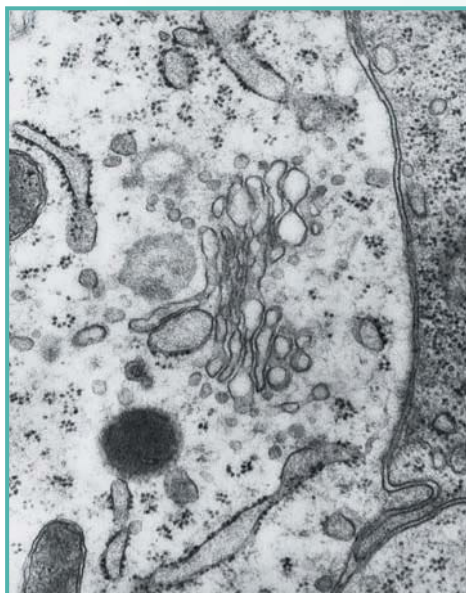


Рис. 69. Образование вторичных лизосом: вторичная лизосома выделена чёрным цветом

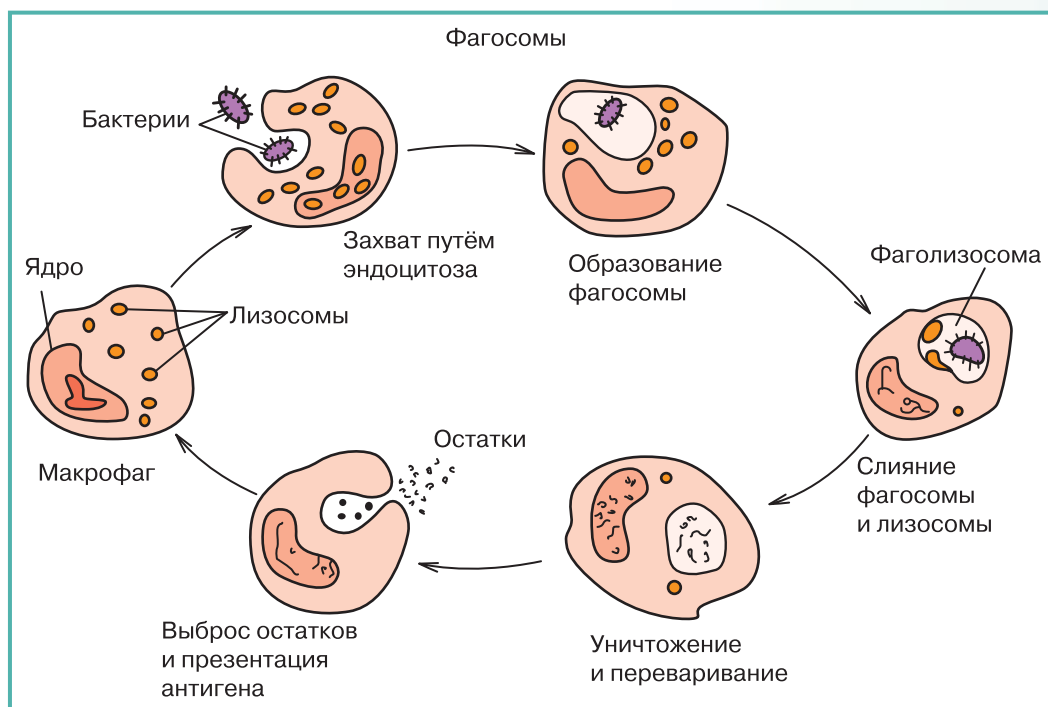


Рис. 70. Роль лизосом в фагоцитозе

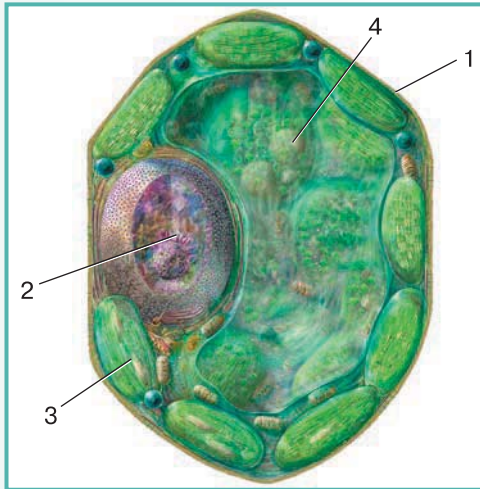


Рис. 71. Вакуоли в растительной клетке: 1 — клеточная стенка, 2 — ядро, 3 — хлоропласты, 4 — вакуоль

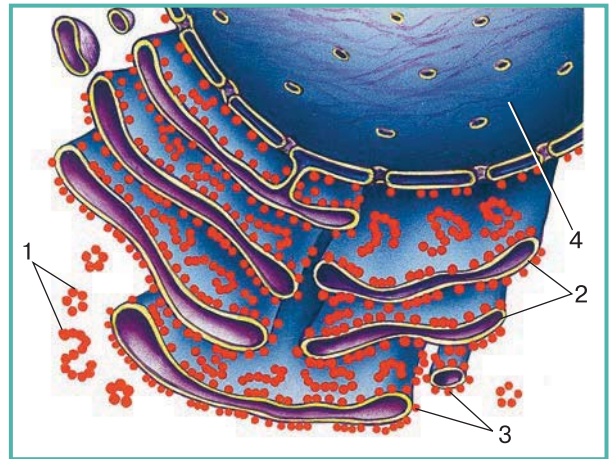


Рис. 72. Единство мембранных структур клетки: 1 — свободные рибосомы, 2 — эндоплазматическая сеть, 3 — рибосомы на мембранах ЭПС, 4 — ядро

к такой лизосоме. Или же если повреждённых органоидов много, то целый участок цитоплазмы с ними окружается мембранным отсеком, похожим на цистерну эндоплазматической сети. В результате этот участок отделяется от остальной цитоплазмы при помощи двух мембран. Такие двухмембранные пузырьки, окружающие удаляемые органоиды и содержащую их цитоплазму, называют *аутофагосомами*. Далее эти аутофагосомы соединяются с лизосомами, образуя *аутолизософагосомы*, после чего всё их внутреннее содержимое переваривается. **Вакуоли** — это ограниченные мембраной полости, содержащие растворы самых различных веществ, необходимых клеткам в их жизнедеятельности. Самые крупные немногочисленные вакуоли наблюдаются в растительных клетках, в которых они могут занимать до 90 % объёма, отодвигая к наружной мембране другие органоиды и даже ядро (рис. 71).

Такая вакуоль обеспечивает внутриклеточное, или **тургорное, давление**, делая клетку упругой: хранит воду, питательные вещества и соли, а также разнообразные пигменты, например антоцианы.

В животных клетках вакуолей много и они мелкие. Эти вакуоли играют роль в выделении из клетки избытков воды (сократительные вакуоли пресноводных простейших), а некоторые содержат набор пищеварительных ферментов (пищеварительные вакуоли).

Единство мембранных структур клетки. ЭПС, аппарат Гольджи, лизосомы и вакуоли построены из фосфолипидных мембран и тесно связаны с выполняемыми в клетке функциями. Можно считать, что эти органоиды входят в единую систему, элементы которой могут в случае необходимости перестраиваться и переходить друг в друга, используя универсальные свойства мембран (рис. 72).

ВАКУОЛИ • ТУРГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ • АППАРАТ ГОЛЬДЖИ (АГ) • ЛИЗОСОМЫ



ПОДУМАЙТЕ

Когда головастик превращается во взрослую лягушку, многие его органы изменяются. А вот хвост головастика постепенно разрушается в результате процесса, который называют *аутолизом*. Какие клеточные структуры и вещества обеспечивают этот важный физиологический процесс и как он может осуществляться?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Как образуются вакуоли в клетке? Можно ли рассматривать данные клеточные структуры в качестве органоидов клетки?
2. Какие функции выполняет аппарат Гольджи? Каково его строение?
3. Во всех ли клетках имеется аппарат Гольджи и почему? Приведите примеры.
4. В каких клеточных структурах перевариваются частицы пищи?
5. Как вы думаете, что произойдёт с клеткой, в которой по какой-то причине разрушатся мембраны лизосом?

Совершенствуемся

Проанализируйте содержание статей параграфа, раскрывающих особенности таких клеточных структур, как лизосомы и вакуоли. Что у них общего и чем они отличаются друг от друга?

Это интересно

В клетках, которые выполняют строго определённые функции и при этом не синтезируют белки, аппарат Гольджи не нужен. Таким образом, этот органоид отсутствует в эритроцитах. А в сперматозоидах сохраняется только фрагмент этого органоида (акросома), содержащий ферменты, необходимые для растворения оболочек яйцеклетки.





У хищных растений, сходных с нашей росянкой, в аппарате Гольджи синтезируется и накапливается клейкая слизь для ловли насекомых.

В одной клетке можно одновременно наблюдать около ста лизосом различного размера и формы. Набор ферментов в различных лизосомах одной и той же клетки также сильно различается.

Почему лизосома не переваривает саму себя? Как было сказано выше, ферменты лизосом могут разрушать молекулы белков, жиров и полисахаридов. Возникает вопрос: почему же они не разрушат мембрану первичной лизосомы, которая состоит из тех же самых веществ? Ответ на этот вопрос достаточно простой: потому что в первичной лизосоме ферменты не активны. Они могут работать только в кислой среде, а в первичной лизосоме среда строго нейтральная.

Изменение среды происходит после слияния лизосомы с пищеварительным пузырьком — после этого в мембране образовавшейся вакуоли начинает работать состоящая из белков специальная протонная помпа, которая закачивает внутрь ионы водорода и тем самым делает среду кислой. А как только процесс переваривания подходит к концу, эти ионы удаляются из вторичной лизосомы в цитоплазму и она снова дезактивируется — до следующей встречи с пищеварительным пузырьком.

Обсуждаем

1. Обсудите с одноклассниками, от чего зависит наличие в клетке каких-либо клеточных структур. Может ли эта зависимость быть перенесена на любой другой уровень организации биологических систем?
2. Обсудите с одноклассниками, почему иногда в информационных источниках о строении клетки вакуоли, как и ядро, не относят к органоидам клетки.

Проводим исследование

Выполните лабораторную работу «Приготовление, рассматривание и описание микропрепаратов клеток растений» на с. 204.



Митохондрии. Пластиды. Органоиды движения. Клеточные включения

§19

Вспомните:

1. Приведите примеры клеток, имеющих жгутики и реснички.
2. Какие органоиды клетки являются основными производителями энергии?

Митохондрии — это небольшие (1—7 мкм) округлые или вытянутые тельца. В клетках эукариотов их может быть от нескольких десятков до нескольких сотен. Известно, что чем больше энергии расходует какая-либо клетка, тем больше в ней митохондрий. Например, число этих органоидов в клетках печени — гепатоцитах — может превышать тысячу. Много митохондрий и в клетках мышечной ткани. Одноклеточные зелёные водоросли (эвглена, хлорелла и др.) имеют лишь одну гигантскую митохондрию, а у паразитических простейших, живущих в анаэробных (бескислородных) условиях, митохондрии отсутствуют.

Каждая митохондрия образована двумя мембранами: внутренней и наружной. Наружная мембрана митохондрий — гладкая, а внутренняя образует множество выступов и перегородок, которые называют **кристами** (это происходит потому, что площадь внутренней мембраны намного превышает таковую внешней). Внутреннее пространство этих органоидов называется **матриксом** (рис. 73).

В матриксе митохондрий содержатся ферменты, которые расщепляют углеводы, липиды и аминокислоты до CO_2 и H_2O , а во внутренней мембране, в кристах располагаются компоненты дыхательной цепи, которые окисляют образующиеся при расщеплении органических веществ восстановительные эквиваленты (НАДН и ФАДН_2), используя O_2 . В результате выделяющаяся энергия запасается в виде АТФ.

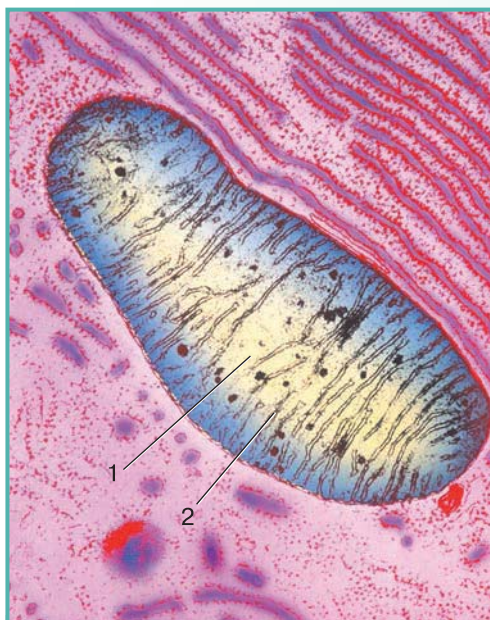


Рис. 73. Строение митохондрии:
1 — матрикс, 2 — кристы



Таким образом, митохондрии необходимы клеткам эукариотов для получения и запасаания энергии для обеспечения жизнедеятельности этих клеток.

Кроме того, в матриксе митохондрий находятся рибосомы, размер которых соответствует размеру рибосом прокариотов, а также кольцевая молекула ДНК. Поэтому митохондрии способны синтезировать некоторые собственные белки — впрочем, информация о большинстве необходимых этому органоиду белков всё-таки хранится в геноме ядра.

В настоящее время учёные считают, что митохондрии возникли в результате *эндосимбиоза*, при котором мелкие аэробные бактерии поселились внутри более крупных анаэробных бактерий (или же были проглочены анаэробами, но не переварены сразу). Поскольку эти органоиды являются полуавтономными, в случае необходимости их количество в клетках может увеличиваться.

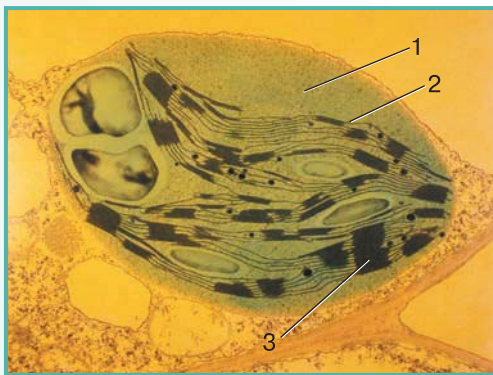


Рис. 74. Пластиды. Строение хлоропласта: 1 — строма, 2 — тилакоид, 3 — грана

Пластиды — это органоиды растительных клеток, чаще всего имеющие округлую или вытянутую форму. Различают три вида пластид: *хлоропласты*, *хромoplastы* и *лейкопласты* (рис. 74).

Хлоропласты, как и митохондрии, окружены двумя мембранами: наружной гладкой и внутренней, образующей множественные плоские цистерны, которые как бы сложены в стопки. Эти цистерны называют **тилакоидами**, а состоящие из них стопки — **гранами**. Внутреннюю среду, окружающую тилакоиды, называют **стромой**. В мембранах тилакоидов расположе-

ны белково-пигментные комплексы, содержащие хлорофилл и обеспечивающие протекание световой фазы фотосинтеза, в ходе которой накапливаются АТФ, восстановительные эквиваленты (НАДФН) и выделяется кислород, образующийся при фотолизе воды. В свою очередь, строма пластид содержит ферменты, связывающие CO_2 и синтезирующие органические соединения (в первую очередь углеводы) для питания клеток.

Хромoplastы — это пластиды, окрашенные в жёлтые, красные, фиолетовые цвета. За счёт их пигментов (например, каротиноидов, придающих клеткам красную и оранжевую окраску, а также некоторых других) цветки и плоды приобретают яркий, привлекающий насекомых и животных цвет. Ну а у моркови очень много каротина содержится в корнеплоде.

Лейкопласты — пластиды, не имеющие окраски, чаще всего содержатся в клетках подземных частей растений, например в клубнях картофеля. Эти пластиды выполняют запасающую функцию. Кроме того, они весьма изменчивы и при ярком освещении могут превращаться в хлоропласты. Вот почему клубни картофеля, хранящиеся на свету, зеленеют.

Пластиды, как и митохондрии, возникли в результате эндосимбиоза двух прокариотов. Они являются «потомками» цианобактерий и содержат собственную ДНК, РНК, рибосомы, размер которых соответствует размеру прокариоти-



ческих рибосом. Так же как и митохондрии, пластиды могут синтезировать некоторые собственные белки. И поскольку они могут делиться, в случае необходимости количество этих органоидов в клетках увеличивается.

Органоиды движения — это реснички и жгутики.

Основанием как ресничек, так и жгутиков является базальное тельце, которое формируется при помощи центриоли, а затем подходит к клеточной мембране и выращивает микротрубочки, формирующие вместе с мембраной жгутик или ресничку (рис. 75). Таким образом, каждый жгутик образован девятью группами микротрубочек, расположенных по кругу, и двумя микротрубочками в центре. Ресничка имеет точно такое же внутреннее строение. Она отличается от жгутика размерами

(длина жгутика в среднем составляет 200 нм, тогда как реснички не бывают длиннее 10 нм), а также способом движения (жгутик движется в основном по синусоидальной траектории, а ресничка изгибается волнообразно).

Клеточные включения — это непостоянные структурные компоненты клетки, чаще всего представляющие собой запасные питательные вещества. К ним относят капли жира, зёрна белка, глыбки гликогена, мелкие вакуоли и т. п. (рис. 76).



Рис. 75. Схема строения жгутика



Капли жира
в цитоплазме
инфузории-туфельки

Крахмальные
зёрна картофеля

Белковые
включения
в зерновке
пшеницы

Кристаллы оксалата
кальция в клетках
черенка листа бегонии

Рис. 76. Клеточные включения

МИТОХОНДРИИ • ПЛАСТИДЫ • КРИСТЫ • МАТРИКС • ТИЛАКОИДЫ • ГРАНЫ • СТРОМА • КЛЕТОЧНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

ПОДУМАЙТЕ

Красные кровяные клетки эритроциты имеют характерную двояковогнутую форму. За счёт каких внутриклеточных структур она может поддерживаться?



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какое строение имеют митохондрии? Какую функцию они выполняют?
2. От чего зависит количество митохондрий в клетке? Почему в клетках печени их так много?
3. В клетках каких организмов можно обнаружить пластиды?
4. Какие виды пластид вам известны? Каковы особенности их строения и выполняемые ими функции?
5. Какое значение имеет клеточный центр?
6. Какие структурные компоненты клетки относят к клеточным включениям? В чём заключается их отличие от органоидов клетки?

Совершенствуемся

1. Чем схожи и чем различаются между собой пластиды и митохондрии? Ответ представьте в виде таблицы.
2. Почему граны в хлоропласте расположены в шахматном порядке? Ответ обоснуйте.
3. Найдите в приведённом тексте ошибки. Укажите номера предложений, в которых сделаны ошибки. Исправьте их.
 - 1) Каждая митохондрия образована двумя мембранами.
 - 2) Внутренняя мембрана митохондрий образует множественные перегородки — тилакоиды.
 - 3) Внутреннее пространство митохондрий называют матриксом.
 - 4) Каждая клетка многоклеточного организма имеет одну, но гигантскую митохондрию.
 - 5) Много митохондрий содержится в клетках мышечной ткани.
 - 6) Число митохондрий в клетке может меняться в зависимости от потребности клетки в энергии.
 - 7) Клетки всех прокариотов имеют митохондрии.
 - 8) Наружная мембрана митохондрий образует выросты.



Обсуждаем

Почему вакуоли часто не рассматривают в качестве органоидов клетки? Аргументируйте свою точку зрения.

Это интересно

Бывшие симбионты. Скорее всего, предками митохондрий и пластид были какие-то очень древние бактерии, которые когда-то были проглочены какой-то хищной клеткой, но не переварены. Согласно этой точке зрения, вторая (наружная) мембрана этих органоидов является мембраной пищеварительного пузырька. Постепенно эти «счастливчики», которые умели осуществлять фотосинтез и кислородное дыхание, превратились в симбионтов, а затем и в важнейшие органоиды клетки.

Митохондрии способны двигаться по цитоплазме в то место, где клетке нужна энергия. Если клетка интенсивно работает, то число митохондрий возрастает — так же, как и перед делением клетки.

Кое-что о пластидах. Яркий цвет ягод рябины, который обеспечивают каротиноиды хромопластов, привлекает дроздов, которые этими плодами питаются. Но рябина «заботится» не о насыщении дроздов, а о себе. Дело в том, что семена рябины, находящиеся в ягодах, становятся всхожими, только пройдя через кишечный тракт птиц. Кроме того, птицы разносят семена очень далеко от материнского дерева и ареал рябины расширяется.

Под действием солнечных лучей в клубнях картофеля образуется не только хлорофилл, но и очень ядовитый алкалоид соланин (его название происходит от латинского слова *sole* — солнце). Этот процесс вообще характерен для растений семейства Паслёновые, к которому относятся и картофель, и томаты. Такие позеленевшие клубни ни в коем случае нельзя употреблять в пищу, зато вполне можно использовать для посадки.

Бактерии вместо митохондрий и хлоропластов. Одним из доказательств теории симбиогенеза является существование некоторых простейших организмов, у которых функции митохондрий выполняют симбиотические бактерии. Таковым является, например, амёба пеломикса (*Pelomyxa*), которая обитает в болотах и загрязнённых водоёмах. В клетке этой амёбы нет митохондрий, однако это её не особенно расстраивает, поскольку у неё в цитоплазме живёт множество метанотрофных бактерий. Именно эти симбионты и обеспечивают свою хозяйку энергией, синтезируя АТФ в процессе окисления метана, которого много в местах обитания пеломиксы. Интересно, что все эти бактерии содержатся в пузырьках, окружённых не одной, а двумя мембранами, т. е. данные импровизированные «митохондрии» являются трёхмембранными «органеллами». Раньше учёные дума-





ли, что пеломиксы — это потомки древних организмов, которые так и не обзавелись митохондриями, однако сейчас многие склонны полагать, что данные амёбы вторично утратили митохондрии в связи с переходом к анаэробному образу жизни.

Другим наглядным доказательством теории симбиогенеза является одноклеточная жгутиковая водоросль *Cyanophora paradoxa*. В её клетках содержатся цианеллы — органоиды, напоминающие типичные хлоропласты, но отличающиеся от них наличием тонкой клеточной стенки, содержащей пептидогликан. Слой этого вещества располагается между наружной и внутренней мембранами цианеллы. Причём размер генома данных органоидов почти такой же, как у типичных хлоропластов, и во много раз меньше, чем у цианобактерий.

Учёные проанализировали геном *C. paradoxa*, состоящий примерно из 70 миллионов пар оснований, и обнаружили в нём гены, очень похожие на гены хламидий — своеобразных паразитических бактерий. Было установлено, что кодируемые этими генами белки нужны для того, чтобы доставлять производимые хлоропластом сахара в цитоплазму. Исходя из этого, исследователи предположили, что, видимо, когда-то предок цианофоры вступил в симбиотические отношения с проглоченной, но не переваренной цианобактерией. Однако этот симбиоз не смог бы состояться, если бы паразиты-хламидии, обитающие в клетках предка, не «подарили» ему необходимые для транспортировки сахаров гены (хотя не исключено, что предок цианофоры сам «отнял» их у хламидий). Произошло же это, по мнению молекулярных биологов, примерно 1,6 млрд лет назад.

Кроме того, в геноме *C. paradoxa* были обнаружены практически все варианты генов, имеющих у растений и эукариотических водорослей, белки которых принимают участие в биохимических процессах, связанных с фотосинтезом. Получается, что эта уникальная водоросль является предком всех эукариотов-фотосинтетиков.



Особенности строения клеток прокариотов и эукариотов

§ 20

Вспомните:

1. К каким царствам относятся живые существа, обитающие на Земле?
2. Представители каких царств чаще всего являются возбудителями болезней человека?

Прокариоты. Как уже было отмечено, не все клетки, встречающиеся в природе, имеют генетический аппарат, отграниченный от цитоплазмы ядерной оболочкой. К организмам, обладающим именно такими клетками, относят **прокариотов**. Ими являются представители двух доменов: *археи* и *бактерии* (настоящие бактерии и цианобактерии).

Прокариоты — это одноклеточные живые существа, не имеющие ядра и органоидов, построенных из мембран.

Ну а таких живых существ, клетки которых имеют ядро и мембранные органоиды, относят к домену **эукариотов**.

Все прокариоты, как и следует из их названия, не имеют ядерной оболочки, и их единственная молекула ДНК, имеющая кольцевую форму, расположена в цитоплазме (рис. 77). Снаружи их клетки (как и клетки эукариотов) покрыты плазматической мембраной, имеющей у представителей обоих доменов сходное строение. Поскольку у прокариотов нет органоидов, построенных из мембран, то все необходимые ферменты располагаются на внутренней стороне клеточной мембраны — примерно так, как они расположены на внутренних мембранах пластид и митохондрий.

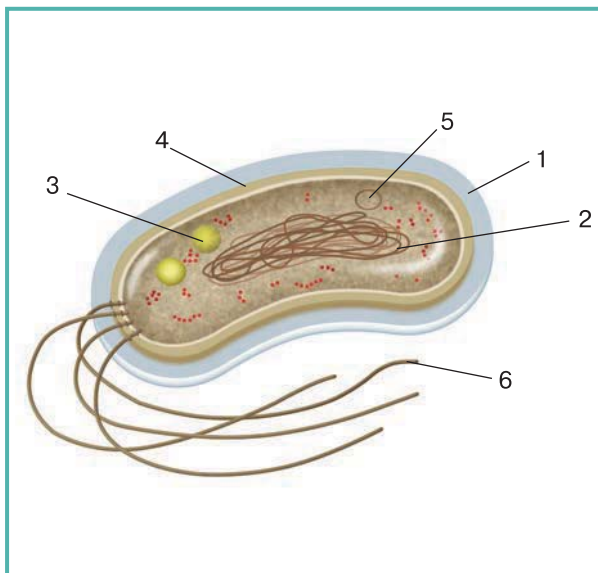


Рис. 77. Схема строения прокариотического организма: 1 — клеточная стенка, 2 — бактериальная хромосома, 3 — запасные питательные вещества, 4 — плазматическая мембрана, 5 — плазмида, 6 — жгутики



Долгое время учёные считали, что большинство ферментов бактериальных клеток расположено на специальных впячиваниях — *мезосомах*, которые исследователи время от времени наблюдали в световой и электронный микроскопы. Считалось даже, что эти мезосомы выполняют функции ЭПС, митохондрий, пластид, аппарата Гольджи и лизосом. Однако в конце 70-х гг. прошлого столетия накопилось множество данных, свидетельствующих о том, что мезосомы являются артефактами, т. е. искусственными структурами, возникающими при повреждении цитоплазматической мембраны во время воздействия на неё различных веществ — фиксаторов, красителей и т. п. Было установлено, что в живых клетках, а также таких, которые не подвергаются никакому химическому воздействию, никаких структур, напоминающих мезосомы, не образовывалось. Поэтому, несмотря на то что до сих пор это название иногда встречается в биологической литературе, в настоящее время большинство учёных убеждены в том, что никаких специальных выростов мембран в живых бактериальных клетках нет.

Рибосомы в цитоплазме прокариотов располагаются свободно, а их размер намного меньше, чем размер рибосом эукариотов. Цитоскелет в прокариотических клетках отсутствует, однако снаружи, т. е. поверх клеточной мембраны, у них имеется клеточная стенка. Внешне она напоминает аналогичную структуру оболочки клеток растений или грибов, однако построена эта стенка не из клетчатки или хитина, а из сложного гетерополимера *муреина*, в состав которого входят углеводы и аминокислоты.

Выжить в самых трудных условиях некоторым бактериям помогает способность образовывать **споры**. Если окружающая обстановка становится угрожающей, например наступила засуха, эти бактерии могут образовывать вокруг своей единственной кольцевой хромосомы особые плотные оболочки, т. е. формировать спору. Остальное содержимое бактериальной клетки частично отмирает, а частично высыхает и компактизируется (рис. 78).

Спора может находиться в неактивном состоянии многие годы, возможно тысячелетия, но, когда условия снова становятся благоприятными для жизнедеятельности, она быстро превращается в бактерию и начинает размножаться. Вот почему так опасно случайное вскрытие скотомогильников, в которых захоронен скот, погибший, например, от таких бактериальных инфекций, как

сибирская язва или сап. Споры этих бактерий могут активироваться и привести к вспышке болезни.

По всей видимости, прокариоты были первыми живыми существами на Земле, которые возникли миллиарды лет тому назад. Однако, несмотря на свои кажущиеся простоту и примитивность, эти существа умеют быстро приспосабливаться к изменениям в окружающей среде. Это позволило им заселить все оболочки нашей планеты.

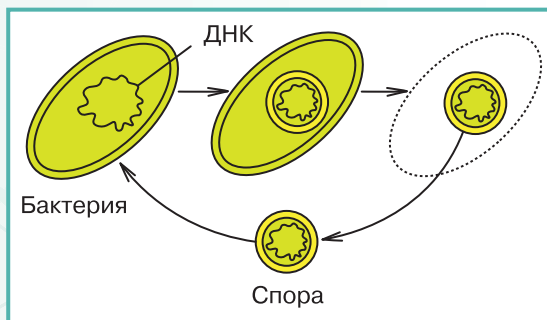


Рис. 78. Образование спор у бактерий

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Сколько молекул ДНК содержат бактерии?
2. Что такое мезосомы? Почему учёные долгое время считали их клеточными органоидами?
3. Какие функции спор у бактерий?
4. Приведите примеры болезней, вызываемых у людей бактериями.

Совершенствуемся

1. Используя дополнительные источники информации, подготовьте краткое сообщение (на 3—5 мин) об археях. Представьте тезисы своего сообщения.
2. Сформулируйте правила профилактики бактериальных заболеваний.

Это интересно

Археи — мелкие неподвижные клетки, по способу питания чаще хемосинтетики. Имеют особенности в строении клеточной мембраны. Они невероятно устойчивы к внешним воздействиям, поэтому могут жить в экстремальных условиях: в пересоленных водоёмах или в серных озёрах кратеров вулканов.

Настоящие бактерии имеют разнообразную форму клеток, но всегда отличаются малыми размерами — около 1 мкм, хотя описаны бактерии диаметром около 100 мкм. По способу питания могут быть как автотрофами (в основном хемотрофами), так и гетеротрофами. Бывают подвижные формы, передвигающиеся при помощи жгутиков.

Цианобактерии — это микроорганизмы, которые питаются за счёт фотосинтеза, почему их раньше называли синезелёными водорослями. Они используют особый хлорофилл А, который не встречается у других фототрофов. Эти бактерии часто являются симбионтами грибов, образуя лишайники. Могут образовывать симбиоз и с высшими растениями.

Размножение прокариотов. Прокариоты обычно размножаются бесполым путём. Удвоив сначала свою молекулу ДНК, затем они делятся пополам. В благоприятных условиях бактерии делятся очень часто, и поэтому естественной смерти для



них не существует. Когда они вырастают до определённых размеров и срок их жизни подходит к концу, то они делятся и превращаются в две особи.

Половой процесс у прокариотов наблюдается реже, однако, когда он происходит, бактерии, обмениваясь участками своих хромосом, передают друг другу новые ценные свойства, например устойчивость к лекарствам или неблагоприятным условиям. Перенос генетического материала из одной бактерии в другую может происходить различными способами.

Наши невидимые друзья. Человек — это целое «общество» микроорганизмов. В нашем теле обитает примерно 200 видов бактерий, причём представители 80 из них живут во рту. Наибольшая плотность бактерий наблюдается в кишечнике — до 10 млрд микроорганизмов на 1 см² поверхности толстого кишечника.

Вирусы, поражающие бактерий, очень часто захватывают фрагменты их ДНК и, заражая другие бактериальные клетки, приносят в них эти кусочки, которые встраиваются в ДНК своего нового хозяина, позволяя бактерии приобрести новые свойства, например устойчивость к лекарствам.

У бактерий тоже есть иммунитет. Некоторые штаммы бактерий куда менее восприимчивы к бактериофагам, а то и вообще невосприимчивы. Как же вырабатывается подобная устойчивость к паразитам?

Эту загадку биологи смогли разгадать только в 2002 г., когда в клетках прокариотов была обнаружена уникальная система **CRISPR—Cas**. CRISPR (от англ. *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* — короткие палиндромные повторы, регулярно расположенные группами) — это участок ДНК, состоящий из коротких (обычно около 30—40 нуклеотидов длиной) повторяющихся последовательностей, которые отделяются друг от друга неповторяющимися участками (*спейсерами*). Последние являются кусками ДНК вирусов, которые когда-то пытались заразить данную клетку. Именно благодаря им бактерия может запоминать чужеродную ДНК носителей инфекции.

Когда в клетку бактерии попадает вирус, на основе участка CRISPR синтезируется множество разнообразных коротких РНК (сРНК), каждая из которых содержит какой-либо спейсер. Такие РНК могут связываться с чужеродной ДНК, у которой есть участок, комплементарный конкретному спейсеру. Как только это происходит, активизируются находящиеся недалеко от CRISPR гены белков Cas (от англ. *CRISPR associated protein* — CRISPR-ассоциированный белок). Эти белки подходят к чужеродной нуклеиновой кислоте, отмеченной сРНК, и уничтожают её. Впрочем, один из кусочков этой молекулы сохраняется для того, чтобы быть вставленным в CRISPR в качестве нового спейсера — может быть, в другой раз по нему удастся быстрее опознать пришельца.

Когда учёные расшифровали механизм действия системы CRISPR—Cas, они поняли, что к ним в руки попал уникальный инструмент — ведь белки этой системы могут разрезать ДНК в заданном месте. По мнению биологов, эту систему можно использовать для устранения генетических дефектов, просто вырезая их из ДНК. Сейчас ведутся эксперименты, которые направлены на создание подобных инструментов «редактирования» нуклеиновых кислот человека.



§21

Обмен веществ и превращение энергии в клетке

Вспомните:

1. Почему биологические системы называют открытыми?
2. Какие вещества обеспечивают процессы жизнедеятельности клетки энергией? Какие из них можно назвать универсальными источниками?

Обмен веществ. Все живые организмы, имеющие клеточное строение, представляют собой *открытые системы*, которые постоянно обмениваются веществом и энергией с окружающей средой. Энергия необходима клеткам для синтеза сложных органических веществ и выполнения разных видов работы: движения, выведения продуктов обмена и т. д. Для её получения организмы разлагают и окисляют различные химические соединения — как правило, это органические вещества, получаемые с пищей. Совокупность биохимических реакций разложения сложных веществ на более простые, сопровождающихся выделением энергии, а также запасанием её в форме химических связей универсального соединения-энергоносителя АТФ, получила название **энергетического обмена** (*катаболизма* или *диссимиляции*).

Как вам уже известно (см. § 13), АТФ (аденозинтрифосфат) является универсальным источником энергии во всех клетках. Это вещество синтезируется в результате реакции *фосфорилирования*, т. е. присоединения одного остатка фосфорной кислоты к молекуле АДФ (аденозиндифосфата):



Как вы видите, эта реакция идёт с поглощением энергии, которая в итоге запасается в молекуле АТФ в форме макроэргической химической связи. Соответственно при распаде АТФ до АДФ и разрыве этой связи клетка получит те самые 40 кДж энергии.

Одновременно с реакциями диссимиляции в клетках постоянно протекают синтетические процессы, в которых образуются присущие данному организму сложные органические вещества — как низкомолекулярные (аминокислоты, сахара, витамины, органические кислоты, нуклеотиды, липиды и т. д.), так и биополимеры (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты). Они необходимы им для построения различных клеточных структур и выполнения разнообразных функций. Для синтеза этих веществ клетки используют или получаемые из внешней среды углекислый газ и воду, или готовые органические соединения, а также энергию, накопленную в процессе диссимиляции. Совокупность био-

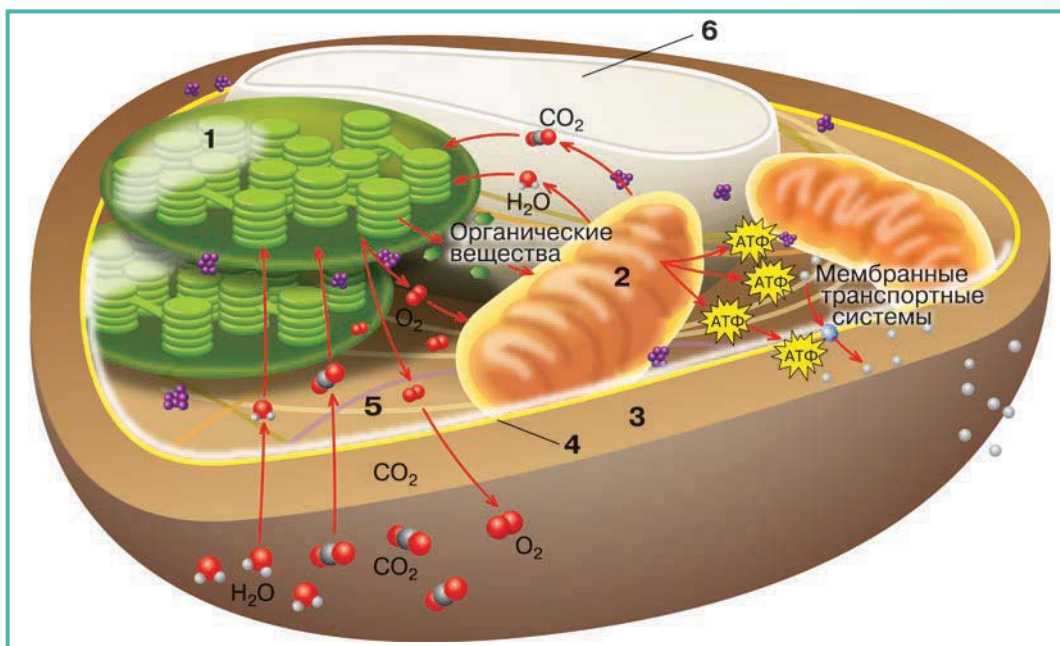


Рис. 79. Общая схема метаболизма: 1 — хлоропласт, 2 — митохондрия, 3 — клеточная стенка, 4 — клеточная мембрана, 5 — цитоплазма, 6 — вакуоль

химических процессов, протекающих в живых организмах с затратой энергии, называют **пластическим обменом** (анаболизмом или ассимиляцией).

Процессы пластического и энергетического обмена (анаболизма и катаболизма, ассимиляции и диссимиляции, биосинтеза и распада) протекают в клетках постоянно, а чаще всего одновременно, поэтому они тесно взаимосвязаны. Так, многие промежуточные продукты реакций энергетического обмена используются в качестве исходных соединений в реакциях биосинтеза, а энергия, запасаемая в виде макроэргических связей АТФ в ходе диссимиляции, постоянно расходуется в процессах ассимиляции. Из-за этого анаболизм и катаболизм нельзя рассматривать в отрыве друг от друга, поскольку они являются двумя сторонами обмена веществ (или **метаболизма**), который постоянно происходит во всех живых системах и составляет биохимическую основу жизни (рис. 79).

Превращение энергии в клетке. Рассмотрим более подробно то, каким образом живые организмы освобождают энергию, запасённую в сложных органических соединениях. Для этого они чаще всего окисляют («сжигают») органические вещества. Подавляющее большинство эукариотических клеток для осуществления реакций энергетического обмена нуждается в окислителе. В качестве него выступает содержащийся в воздухе или воде кислород, поэтому тех, кто использует его, называют *аэробами* (от греч. *aer* — воздух и *bios* — жизнь). А вот среди прокариотов довольно часто встречаются *анаэробы* (приставка *an-* означает «противоположный», т. е. *анаэробы* — это противоположные аэробам существа) — существа, которым кислород не только не нужен, но даже вреден и для кого-то из них является смертельным ядом (рис. 80).

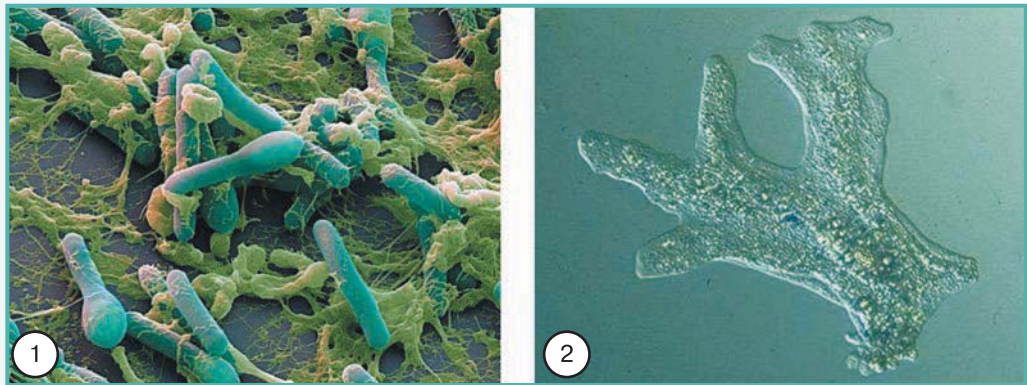


Рис. 80. Анаэробы и аэробы: 1 — анаэробная бактерия клостридиум ботулинум (*Clostridium botulinum*), 2 — обыкновенная амёба (*Amoeba proteus*), аэробный организм

Впрочем, среди анаэробов существуют и такие организмы, которые обычно осуществляют обмен веществ по анаэробному пути, но при этом они могут жить и развиваться в присутствии кислорода. Таких живых существ называют *факультативными анаэробами*. Факультативными анаэробами являются некоторые бактерии (возбудитель брюшного тифа *Salmonella typhi*), одноклеточные грибы (дрожжи *Saccharomyces*), простейшие (дизентерийная амёба, донные инфузории семейства *Spirostomidae*), а также многоклеточные животные, местом обитания которых является дно водоёмов (круглые черви, моллюски) или организмы других живых существ (круглые и плоские черви).

Обычно факультативные анаэробы получают всю необходимую для своего существования, развития и размножения энергию при помощи расщепления органических и неорганических соединений в бескислородных условиях, что роднит их с настоящими анаэробами. В то же время они совершенно не боятся кислорода, поскольку обладают ферментами, способными обезвреживать его путём присоединения к нему водорода (в результате чего получается вода). Некоторые факультативные анаэробы могут в присутствии кислорода перестраивать свой обмен веществ с анаэробного на аэробный (инфузории, круглые черви), однако когда они вновь попадают в бескислородную среду, то возвращаются к анаэробному обмену.

Химический процесс окисления органического вещества — например, горение природного газа метана — можно описать простым уравнением:

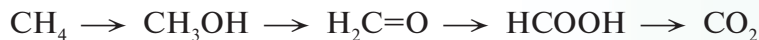


В ходе этой реакции углерод окисляется кислородом из воздуха (углерод максимально восстановлен в метане (CH_4) и максимально окислен в углекислом газе (CO_2), что приводит к освобождению энергии из химических связей в виде тепла. Похожий процесс протекает в клетках аэробных организмов, однако он имеет ряд существенных отличий.

Во-первых, клетки проводят реакцию окисления в несколько стадий, постепенно окисляя насыщенный углеводород до спирта, альдегида (кетона), карбо-



новой кислоты и, наконец, до углекислого газа. Это можно проиллюстрировать такой последовательностью превращений:

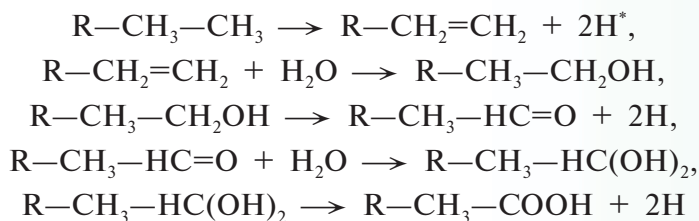


В итоге при протекании данного процесса выделяется столько же энергии (тепла), сколько и при простом сжигании метана, однако она будет высвобождаться не сразу, а порциями, т. е. по частям.

Во-вторых, не вся освобождаемая в ходе таких реакций энергия рассеивается в виде тепла. Клетки запасают часть её в макроэргических связях моонуклеотидов. Для этого реакция, протекающая с освобождением энергии, «сопрягается» с реакцией, протекающей с её поглощением, например с образованием АТФ из АДФ и неорганического фосфата.

В-третьих, для получения энергии не обязательно окислять органические вещества полностью, т. е. до углекислого газа. Энергия будет выделяться и при неполном окислении — например, спирта до карбоновой кислоты. Хотя, конечно, в этом случае её количество будет меньшим, чем при полном окислении.

В-четвёртых, клетки могут осуществлять окисление органических веществ и в отсутствие кислорода. Условно это можно проиллюстрировать такой последовательностью реакций:



Итак, мы видим, как один из углеродных атомов в молекуле органического вещества последовательно окисляется до спирта, альдегида и карбоновой кислоты. Последовательно «отрывающиеся» от него атомы водорода, которые называют *восстановительными эквивалентами* (см. § 13), в клетках присоединяются к *универсальным акцепторам атомов водорода*, молекулам НАД⁺ или ФАД, восстанавливая их до НАДН или ФАДН₂. Эти вещества затем используются в реакциях биосинтеза для восстановления органических соединений (показанные выше реакции протекают в обратную сторону), а в присутствии кислорода НАДН и ФАДН₂ окисляются в дыхательной цепи митохондрий с освобождением большого количества энергии, запасаемой в виде АТФ.

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ ● МЕТАБОЛИЗМ ● ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН ● ПЛАСТИЧЕСКИЙ ОБМЕН

ПОДУМАЙТЕ

Почему молекулы НАД⁺ и ФАД называют универсальными акцепторами водорода?

* Имеется в виду атомарный водород, т. е. 2 атома Н.



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Почему эукариоты представляют собой открытые системы?
2. Для чего клеткам нужна энергия? Откуда они её берут?
3. Какие процессы называют энергетическим обменом, а какие — пластическим обменом?
4. Чем аэробы отличаются от анаэробов?
5. Можно ли окисление веществ в живом организме назвать горением? Почему?

Совершенствуемся

1. Прочитайте статью в рубрике «Это интересно», предложите схему, отражающую биологическое окисление в клетке.
2. Используя ключевые слова параграфа, постройте основу схемы (ментальной карты), показывающей суть обмена веществ в клетке.
3. Установите соответствие между признаками обмена веществ у человека и его этапами.

ПРИЗНАКИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ	ЭТАПЫ ОБМЕНА
А) вещества окисляются Б) вещества синтезируются В) энергия запасается в молекулах АТФ Г) энергия расходуется Д) в процессе участвуют рибосомы Е) в процессе участвуют митохондрии	1) пластический обмен 2) энергетический обмен

Обсуждаем

Обсудите в классе, возможны ли случаи переноса протонов водорода через плазматическую мембрану против градиента концентрации. Аргументируйте свой ответ.



Это интересно



Помимо сжигания органического топлива, человечество для получения энергии использует гидроэлектростанции: вода, накопленная по одну сторону плотины, стекает вниз и вращает турбины, производя электроэнергию. Интересно отметить, что клетки научились использовать этот принцип задолго до появления человека как биологического вида: окисление НАДН и ФАДН₂ в дыхательной цепи митохондрий сопровождается переносом протонов через внутреннюю мембрану из матрикса в межмембранное пространство митохондрий и созданием на мембране градиента их концентрации. Сама мембрана при этом выступает в качестве плотины. Когда протоны «текут» внутрь митохондрий по градиенту концентрации через специальный канал в молекуле фермента АТФ-синтетазы, они вращают этот фермент так же, как и вода вращает турбину. Это и обеспечивает синтез АТФ.

Итак, основу энергетического обмена в клетках составляют последовательно протекающие *окислительно-восстановительные реакции*. В цепи таких реакций в анаэробных условиях одни органические вещества окисляются (теряют атомы водорода), а другие (как правило, НАД⁺ и ФАД) восстанавливаются (присоединяют атомы водорода). В аэробных условиях восстановленные НАДН и ФАДН₂ сами окисляются в митохондриях, отдавая электроны кислороду, который восстанавливается с образованием воды. Выделяемая при этом энергия частично рассеивается в виде тепла, а частично запасается в виде макроэргических связей АТФ.

На разных этапах развития организмов процессы пластического и энергетического обмена могут протекать с разной интенсивностью. Например, в растущем организме процессы пластического обмена преобладают над процессами энергетического обмена. Это обеспечивает рост организма и накопление им различных органических веществ. Ярким примером смены преобладания одного из процессов является зимняя спячка млекопитающих (суслики, сурки, летучие мыши и т. д.). Весной и в начале лета при изобилии кормов эти животные размножаются, интенсивно растут и накапливают значительные запасы питательных веществ (в основном в виде жиров), т. е. процесс ассимиляции значительно преобладает над диссимиляцией. Вместе с тем во время зимней спячки, когда корма для них недоступны, животные расходуют накопленные запасы жира для получения энергии, необходимой для поддержания температуры тела и постоянства внутренней среды, т. е. энергетический обмен значительно преобладает над пластическим. За время спячки масса тела может уменьшиться на 40—50 %.

Преобладание диссимиляции над ассимиляцией наблюдается при интенсивной мышечной работе (поэтому при тяжёлом физическом труде необходимо усиленное питание), а также при старении организмов, которое часто сопровождается истощением и уменьшением массы тела. Таким образом, две стороны обмена веществ — пластический и энергетический — неразрывно связаны друг с другом. Они протекают непрерывно и одновременно, хотя и с разной интенсивностью на разных стадиях клеточного цикла или развития организмов.



§22

Энергетический обмен в клетке. Гликолиз и окислительное фосфорилирование

Вспомните:

1. Какова химическая природа АТФ?
2. Какие химические связи называют макроэргическими?
3. В каких клетках АТФ больше всего?

Энергетический обмен. Основным источником энергии для большинства животных и человека являются углеводы. Они полностью «сгорают» до углекислого газа и воды, не образуя токсических продуктов. Условно процесс их утилизации можно разделить на три этапа: *подготовительный*, *анаэробный* (или *бескислородный*) и *аэробный* (или *кислородный*). У человека на подготовительном этапе поступающие с пищей олигосахариды (сахароза, лактоза) и полисахариды (гликоген, крахмал) расщепляются пищеварительными ферментами желудочно-кишечного тракта до мономеров (глюкозы, фруктозы, галактозы), которые всасываются в кровь и поступают в клетки (рис. 81). Дальнейшие превращения глюкозы происходят в процессе гликолиза.

Гликолиз — это анаэробный ферментативный путь расщепления глюкозы до молочной кислоты (лактата), сопровождающийся выделением энергии, запасаемой в виде АТФ.

У млекопитающих он наиболее интенсивно протекает в скелетных мышцах, печени, сердце, эритроцитах, сперматозоидах, а также в клетках раковых опухолей. Этот процесс идёт в цитоплазме клеток и не требует присутствия кислорода и мембранных структур.

Условно гликолиз можно разделить на две стадии: на первой глюкоза расщепляется на две молекулы трёхуглеродных сахаров, а на второй, в результате окисления этих сахаров до молочной кислоты, образуются АТФ. Накапливаемый в качестве промежуточного продукта восстановленный НАДН при образовании молочной кислоты окисляется до НАД^+ , который снова возвращается в гликолиз (рис. 82).

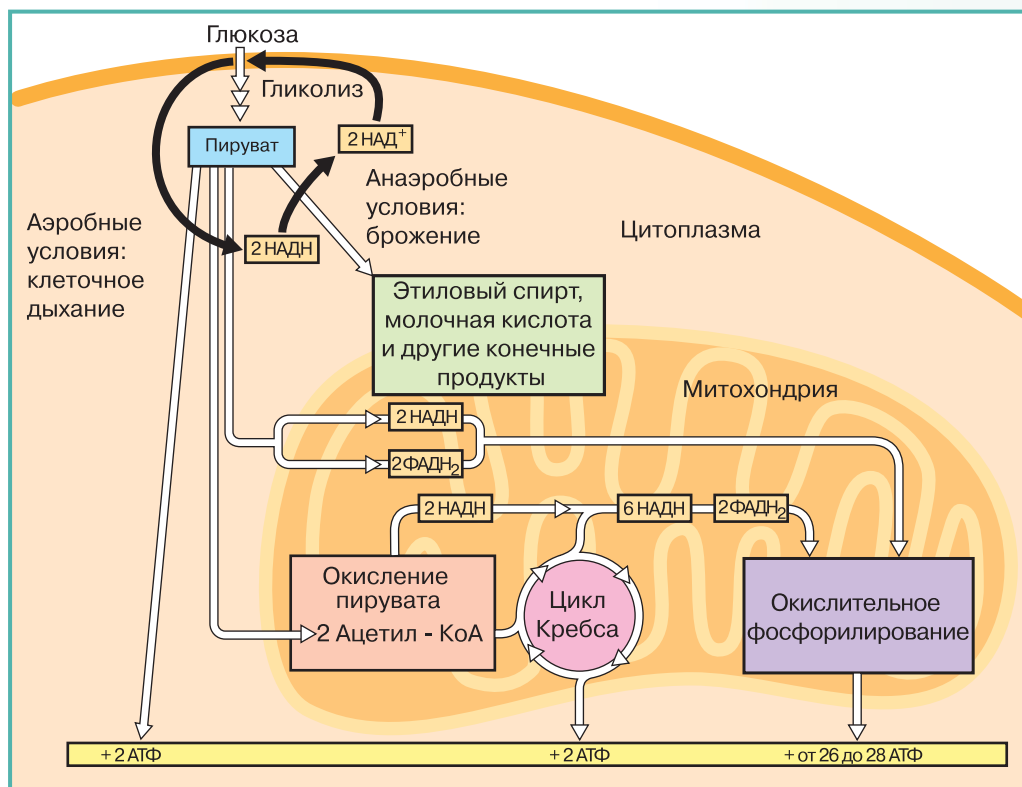


Рис. 81. Общая схема энергетического обмена в клетке

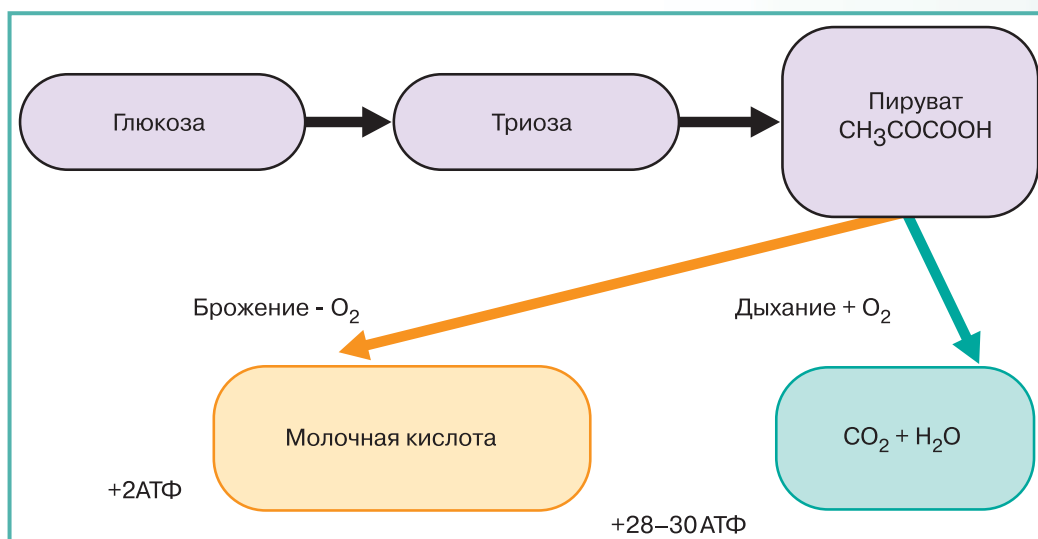


Рис. 82. Общая схема гликолиза

При наличии достаточного количества кислорода НАДН может окисляться в дыхательной цепи митохондрий. В таком случае гликолиз заканчивается на стадии образования не молочной, а пировиноградной кислоты (пирувата),



которая поступает в митохондрии, где вступает в цикл Кребса и полностью окисляется до CO_2 . При интенсивной работе кровеносная система не успевает доставлять в скелетные мышцы достаточное количество кислорода, поэтому в них накапливается большое количество молочной кислоты. Именно она является виновницей болей в мышцах после больших физических нагрузок.

Суммарный *энергетический выход гликолиза составляет 2 молекулы АТФ* на одну молекулу глюкозы. Необходимая для синтеза АТФ энергия выделяется в результате внутримолекулярного окисления альдегидной группы трёхуглеродного сахара до карбоксильной.

Следующим за гликолизом этапом энергетического обмена является **клеточное дыхание**, или биологическое окисление, — кислородный этап окисления органических соединений.

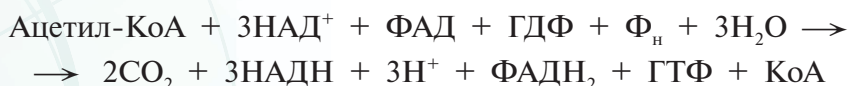
У растений, животных и большинства аэробных микроорганизмов оно начинается с отщепления CO_2 (декарбоксилирования) от молекулы пировиноградной кислоты (пирувата), которая образуется в процессе гликолиза, т. е. гликолиз является необходимой подготовительной стадией клеточного дыхания при расщеплении углеводов. В результате этой реакции от пирувата отщепляется CO_2 , а образовавшийся двухуглеродный остаток уксусной кислоты (ацетил-радикал) присоединяется к молекуле универсального переносчика углеводородных радикалов — кофермента А — с образованием ацетил-кофермента А (*ацетил-КоА*). Ацетил-КоА образуется и при окислении жирных кислот, которые также являются субстратами клеточного дыхания. Данные процессы сопровождаются образованием НАДН.

Дальнейшее окисление ацетил-КоА происходит в матриксе митохондрий в *цикле Кребса*, а НАДН — в дыхательной цепи митохондрий. В цикл Кребса (названный в честь немецкого биохимика *Ганса Кребса*) на различных стадиях могут вступать углеводородные скелеты всех аминокислот. Таким образом, там сходятся пути окисления углеводов, жиров и белков.

Цикл Кребса — сложный многоступенчатый окислительно-восстановительный процесс, в результате которого остаток уксусной кислоты, получаемый от ацетил-КоА, полностью окисляется до двух молекул CO_2 с образованием трёх молекул НАДН, одной молекулы ФАДН₂ и одной молекулы ГТФ (гуанозинтрифосфата — вещества, похожего на АТФ, где вместо аденина присутствует гуанин).

Все ферменты цикла Кребса, как и ферменты окисления жирных кислот, локализованы в матриксе митохондрий, а один из них, *сукцинат дегидрогеназа*, находится во внутренней митохондриальной мембране.

Суммарную реакцию цикла Кребса можно описать следующим уравнением:



Освобождаемая при окислении ацетил-КоА энергия запасается в виде одной молекулы ГТФ (которая может превращаться в АТФ) и четырёх молекул восстановительных эквивалентов (3 молекулы НАДН и одна ФАДН₂), которые

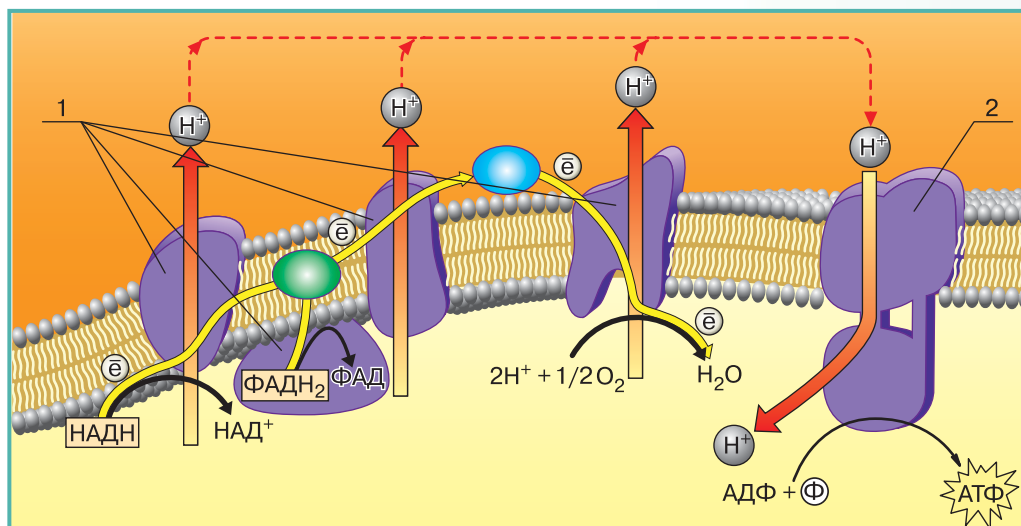


Рис. 83. Цепь переноса электронов: 1 — белки цепи переноса электронов, 2 — АТФ-синтетаза

могут использоваться в различных процессах биосинтеза или окисляться. Их окисление происходит в **дыхательной цепи** (цепи переноса электронов) митохондрий, расположенной во внутренней митохондриальной мембране.

Работа дыхательной цепи митохондрий заключается в окислении НАДН, т. е. в «отрывании» от него электронов, и переносе их на молекулу кислорода (рис. 83). Долгое время учёные считали, что у аэробных бактерий дыхательная цепь расположена в специальных структурах плазматической мембраны — *мезосомах*, однако, когда было выяснено, что эти структуры есть не что иное, как артефакт (см. § 20), стало понятно, что эта цепь расположена просто на отдельных участках мембраны. В общих чертах она напоминает дыхательную цепь митохондрий.

Окислительное фосфорилирование начинается с окисления НАДН в дыхательной цепи митохондрий, т. е. с отщепления от него двух электронов и протона (H^+). Окончательным акцептором этих электронов является O_2 , который соединяется с находящимися в матриксе ионами H^+ с образованием H_2O .

«Отрываемые» от НАДН электроны передаются в дыхательной цепи от переносчика к переносчику, теряя при этом свой восстановительный потенциал. Часть выделяемой при этом энергии рассеивается в виде тепла. Кроме того, значительная часть энергии тратится на создание на внутренней мембране митохондрий разности концентраций протонов (электрохимического потенциала) за счёт их переноса в нескольких пунктах дыхательной цепи из матрикса в межмембранное пространство.

В результате работы дыхательной цепи митохондрий концентрация H^+ в межмембранном пространстве существенно превышает их концентрацию в матриксе, что создаёт направленный внутрь митохондрий градиент концентрации протонов. Мембрана митохондрий для них непроницаема, поэтому её можно сравнить с плотиной гидроэлектростанции, удерживающей воду в водохранилище.

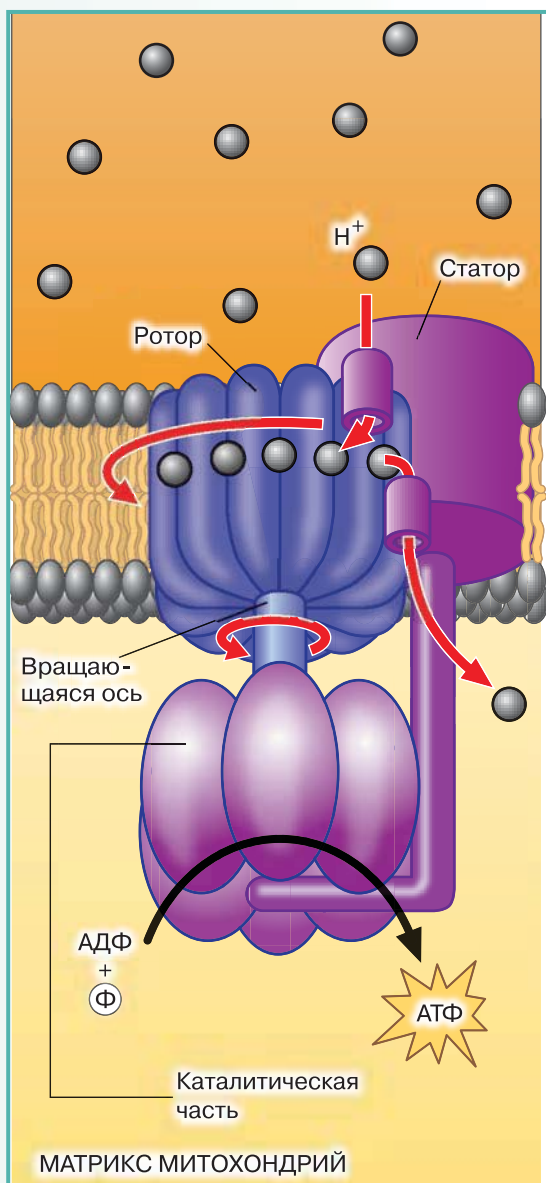


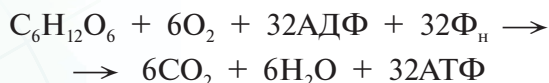
Рис. 84. Принцип работы АТФ-синтетазы

Энергия этого градиента используется ферментом *АТФ-синтетазой*, которая по градиенту концентрации пропускает в матрикс ионы H^+ и синтезирует АТФ из АДФ и Φ_n (рис. 84).

Кроме того, часть энергии градиента концентрации протонов тратится на перенос через внутреннюю мембрану митохондрий различных веществ, в частности неорганического фосфата, необходимого для синтеза АТФ. Синтез АТФ в митохондриях ферментом АТФ-синтетазой называют *окислительным фосфорилированием*, подчёркивая связь этого процесса с окислением органических субстратов.

За счёт окисления в дыхательной цепи 1 молекулы НАДН можно синтезировать 2,5 молекулы АТФ, а за счёт окисления 1 молекулы ΦADH_2 — 1,5 молекулы АТФ. Учитывая весь НАДН, образующийся в гликолизе, при отщеплении CO_2 от пировиноградной кислоты и в цикле Кребса, ΦADH_2 и ГТФ, образующиеся в цикле Кребса, легко подсчитать, что в результате полного окисления глюкозы до углекислого газа и воды образуется большое количество АТФ — **32 молекулы**. Две из них синтезируются в процессе гликолиза, а остальные 30 — при окислении пирувата в митохондриях. Отсюда видно, насколько полное окисление глюкозы при клеточном дыхании энергетически выгоднее по сравнению с бескислородным процессом*.

Итоговое уравнение этого процесса будет выглядеть следующим образом:



Эффективность полного окисления глюкозы до углекислого газа и воды очень высока: от 55 до 70 % высвобождающейся энергии (в зависимости от условий) запасается в виде макроэргических связей в молекулах АТФ; остальная энергия рассеивается в виде тепла.

* До недавнего времени считалось, что при полном окислении одной молекулы глюкозы образуется 38 молекул АТФ (эта цифра встречается во многих учебниках). Однако уточнённая в результате новых исследований цифра оказалась меньше — 32 молекулы АТФ на одну молекулу глюкозы.



ГЛИКОЛИЗ ● КЛЕТОЧНОЕ ДЫХАНИЕ ● ЦИКЛ КРЕБСА ● ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ ● ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ



ПОДУМАЙТЕ

Почему при интенсивной физической работе появляется одышка? О чём это свидетельствует? Можно ли с этим бороться?

Моя лаборатория

Тренируемся

1. Откуда берётся энергия для синтеза АТФ из АДФ?
2. Какие этапы выделяют в энергетическом обмене?
3. В чём различия энергетического обмена аэробов и анаэробов?

Совершенствуемся

1. Во сколько раз клеточное дыхание эффективнее гликолиза в энергетическом плане?
2. Сравните процессы аэробного и анаэробного окисления. Ответ представьте в виде таблицы.
3. В клетках каких организмов происходит спиртовое брожение?
4. Установите соответствие между признаком энергетического обмена и его этапом.

ПРИЗНАКИ ОБМЕНА	ЭТАПЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА
А) расщепляется пировиноградная кислота до углекислого газа и воды Б) расщепляется глюкоза до пировиноградной кислоты В) синтезируются 2 молекулы АТФ Г) синтезируются 32 молекулы АТФ Д) происходит в митохондриях Е) происходит в цитоплазме	1) гликолиз 2) кислородное расщепление



Обсуждаем

Известно, что при биологическом окислении 50 % энергии выделяется в виде теплоты. Почему она не повреждает чувствительные к нагреванию белки и другие вещества клетки? Ответ обоснуйте.

Это интересно

Спиртовое брожение. По аналогии с гликолизом протекают процессы брожения у различных микроорганизмов. Например, в большинстве растительных клеток, а также в клетках некоторых грибов (дрожжей) происходит *спиртовое брожение*, при котором молекула глюкозы в анаэробных условиях превращается в этиловый спирт и CO_2 .



Существуют и такие микроорганизмы, в клетках которых в анаэробных условиях образуется не молочная кислота и не этиловый спирт, а, например, уксусная кислота или ацетон и т. д. Однако во всех этих случаях распад одной молекулы глюкозы так же, как и в случае гликолиза, приводит к запасанию двух молекул АТФ.

В результате ферментативного бескислородного расщепления глюкоза распадается не до конечных продуктов (CO_2 и H_2O), а до соединений, которые ещё богаты энергией и, окисляясь далее, могут дать её в больших количествах (молочная кислота, этиловый спирт и др.).

Брожение играет важную роль в круговороте веществ в природе (анаэробная деградация целлюлозы и других органических веществ), а также широко применяется в практике. В течение многих веков спиртовое брожение используется в виноделии, пивоварении, выпечке хлеба (а в последнее время — при получении топлива); *молочнокислое* — для получения кисломолочных продуктов, при квашении капусты, солении огурцов, силосовании кормов для скота; *пропионово-кислое* — в сыроделии и т. д.

Для энергетического обмена, т. е. для получения энергии в виде АТФ, большинство организмов используют углеводы. Однако для этих же целей могут быть использованы также липиды и белки, последовательное окисление которых тоже приводит к образованию АТФ. Это происходит редко потому, что мономеры белков, т. е. аминокислоты, слишком нужны клетке для синтеза собственных белковых структур. Так что данные соединения представляют собой «неприкосновенный запас» клетки и редко расходуются для получения энергии.



Типы клеточного питания.

Фотосинтез и хемосинтез

§ 23

Вспомните:

1. Какие виды автотрофного питания вы знаете?
2. Как называются органоиды клетки, в которых происходит фотосинтез?
3. Какое строение имеют хлоропласты?

Типы питания. Как мы уже говорили (см. § 21), значительная часть веществ, поступающих в клетку извне, нужна ей не только для получения необходимой для жизнедеятельности энергии, но и для построения своих собственных структур. По способу их получения, т. е. по типу *питания*, все живые клетки, а точнее, организмы, которым они принадлежат, подразделяют на *автотрофов* и *гетеротрофов*.

Автотрофы могут сами синтезировать необходимые им органические вещества, получая из окружающей среды углерод в виде CO_2 , воду и минеральные соли. При этом если для них одним из источников энергии для реакций биосинтеза служит солнечный свет, то такие организмы называют *фототрофами* или *фотосинтетиками*. Другие автотрофы используют для синтеза органических веществ энергию, высвобождающуюся в ходе химических превращений неорганических соединений. Их называют *хемотрофами* или *хемосинтетиками*.

Гетеротрофы не могут сами синтезировать весь набор необходимых им для жизнедеятельности органических веществ. Они поглощают их из окружающей среды в готовом виде, а затем строят из них собственные белки, липиды, углеводы и др. К гетеротрофам относятся животные, грибы и многие бактерии. У зелёных растений к фототрофному питанию способны только клетки, содержащие хлорофилл. Остальные же (например, клетки корня) так питаться не могут. Они получают органические вещества из других органов, имеющих автотрофные клетки, т. е. сами являются гетеротрофами.

Хемосинтез — тип автотрофного питания, свойственный некоторым бактериям, способным усваивать CO_2 как единственный источник углерода за счёт энергии окисления неорганических соединений. Открытие хемосинтеза в 1887 г. русским учёным-микробиологом *Сергеем Николаевичем Виноградским* (1856—1953) существенно изменило представления об основных типах обмена веществ у живых организмов. Окисляя неорганические вещества, хемосинтети-



ки получают восстановительные эквиваленты (в виде НАДН) и энергию, которая запасается в виде АТФ, за счёт переноса электронов по цепи дыхательных ферментов, встроенных в клеточную мембрану бактерий. Биосинтез органических соединений при хемосинтезе осуществляется так же, как при фотосинтезе, в результате автотрофной ассимиляции CO_2 (цикл Кальвина, см. ниже).

Бактерии, способные к хемосинтезу, не являются единой группой. Они могут окислять водород, восстановленные соединения серы, аммиак, нитриты, железо, марганец и др.

Водородные бактерии — наиболее многочисленная и разнообразная группа хемосинтезирующих организмов, окисляющих водород, образующийся при анаэробном разложении органических остатков. По сравнению с другими автотрофными микроорганизмами характеризуются высокой скоростью роста и могут давать большую биомассу.

Серобактерии окисляют восстановленные соединения серы (сероводород, молекулярную серу). Изучение именно этой группы бактерий привело С. Н. Виноградского к открытию явления хемосинтеза. Выделяющаяся в результате реакции свободная сера накапливается в клетках бактерий в виде множества крупинок. При недостатке сероводорода серобактерии производят дальнейшее окисление находящейся в них свободной серы до серной кислоты.

Серобактерии могут жить в океанах на огромной глубине, в тех местах, где из разломов земной коры в воду выходит сероводород («чёрные курильщики»). Конечно, свет не может проникнуть в воду на глубину около 10 км и фотосинтез там невозможен, поэтому именно серобактерии являются первичными продуцентами органического вещества в экосистемах «чёрных курильщиков». Таким образом, они — единственные организмы на Земле, не зависящие от энергии солнечного света.

Нитрифицирующие бактерии обитают в почве и водоёмах и превращают аммиак и аммонийные соли в нитраты. Жизнедеятельность этих бактерий представляет собой один из важнейших факторов плодородия почв. Превращение аммиака в нитраты — нитрификация — осуществляется в две стадии. Сначала нитритные бактерии окисляют аммиак (NH_3) до нитрита (NO_2^-). На второй стадии другая группа нитрифицирующих микроорганизмов — нитратные бактерии — окисляет нитрит (NO_2^-) до нитрата (NO_3^-).

Подобно другим хемоавтотрофам, нитрифицирующие бактерии за счёт энергии окисления могут усваивать углерод атмосферы (CO_2) или карбонатов и использовать его для синтеза органических веществ, входящих в состав клетки.

Таким образом, хемосинтезирующим бактериям принадлежит ведущая роль в биогеохимических циклах различных химических элементов в биосфере. Так, **железобактерии**, окисляя двухвалентное железо до трёхвалентного, обеспечивают образование залежей железных руд.

Фотосинтез — способ автотрофного питания, свойственный растениям, цианобактериям и фотосинтезирующим бактериям, при котором для синтеза органических веществ из неорганических (углеводов из углекислого газа и воды) используется энергия солнечного света (рис. 85).

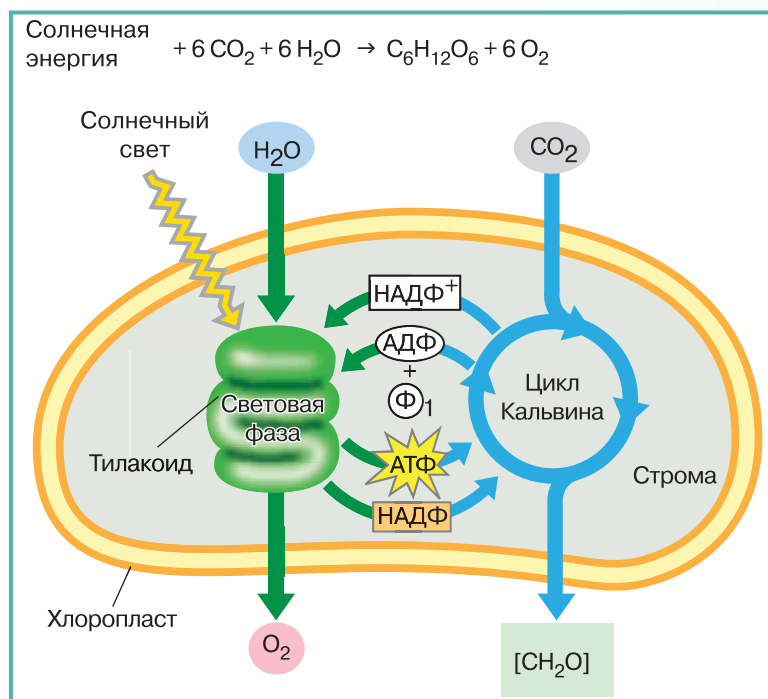


Рис. 85. Общая схема фотосинтеза

Суммарное уравнение фотосинтеза можно записать в следующем виде:



Все реакции фотосинтеза у эукариотов протекают в специализированных органоидах растительных клеток — *хлоропластах*. Хлоропласты имеют двойную мембрану, причём внутренняя образует систему замкнутых уплощённых сферических пузырьков, называемых *тилакоидами*, которые уложены в стопки — *граны*. В мембране тилакоидов находятся специальные белково-пигментные комплексы, улавливающие свет и превращающие его энергию в энергию макроэргических связей в молекуле АТФ и в энергию восстановительных эквивалентов (атомов водорода), запасаемых молекулой НАДФН. У прокариотов такие белково-пигментные комплексы расположены в плазматической мембране и её выростах. Процесс фотосинтеза можно условно подразделить на две фазы — световую и темновую.

В **световой фазе**, протекающей только на свету, энергия света превращается в энергию АТФ и восстановительных эквивалентов (НАДФН). Побочный продукт этой реакции, молекулярный кислород, выделяется фотосинтезирующими растениями также только на свету. **Темновая фаза** фотосинтеза протекает как на свету, так и в темноте, когда из углекислого газа синтезируется глюкоза с затратой АТФ и НАДФН, накопленных во время световой фазы.

Мембраны тилакоидов содержат большое количество белков и низкомолекулярных пигментов, как свободных, так и связанных с белками, которые объединены в два сложно устроенных комплекса, называемых *фотосистема I* и



фотосистема II. Ядром каждой из этих фотосистем является белок, содержащий зелёный пигмент **хлорофилл**, способный поглощать свет в красной области спектра. Входящие в состав фотосинтетических комплексов разнообразные пигменты могут улавливать даже слабый свет и передавать его энергию на хлорофилл, поэтому фотосинтез идёт даже при не очень интенсивном освещении (в пасмурную погоду или в тени под кронами деревьев).

Поглощение кванта света молекулами хлорофилла в реакционном центре фотосистемы II приводит к её возбуждению, т. е. к переходу одного из электронов на более высокий энергетический уровень. Этот электрон передаётся на цепь переносчиков электронов. Как и в случае аналогичного процесса, происходящего в митохондриях (см. § 22), передача электрона от переносчика к переносчику сопровождается снижением его энергии, часть из которой тратится на перенос через мембрану протонов из стромы хлоропласта внутрь тилакоида. Таким образом, на мембране тилакоида возникает *градиент концентрации протонов*, который может использоваться специальным ферментом *АТФ-синтетазой* для синтеза АТФ из АДФ и неорганического фосфата, т. е. в хлоропластах реализуется тот же принцип плотины, который был рассмотрен нами выше на примере митохондрий. Синтез АТФ во время световой фазы фотосинтеза называют *фотофосфорилированием*.

Восстановление окисленного (потерявшего электрон) хлорофилла фотосистемы II происходит в результате работы специального фермента, способного разлагать молекулу воды, отбирая у неё электроны:



Этот процесс, получивший название *фотолиза воды*, происходит на внутренней стороне мембраны тилакоидов. Он приводит к дополнительному увеличению градиента концентрации протонов на мембране, т. е. к дополнительному синтезу АТФ.

Таким образом, «поставщиком» электронов для хлорофилла является вода. Побочный продукт этой реакции — молекулярный кислород — за счёт диффузии покидает хлоропласты и выделяется через устьица в атмосферу.

Электроны, отрывающиеся от хлорофилла фотосистемы II, пройдя по цепи переносчиков, попадают в реакционный центр фотосистемы I, который также содержит молекулы хлорофилла. Они поглощают квант света, энергия которого передаётся одному из электронов, поднимая его на более высокий энергетический уровень. По цепи специальных белков-переносчиков электрон переходит к молекуле НАДФ⁺, которая, получив в следующем цикле ещё один электрон и захватив протон из стромы хлоропласта, восстанавливается до НАДФН (рис. 86).

Итак, электроны, «оторванные» от молекулы воды, приобретают высокую энергию за счёт поглощения хлорофиллами фотосистем II и I квантов света и, пройдя по цепи переносчиков, восстанавливают НАДФ⁺. Часть энергии этих электронов попутно затрачивается на перенос через мембрану тилакоида протонов и создание градиента их концентрации, а энергия этого градиента используется для синтеза АТФ ферментом АТФ-синтетазой.

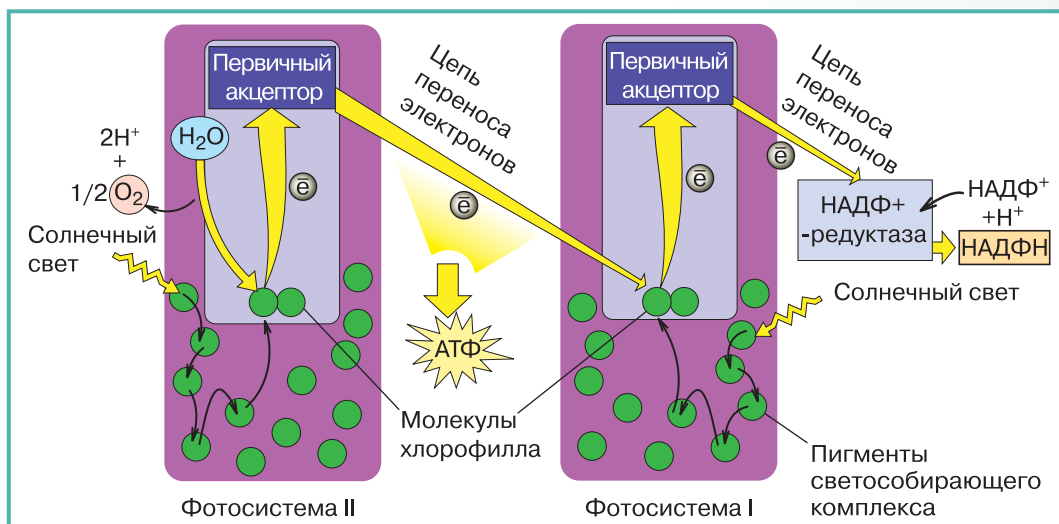
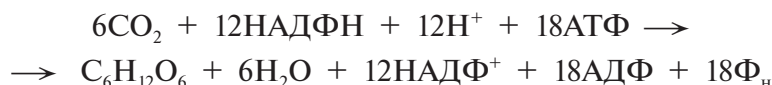


Рис. 86. Схема световой фазы фотосинтеза

Суммарным результатом световой фазы фотосинтеза являются: *синтез АТФ*, *накопление восстановительных эквивалентов в виде НАДФН* и *фотолиз воды*, приводящий к образованию молекулярного кислорода как побочного продукта. Для протекания всех этих процессов необходима энергия солнечного света.

За световой фазой следует темновая фаза фотосинтеза — *синтез глюкозы* из углекислого газа с затратой энергии АТФ и восстановительных эквивалентов (НАДФН). Получение глюкозы осуществляется в результате ряда последовательных ферментативных реакций, получивших название **цикла Кальвина** (по имени его открывателя, американского биохимика *Мелвина Кальвина*). Если в цикле Кребса в митохондриях от молекул органических кислот отрываются молекулы углекислого газа, а промежуточные продукты цикла последовательно окисляются с присоединением отрываемых от них атомов водорода к НАД⁺ (образуется НАДН), то в цикле Кальвина, наоборот, к молекулам субстрата присоединяется СО₂ и они восстанавливаются за счёт НАДФН (образуется НАДФ⁺).

На образование *одной молекулы глюкозы* затрачивается *18 молекул АТФ* и *12 молекул НАДФН*, накопленных в процессе световой фазы фотосинтеза. Поэтому общее уравнение темновой фазы фотосинтеза можно записать в следующем виде:



Продуктивность фотосинтеза весьма высока: за 1 ч на 1 м² площади листвы синтезируется до 1 г сахаров, при этом часть энергии выделяется в виде тепла.

В результате фотосинтеза растения накапливают органические вещества и обеспечивают постоянство уровня СО₂ и О₂ в атмосфере (рис. 87). В верхних слоях воздушной оболочки Земли (на высоте 15—20 км) из кислорода образуется озон, имеющий химическую формулу О₃. Озоновый слой защищает все живые организмы от опасных для жизни ультрафиолетовых лучей.

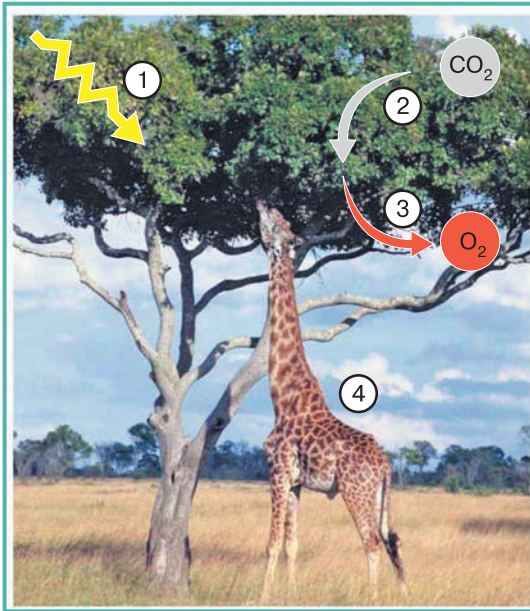


Рис. 87. Влияние фотосинтеза на биосферу: 1 — солнечный свет, 2 — автотроф (фототроф), 3 — фотосинтез, 4 — гетеротроф

Первичная атмосфера Земли в момент возникновения жизни (около 4 млрд лет назад) состояла, по-видимому, из азота, аммиака, метана, водорода и паров воды, но почти не содержала кислорода. И только тогда, когда в океане появились первые фотосинтезирующие прокариоты, а затем и эукариотические водоросли, она стала постепенно насыщаться кислородом. Когда содержание этого газа в атмосфере достигло 1 % от нынешнего (так называемая точка Пастера, которая была достигнута 1,8—1,5 млрд лет назад), у организмов, живших в то время, появилась возможность использовать его в процессах окисления органических соединений для получения энергии. Так возникло клеточное дыхание (см. § 22), которое дало живым существам во много раз больше энергии, чем бескислородные процессы.

В результате этого на нашей планете произошла так называемая «великая кислородная революция». Когда кислорода стало достаточно для того, чтобы мог возникнуть озоновый слой, защитивший от смертоносного действия ультрафиолета поверхности водоёмов и суши, то организмы, освоившие новые, энергетически более выгодные процессы, стали заселять поверхностный слой воды. Теперь у фототрофов фотосинтез стал проходить более интенсивно, так как, чем меньше слой воды, тем лучше он освещается солнцем.

Живые существа, которые стали использовать клеточное дыхание, значительно интенсифицировали все процессы жизнедеятельности. Это, по всей видимости, способствовало ускорению прогрессивной эволюции, в результате которой многократно возросло количество видов, обитающих в воде. Через какое-то время первые живые существа смогли выйти на сушу, которая уже была надёжно защищена от губительного воздействия ультрафиолета озоновым слоем атмосферы (800 млн лет назад). Так фототрофы создали тот мир, в котором мы живём.



**АВТОТРОФЫ • ГЕТЕРОТРОФЫ • ХЕМОСИНТЕЗ • ФОТОСИНТЕЗ •
СВЕТОВАЯ И ТЕМНОВАЯ ФАЗЫ ФОТОСИНТЕЗА • ХЛОРОФИЛЛ •
ЦИКЛ КАЛЬВИНА**

ПОДУМАЙТЕ

Можно ли связать между собой проблему фотосинтеза и проблему обеспечения продовольствием населения нашей планеты?



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Чем автотрофное питание отличается от гетеротрофного?
2. В чём суть процесса хемосинтеза?
3. Что представляла собой «великая кислородная революция»?
4. Какое соединение является источником углерода для сахаров, синтезированных в процессе фотосинтеза?

Совершенствуемся

1. Сравните процессы хемосинтеза и фотосинтеза. Ответ представьте в виде таблицы.
2. Сколько глюкозы, синтезируемой в процессе фотосинтеза, приходится на каждого из 7,3 млрд жителей Земли в год?
3. Используя ключевые слова параграфа, постройте основу схемы (ментальной карты), показывающей суть процесса фотосинтеза.
4. Установите правильную последовательность процессов фотосинтеза.
 - А) преобразование солнечной энергии в энергию АТФ
 - Б) образование возбуждённых электронов хлорофилла
 - В) фиксация углекислого газа
 - Г) образование крахмала
 - Д) преобразование энергии АТФ в энергию глюкозы

Это интересно

Кому нефть — топливо, а кому — еда. Особая группа хемосинтезирующих бактерий способна, питаясь нефтью, выделять сероводород, снижая тем самым качество нефти.

Сероводородная «бомба». Сульфатредуцирующие бактерии способны окислять водород с образованием H_2S . Именно они образовали огромное количество сероводорода, растворённого в воде придонных слоёв Чёрного моря. Если количество H_2S в Чёрном море будет возрастать, то всё живое в нём погибнет.

Дорожные «хулиганы». Обнаружены группы бактерий, способных питаться за счёт разложения веществ, содержащихся в асфальте, кирпичах и мраморе. Такие бактерии могут приносить ощутимый вред дорогам и постройкам.





Свет — источник жизни. В XIX в. *Юлиус Майер* сказал: «Свет — это вечно натянутая пружина, приводящая в действие механизмы земной жизни». Действительно, в процессе фотосинтеза одно, даже очень крупное растение производит совсем не так уж много углеводов. Однако если подсчитать, сколько энергии солнечного света улавливают и запасают все зелёные растения на Земле за год, то окажется, что для получения такого же количества энергии было бы необходимо 200 000 гидроэлектростанций. Эта энергия составила бы 2 квадра (миллиона миллиардов) квт·ч!

Скорее всего, на ранних этапах развития жизни на Земле фотосинтез был гораздо менее сложным процессом, чем тот, что наблюдается в настоящее время у зелёных растений. До сих пор у некоторых фотосинтезирующих бактерий имеется «упрощённый вариант» световой фазы фотосинтеза — циклическое фосфорилирование. Во время него квант света взаимодействует с ионом магния, входящим в активный центр бактериального хлорофилла, после чего один из электронов, приобретая энергию этого кванта, сходит со своей орбитали и тут же захватывается системой цитохромов. По цепочке этих переносчиков электрон возвращается на своё место в молекуле хлорофилла, а избыток энергии используется для синтеза АТФ из АДФ, т. е. для реакции фосфорилирования. Такое циклическое фосфорилирование является, по-видимому, древнейшим вариантом фотосинтеза.

Для успешного протекания реакций циклического фосфорилирования достаточно присутствия в бактериальной клетке **фотосистемы I**. Но, как мы знаем, у зелёных растений процесс фотосинтеза гораздо сложнее и в нём, помимо фотосистемы I, также задействована **фотосистема II**. Значит, этот вариант фотосинтеза появился куда позже, чем тот, про который мы рассказали выше.

Полезен ли лунный свет для растений? Яркий лунный свет часто помогает нам добраться до дома ночной порой. А вот используют ли растения этот солнечный свет, отражённый от луны? Оказывается, свет полной луны составляет всего одну шестистысячную долю от нормального дневного освещения в облачный день. Поэтому эффективность фотосинтеза даже в самую ясную ночь ничтожно мала. Но надо помнить, что многие растения поглощают необходимый для фотосинтеза CO_2 именно ночью, хотя и используют его днём.



Пластический обмен: биосинтез белков

§ 24

Вспомните:

1. Из чего состоят белки?
2. Что такое аминокислота?

Ген. Каждая клетка имеет набор специфических белков, характерных именно для неё, причём в разных клетках одного и того же организма могут синтезироваться совершенно разные наборы белков, специфичные именно для этих типов клеток. Информация о том, какие белки должны синтезироваться в клетках данного организма, хранится в ядре в хромосомах, она записана в виде последовательности нуклеотидов в ДНК.

Часть молекулы ДНК, последовательность нуклеотидов в которой определяет последовательность аминокислот в данном белке, называют **геном**.

Генетический код. Каким же образом одна последовательность мономеров нуклеотидов в ДНК может определять другую последовательность аминокислот? Известно, что ДНК состоит из четырёх видов нуклеотидов, т. е. информация в ней записывается четырьмя «буквами» (А, Г, Т, Ц). Легко видеть, что для кодирования одной аминокислоты требуется более одного нуклеотида, так как в белках обнаруживается 20 различных аминокислот. Поскольку из четырёх нуклеотидов можно сделать лишь 16 различных сочетаний по два нуклеотида ($4^2 = 16$), что меньше 20, то кодирующая аминокислоту последовательность должна состоять более чем из двух «букв». Если записывать кодирующее «слово» сочетанием трёх таких «букв» (нуклеотидов), то число различных вариантов будет составлять $4^3 = 64$, что больше 20. Таким образом, комбинации из трёх нуклеотидов достаточно, чтобы закодировать 20 аминокислот, и генетический код, как мы видим, действительно триплетный.

Набор сочетаний из трёх нуклеотидов, кодирующих определённые аминокислоты, называют кодом ДНК или **генетическим кодом**.

В настоящее время код ДНК полностью расшифрован, т. е. известно, какой именно триплет кодирует каждую из 20 аминокислот, которые входят в состав



белка. Оказалось, что многие аминокислоты кодируются более чем одним триплетом, т. е. генетический код вырожден (или избыточен). Есть среди них и те, которые кодируются 2, 3, 4 или даже 6 триплетами (табл. 3). И только две аминокислоты (триптофан и метионин) кодируются одним триплетом. Нужно отметить, что термин «вырожденный» не означает «неточный», так как один триплет не может кодировать две разные аминокислоты. Таким образом, генетический код ДНК однозначен.

Таблица 3

Генетический код

Первая «буква» в кодоне	Вторая «буква» в кодоне				Третья «буква» в кодоне
	У	Ц	А	Г	
У	Фенилаланин	Серин	Тирозин	Цистеин	У
	Фенилаланин	Серин	Тирозин	Цистеин	Ц
	Лейцин	Серин	Стоп	Стоп	А
	Лейцин	Серин	Стоп	Триптофан	Г
Ц	Лейцин	Пролин	Гистидин	Аргинин	У
	Лейцин	Пролин	Гистидин	Аргинин	Ц
	Лейцин	Пролин	Глутамин	Аргинин	А
	Лейцин	Пролин	Глутамин	Аргинин	Г
А	Изолейцин	Треонин	Аспарагин	Серин	У
	Изолейцин	Треонин	Аспарагин	Серин	Ц
	Изолейцин	Треонин	Лизин	Аргинин	А
	Метионин Старт	Треонин	Лизин	Аргинин	Г
Г	Валин	Аланин	Аспарагиновая кислота	Глицин	У
	Валин	Аланин	Аспарагиновая кислота	Глицин	Ц
	Валин	Аланин	Глутаминовая кислота	Глицин	А
	Валин	Аланин	Глутаминовая кислота	Глицин	Г



Существенная особенность генетического кода заключается в том, что в нём отсутствуют сигналы, отделяющие одно кодирующее «слово» (в молекуле иРНК такой триплет называют **кодоном**) от другого. Именно поэтому считывание информации должно начинаться с правильного места (стартового кодона) молекулы иРНК и продолжаться последовательно от одного кодона к другому. В противном случае последовательность нуклеотидов окажется изменённой во всех кодонах и, следовательно, изменится аминокислотная последовательность в молекуле белка.

Ещё одна особенность генетического кода заключается в том, что три кодона (УАА, УАГ и УГА) кодируют не аминокислоты, а своеобразные «знаки препинания». Они являются **стоп-кодонами**, которые сигнализируют рибосоме об окончании синтеза полипептидной цепи. Генетический код универсален, т. е. триплеты, кодирующие одну и ту же аминокислоту, одинаковы у всех живых существ: один и тот же кодон кодирует определённую аминокислоту как у человека, так и у вируса или растения.

Этапы матричного синтеза: транскрипция, сплайсинг, трансляция. Реакции матричного синтеза представляют собой реакции, идущие с использованием матрицы, в соответствии с которой осуществляется синтез новой структуры. Для синтеза белковых молекул необходимо осуществление реакций двух типов: транскрипции, которая необходима для переноса генетической информации из ядра в цитоплазму, и трансляции. Кроме того, к реакциям матричного синтеза относится реакция самоудвоения ДНК (репликация). При синтезе ДНК и синтезе иРНК в качестве матрицы используется одна из цепей ДНК, на которой происходит образование комплементарной ей цепи. Таким образом, в результате реакций матричного синтеза образуются структуры, построенные по строго определённому плану. Реакции матричного синтеза характерны лишь для живой природы, они обеспечивают передачу информации от одного поколения живых существ к другому (репликация), а также синтез молекул белков в соответствии с информацией, заложенной в генетическом материале.

Синтез белка осуществляется на рибосомах, расположенных в цитоплазме клетки. В то же время информация о последовательности аминокислот в белке хранится в ядре в ДНК. Перед началом синтеза определённого белка в ядре образуется так называемая матричная, или информационная, РНК, являющаяся посредником, переносящим информацию от ДНК к рибосомам. Молекула информационной РНК (иРНК) синтезируется с использованием в качестве матрицы определённого участка ДНК (гена). Затем молекула иРНК покидает ядро и перемещается в цитоплазму. Связываясь с рибосомами, она, в свою очередь, служит матрицей, на которой происходит синтез белка.

Синтез иРНК осуществляется в ядре с помощью фермента, называемого ДНК-зависимой РНК-полимеразой. Вновь синтезированная иРНК имеет нуклеотидный состав, комплементарный таковому участку молекулы ДНК, который выступает в роли матрицы. Таким образом, информация, имеющаяся в гене, переписывается на иРНК. Этот процесс называют **транскрипцией** (лат. *transcriptio* — переписывание). Во время транскрипции участок двухцепочечной

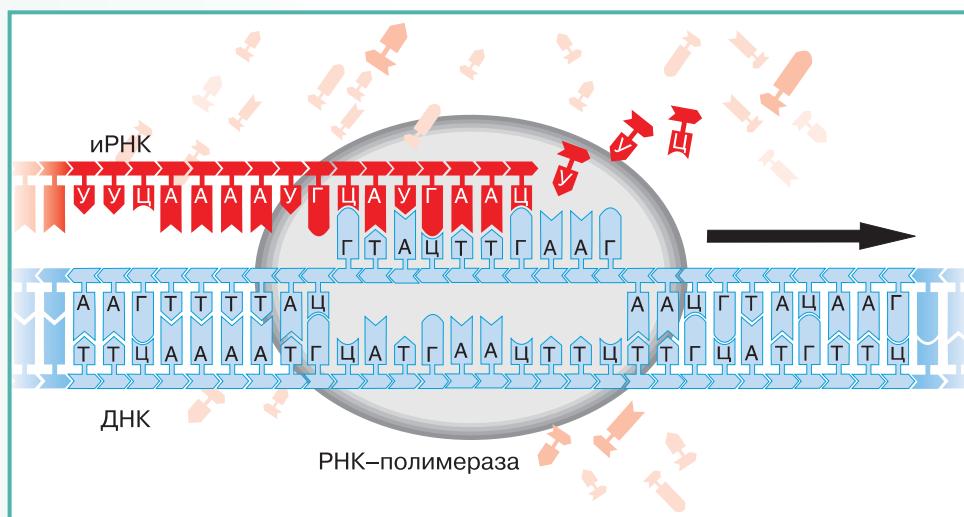


Рис. 88. Синтез информационной РНК на участке молекулы ДНК

ДНК «раскручивается», а затем на одной из цепочек по принципу комплементарности синтезируется молекула иРНК (рис. 88).

Это происходит так: напротив, например, **Г** молекулы ДНК становится **Ц** молекулы РНК, против **А** молекулы ДНК — **У** молекулы РНК (вспомните, что вместо тимина РНК несёт урацил, или **У**), против **Т** молекулы ДНК — **А** молекулы РНК и против **Ц** молекулы ДНК — **Г** молекулы РНК. В результате формируется цепочка иРНК, представляющая собой точную копию второй (нематричной) цепочки ДНК (только вместо тимина включён урацил), которая является молекулой-посредником. Так информация о последовательности аминокислот в белке переводится с языка ДНК на язык РНК.

Поскольку в одной молекуле ДНК может находиться множество генов, очень важно, чтобы ДНК-зависимая РНК-полимераза начала синтез иРНК со строго определённого места генетической последовательности, иначе в структуре молекулы-посредника будет записана информация о белке, которого нет в природе и который конечно же клетке совсем не нужен. Поэтому в начале каждого гена находится особая специфическая последовательность нуклеотидов, называемая **промотором**. РНК-полимераза узнаёт промотор, взаимодействует с ним и в результате начинает синтез цепочки иРНК с нужного места.

Фермент продолжает синтезировать иРНК, присоединяя к ней новые нуклеотиды, до тех пор, пока не дойдёт до особого участка молекулы ДНК — **терминатора**. Это последовательность нуклеотидов, указывающая на то, что синтез молекулы-посредника нужно прекратить.

У прокариотов синтезированные молекулы иРНК сразу же могут взаимодействовать с рибосомами и участвовать в синтезе белков. А вот у эукариотов всё куда сложнее: так как иРНК синтезируется в ядре, то она сначала взаимодействует со специальными ядерными белками и только потом переносится через ядерные поры в цитоплазму. Смысл этого взаимодействия заключается в том, что из иРНК вырезаются некоторые её участки (они называются *интроны*),



которые представляют собой некодирующие последовательности, а значит, при синтезе белка они не будут нужны. Оставшиеся кодирующие участки (их называют **экзоны**) сшиваются друг с другом в единую последовательность. Процесс такого «редактирования» молекулы матричной РНК получил название **сплайсинг** (от англ. *splice* — сращивать или склеивать концы чего-либо). Только после него в эукариотических клетках молекула иРНК может принимать участие в дальнейших этапах биосинтеза белка, т. е. в трансляции.

Термином **трансляция** (от лат. *translatio* — перевод) в биологии обозначают реакции, в результате которых в рибосомах с использованием в качестве матрицы иРНК осуществляется синтез полипептидной цепи (перевод с языка последовательности нуклеотидов на язык последовательности аминокислот). Эта полипептидная цепь удлиняется в процессе синтеза путём последовательного присоединения отдельных аминокислотных остатков. Для того чтобы понять, каким образом осуществляется образование пептидной связи между соответствующими аминокислотами, необходимо рассмотреть структуру рибосом и транспортных РНК (тРНК), участвующих в процессе трансляции.

Рибосомная РНК. Каждая рибосома состоит из двух субъединиц: большой и малой, которые собираются вместе только в процессе синтеза белка. В состав каждой субъединицы входят рибосомная РНК и множество белков. Некоторые рибосомные белки выполняют каталитические функции, т. е. являются ферментами. Основная функция малой субъединицы — расшифровка генетической информации. Она связывает иРНК и тРНК, несущие аминокислоты (рис. 89). Функция большой субъединицы — образование пептидной связи между аминокислотами, принесёнными в рибосому двумя соседними молекулами тРНК.

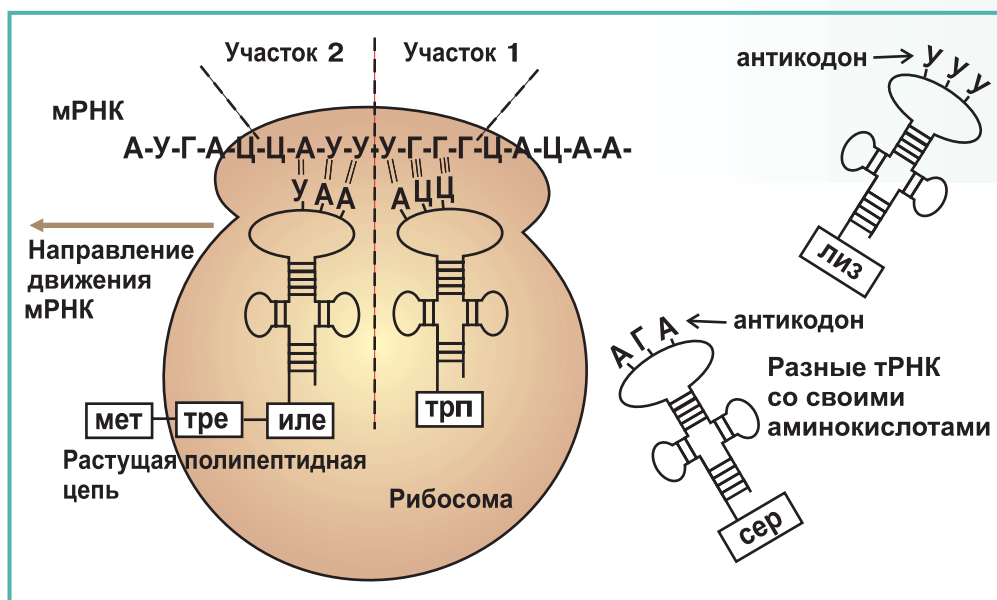


Рис. 89. Взаимодействие информационной (матричной) и транспортной РНК во время синтеза белка



Транспортная РНК. Молекулы транспортных РНК невелики, они состоят из 70—90 нуклеотидов. Функция тРНК заключается в том, чтобы в процессе синтеза полипептидной цепи переносить на рибосомы определённые аминокислоты, при этом каждая аминокислота переносится соответствующей тРНК. Все молекулы тРНК способны образовывать характерную конформацию — «клеверного листа». Такая конформация молекулы тРНК возникает потому, что в её структуре имеется значительное количество нуклеотидов (по 4—7 в одном участке), комплементарных друг другу. Внутримолекулярное спаривание таких нуклеотидов за счёт образования водородных связей между комплементарными основаниями и приводит к образованию подобной структуры.

У верхушки «клеверного листа» располагается триплет нуклеотидов, который комплементарен кодону иРНК, кодирующему аминокислоту. Этот триплет различен для тРНК, переносящих разные аминокислоты, и соответствует именно той аминокислоте, которая переносится данной тРНК. Он называется **антикодоном**.

У основания «клеверного листа» находится участок, в котором связывается аминокислота. Таким образом, молекула тРНК не только переносит определённую аминокислоту, она имеет в своей структуре запись о том, что она переносит именно эту аминокислоту, причём запись сделана на языке генетического кода.

Синтез белка. Как уже говорилось, рибосомы способны связывать иРНК, несущую информацию об аминокислотной последовательности синтезируемого белка, тРНК, доставляющие аминокислоты, и, наконец, синтезируемую полипептидную цепь. Малая субъединица рибосомы связывает иРНК и тРНК, несущую первую аминокислоту полипептидной цепи (обычно это метионин), после чего происходит связывание большой субъединицы с образованием функционирующей (работающей) рибосомы.

Активный центр рибосомы, в котором осуществляется образование пептидной связи между двумя соседними аминокислотами, устроен таким образом, что в нём одновременно могут находиться два соседних кодона (триплета) иРНК. На первом этапе происходит связывание тРНК с иРНК за счёт взаимодействия кодон—антикодон. Поскольку антикодон, расположенный на тРНК, и кодон, находящийся на иРНК, комплементарны, между входящими в их состав азотистыми основаниями образуются водородные связи. На втором этапе аналогичным образом осуществляется связывание с соседним кодоном второй молекулы тРНК. При этом молекулы тРНК ориентируются в активном центре рибосомы таким образом, что карбоксильная ($-\text{COOH}$) группа первого аминокислотного остатка, связанного с первой тРНК, оказывается поблизости от свободной аминогруппы ($-\text{NH}_2$) аминокислотного остатка, входящего в состав второй тРНК. Таким образом, за счёт взаимодействия кодон—антикодон между последовательно расположенными кодонами иРНК и соответствующими антикодонами тРНК рядом оказываются именно те аминокислоты, которые последовательно закодированы в иРНК.

На следующем этапе в результате взаимодействия свободной аминогруппы, входящей в состав аминокислотного остатка вновь пришедшей тРНК, с карбоксильной группой аминокислотного остатка первой аминокислоты между



двумя аминокислотами, прикрепленными к соответствующим тРНК, образуется пептидная связь. Реакция осуществляется путём замещения, причём уходящей группой является молекула первой тРНК. В результате такого замещения вторая тРНК, несущая уже дипептид, остаётся связанной с рибосомой. Для осуществления этой реакции требуется фермент, который входит в состав большой субъединицы рибосомы.

На последнем этапе вторая молекула тРНК со связанным пептидом передвигается в участок, где была связана первая тРНК. Одновременно с этим в активном центре рибосомы оказывается следующий (в данном случае третий)

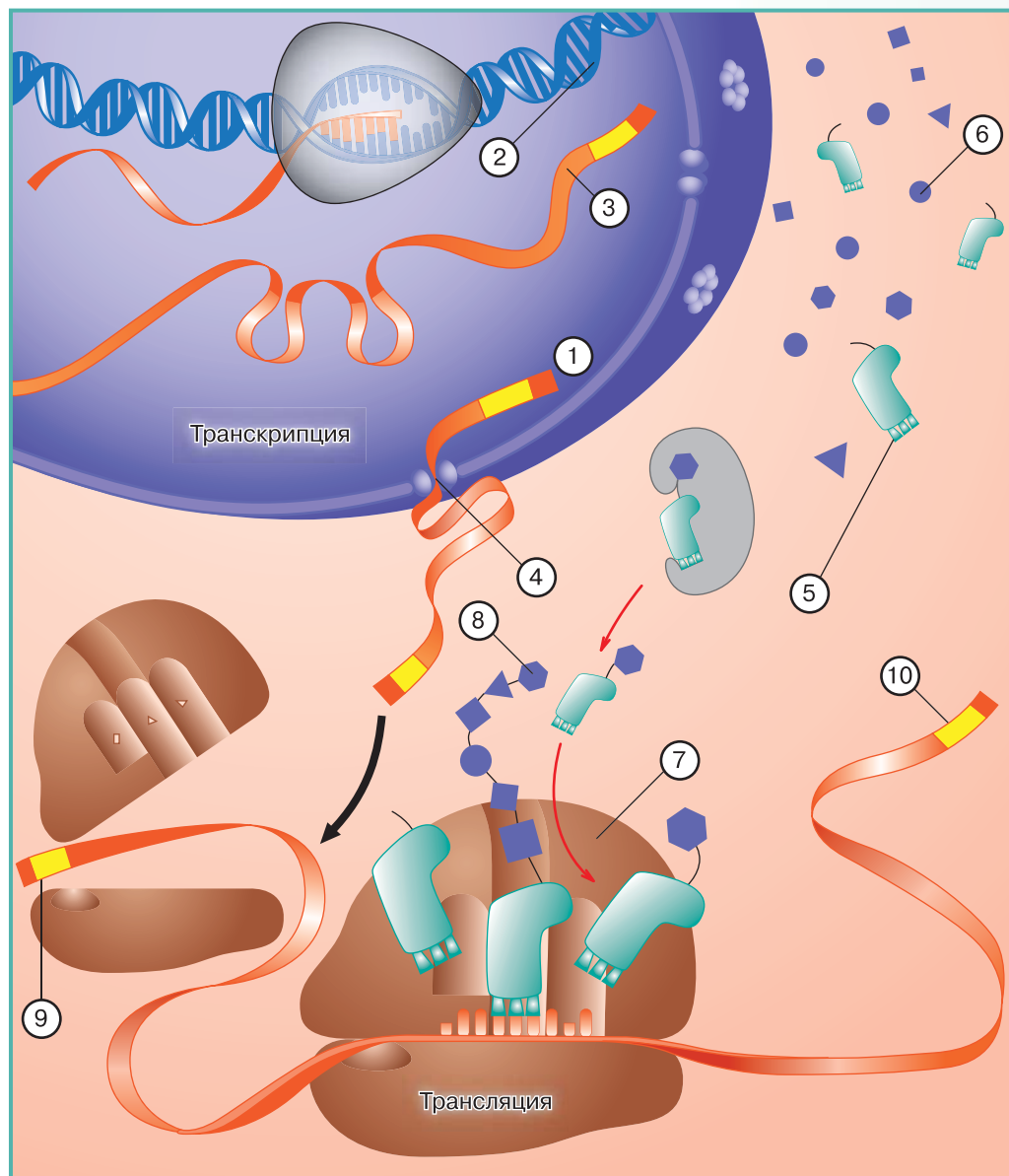


Рис. 90. Общая схема синтеза белка: 1 — ядро, 2 — ДНК, 3 — иРНК, 4 — ядерная пара, 5 — тРНК, 6 — аминокислота, 7 — рибосома, 8 — полипептидная цепь, 9 — старт-кодон, 10 — стоп-кодон



кодон иРНК, после чего описанные выше события повторяются. Синтез белка осуществляется с очень большой скоростью: пептид, состоящий из 100 аминокислот, собирается примерно за минуту (рис. 90).

По мере сборки полипептидной цепи рибосома передвигается вдоль нитевидной молекулы иРНК. Одновременно на одной молекуле иРНК может находиться несколько рибосом, каждая из которых осуществляет синтез полипептидной цепи, закодированной этой матрицей иРНК, в результате чего формируются **полисомы**: рибосомы, нанизанные на нить иРНК. Чем дальше по цепи молекулы-матрицы иРНК продвинулась рибосома, тем больший по длине фрагмент молекулы белка будет синтезирован.

Когда рибосома достигает конца молекулы иРНК, синтез белка заканчивается. Сигнал об окончании синтеза полипептидной цепи подаётся тремя специальными кодонами, один из которых присутствует в терминальной части молекулы иРНК. Считывание информации этой матрицы с молекулы иРНК возможно только в одном направлении. Рибосома, которая освободилась от иРНК и синтезированной полипептидной цепи, распадается на субъединицы, после чего большая субъединица снова может связаться с малой и образовать активную рибосому, способную синтезировать новый (или тот же самый) белок.

Мы уже упоминали, что все процессы синтеза, в результате которых из простых молекул образуются более сложные, осуществляются с затратой энергии. Биосинтез белка представляет собой цепь реакций, протекающих с затратой энергии. Так, для связывания аминокислоты с тРНК требуется энергия двух макроэргических связей молекулы АТФ. Кроме того, при образовании одной пептидной связи затрачивается энергия ещё двух макроэргических связей. Таким образом, для образования одной пептидной связи в молекуле белка требуется такое количество энергии, которое запасено в четырёх макроэргических связях молекул АТФ.

Итак, процесс биосинтеза белка ярко демонстрирует, что пластический и энергетический обмены неразрывно связаны между собой. Они представляют собой две стороны одного процесса — обмена веществ. Биосинтез белка, синтез нуклеиновых кислот, углеводов и жиров требует затрат энергии в виде макроэргических связей АТФ, а АТФ накапливается в процессе энергетического обмена. Вместе с тем для протекания разных стадий энергетического обмена необходимы белки-ферменты и различные внутриклеточные структуры (например, мембраны митохондрий с встроенными в них белками), которые являются продуктами пластического обмена.



ГЕН • ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД • КОДОН • АНТИКОДОН • ТРАНСКРИПЦИЯ • СПЛАЙСИНГ • ПРОМОТОР • ТЕРМИНАТОР • ТРАНСЛЯЦИЯ • СТОП-КОДОН • ПОЛИСОМА

ПОДУМАЙТЕ

Что произойдёт в клетке с синтезом белка, если один из нуклеотидов антикодона тРНК изменить



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Что такое ген?
2. Какой процесс называют транскрипцией?
3. Где и как происходит биосинтез белка?
4. Что такое стоп-кодон?
5. Сколько видов тРНК участвует в синтезе белков в клетке?
6. Из чего состоит полисом?
7. Почему в различных клетках какого-либо организма работает только часть генов?
8. Может ли существовать клетка, не способная к самостоятельному синтезу веществ?

Совершенствуемся

1. Установите последовательность аминокислот, которая зашифрована такой последовательностью нуклеотидов в иРНК:
—А—У—Г—Ц—А—У—У—Г—У—Ц—Г—А—Г—
2. Используя ключевые слова параграфа, постройте основу схемы (ментальной карты), показывающей суть регуляции транскрипции и трансляции.

Это интересно

Подсчитано, что все белки организма млекопитающего могут быть закодированы всего 2 % ДНК, содержащимися в его клетках. А для чего же нужны остальные 98 % ДНК? Оказывается, каждый ген устроен гораздо сложнее, чем считали раньше, и содержит не только тот участок, в котором закодирована структура какого-либо белка, но и специальные участки, способные «включать» или «выключать» работу каждого гена. Вот почему все клетки, например, человеческого организма, имеющие одинаковый набор хромосом, способны синтезировать разные белки: в одних клетках синтез иРНК происходит на одних генах, а в других — активируются совсем иные гены. Итак, в каждой клетке реализуется только часть генетической информации, содержащейся в её генах.





§ 25

Регуляция транскрипции и трансляции в клетке и организме

Вспомните:

1. Почему в отдельной клетке многоклеточного организма используется только часть генов?
2. Из скольких видов аминокислот состоят белки?
3. У каких организмов генотип включает одну молекулу ДНК?
4. Что такое генетический код?
5. Чем определяется специфичность каждого организма?

Оперон и репрессор. Известно, что набор хромосом, т. е. набор молекул ДНК, в норме одинаков во всех клетках одного организма. Следовательно, каждая клетка тела теоретически способна синтезировать любое количество каждого белка, свойственного данному организму. Однако этого никогда не происходит, так как клетки той или иной ткани должны иметь определённый набор белков, необходимый для выполнения их функции в многоклеточном организме, и ни в коем случае не синтезировать «посторонние» белки, которые свойственны клеткам других тканей. Например, в клетках корня необходимо синтезировать растительные гормоны, а в клетках листа — ферменты для обеспечения фотосинтеза.

Но почему же в одной клетке не синтезируются сразу все белки, информация о которых имеется в её хромосомах? Потому что ей не дают это сделать процессы регуляции активности различных генов. Механизмы подобных регуляций лучше изучены в клетках прокариотов. Несмотря на то что эти существа представляют собой исключительно одноклеточные организмы, их транскрипция и трансляция тоже должны регулироваться, поскольку в один момент времени клетка может нуждаться в каком-либо белке, а в другой момент тот же самый белок может стать для неё вреден.

Генетической единицей механизма регуляции синтеза белков следует считать **оперон**, в состав которого входят один или несколько структурных генов, т. е. участков ДНК, несущих информацию о структуре иРНК, которая, в свою очередь, несёт информацию о структуре белка. Перед этими генами, в начале оперона, расположен промотор — посадочная площадка для фермента РНК-полимеразы. Между промотором и структурными генами в опероне располагается участок ДНК, называемый **оператором** (рис. 91). Если с оператором связан особый белок — **репрессор**, то РНК-полимераза не может начать синтез иРНК.

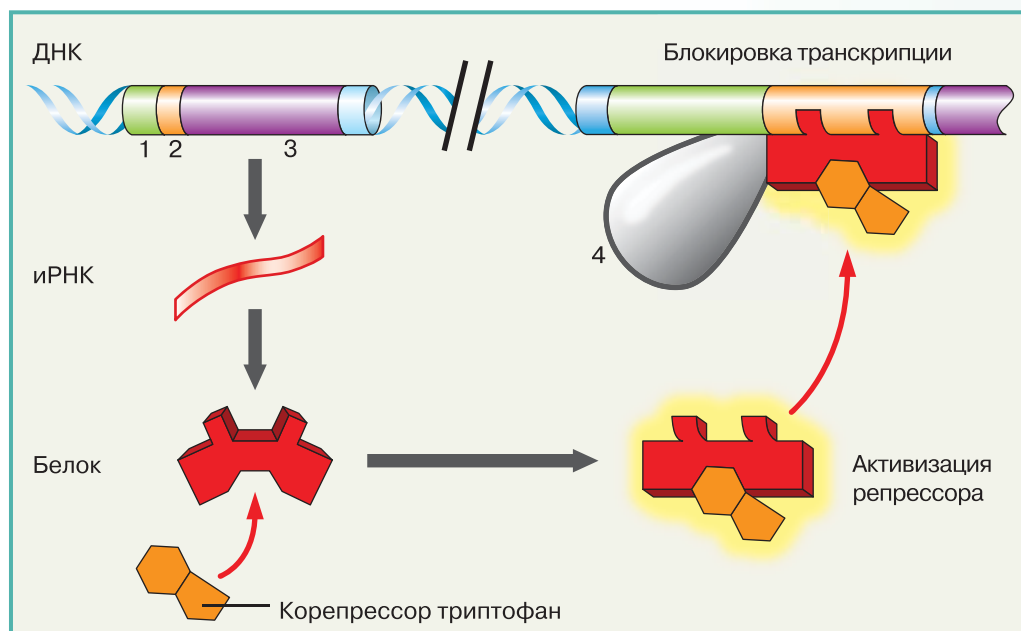


Рис. 91. Схема регуляции синтеза белка у прокариотов: 1 — промотор, 2 — оператор, 3 — кодирующий участок, 4 — фермент РНК-полимераза, не имеющий возможности начать работу из-за заблокированного оператора

Механизм регуляции синтеза белка у прокариотов. Приведём конкретный пример подобной регуляции. Предположим, что в бактериальную клетку проникло питательное вещество А, которое должно быть разрушено на более мелкие части ферментом Ф. Этот белок закодирован в структурном гене оперона, но в данный момент не синтезируется, поскольку оператор заблокирован репрессором.

Для того чтобы исправить сложившуюся ситуацию и разблокировать синтез нужного фермента, одна из молекул вещества А, проникшего в клетку, связывается с молекулой репрессора. При этом комплекс А—репрессор теряет способность удерживаться на операторе (рис. 91), и РНК-полимераза тут же начинает синтез иРНК, на основе которой рибосомы синтезируют фермент Ф.

Далее синтезированный фермент начинает работать, разрушая молекулы вещества А, в том числе и те, которые входят в состав комплекса А—репрессор. Когда все молекулы вещества А будут разрушены, репрессор снова сможет связаться с оператором, следовательно, синтез новых молекул фермента Ф будет прекращён, так как прекратится синтез его иРНК (см. рис. 91). А так как любая иРНК имеет ограниченный (и достаточно короткий) срок жизни в цитоплазме, по окончании которого она будет разрушена специальными ферментами, то вскоре прекратится синтез фермента Ф и на уже синтезированных молекулах иРНК. Таким образом, регуляторный цикл активности гена фермента Ф можно считать завершённым.

Механизм регуляции синтеза белка у эукариотов. Регуляция работы генов у эукариотов, особенно многоклеточных, гораздо сложнее. Во-первых, белки, необходимые для обеспечения какой-либо функции, могут быть закодированы в генах



различных хромосом (напомним, что у прокариотов ДНК в клетке представлена одной-единственной молекулой). Во-вторых, у эукариотов сами гены устроены сложнее, чем у прокариотов, — например, у них имеются «молчащие» участки, с которых не считывается иРНК, но которые способны регулировать работу соседних участков ДНК. В-третьих, в многоклеточном организме необходимо точно регулировать и координировать работу генов в клетках разных тканей.

Эта координация осуществляется на уровне целого организма — главным образом при помощи гормонов. Они вырабатываются как в клетках желёз внутренней секреции, так и в клетках многих других тканей, например нервной. Эти вещества связываются с особыми рецепторами, расположенными или на клеточной мембране, или внутри клетки. В результате взаимодействия рецептора с гормоном в клетке активируются или, наоборот, репрессируются те или иные гены. Это приводит к кардинальному изменению характера синтеза белков в данной клетке.

Так, синтезируемый в клетках передней доли гипофиза соматотропин (гормон роста) взаимодействует с рецептором клеточной мембраны *янус-киназой*, который, в свою очередь, воздействуя на некоторые цитоплазматические белки (*STAT-белки*), способствует активизации транскрипции ряда генов. В результате скорость синтеза белка повышается, что приводит к активному росту массы хрящевой и мышечной ткани. Похожий эффект оказывает и действие половых гормонов — например, андрогены стимулируют образование белков в мужских половых органах, мышцах, скелете, коже и её производных, а действие эстрогенов направлено в основном на активизацию транскрипции в клетках молочных желёз и женских половых органов.

Конечно, полностью понять механизмы регуляции генов даже в относительно просто организованных живых существах мы пока что не в силах. А если учесть, что организм человека состоит более чем из 200 млрд клеток и в каждой из них, по последним подсчётам исследователей, содержится до 120 тыс. генов, то трудности, возникающие при изучении регуляции работы генов организма человека, становятся очевидными. Следует также учесть, что 99,9 % ДНК у всех людей одинаковы и только оставшиеся 0,1 % определяют неповторимую индивидуальность каждого человека: внешний вид, особенности характера, обмена веществ, склонность к тем или иным заболеваниям, индивидуальную реакцию на лекарства и многое другое.



ОПЕРОН ● ОПЕРАТОР ● РЕПРЕССОР

ПОДУМАЙТЕ

1. Что произошло бы с организмом, если бы не существовало процесса регуляции биосинтеза белка?
2. Может ли существовать клетка, не способная к самостоятельному синтезу веществ



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Что такое оперон?
2. Какую роль играет рецептор в регуляторном механизме клетки?
3. Какова роль гормонов в регуляторном механизме клетки?
4. Сколько генов приблизительно содержится в каждой клетке человека?
5. Какие вещества в многоклеточном организме играют важнейшую роль в координации работы тысяч генов?

Совершенствуемся

1. Используя ключевые слова параграфа, постройте основу схемы (ментальной карты), отражающей суть процесса регуляции транскрипции.
2. Что будет, если у гена повредится промотор? Ответ обоснуйте.

Это интересно

Кто-то «выключает» гены, кто-то теряет. Можно было бы предположить, что часть неработающих генов в тех или иных клетках утрачивается или разрушается. Однако целый ряд экспериментов доказал, что это утверждение несправедливо для большинства живых существ. Из клетки кишечника головастика при определённых условиях можно вырастить целую лягушку, что возможно только в том случае, если в ядре этой клетки сохранилась вся генетическая информация, хотя часть её не реализовывалась в процессе синтеза белков, тогда, когда клетка входила в состав стенки кишечника. Следовательно, в каждой клетке такого многоклеточного организма используется только часть генетической информации, содержащейся в её ДНК. Значит, должны иметь место механизмы, «включающие» или «выключающие» работу того или иного гена в разных клетках.

В то же время у некоторых животных в процессе развития часть ДНК действительно утрачивается. Так, у представителей класса круглых червей (*Nematoda*) во время превращения личинки во взрослое животное во всех соматических клетках происходит **диминуция хроматина**. Во время этого процесса часть ДНК просто выкидывается из ядра и уничтожается в цитоплазме.

Поскольку набор генов, уничтоженных в результате диминуции, у клеток каждого типа различный, то получается, что ни одна из клеток организма нематод





(кроме половых, в которых диминуции не происходит) не способна синтезировать весь характерный для данного организма набор белков. Таким образом, нематодам не нужно «тратиться» на многие механизмы регуляции активности генов. Это является несомненной эволюционной выгодой круглых червей. Однако не бывает плюсов без минусов — и нематоды не являются исключением из данного правила. Из-за диминуции хроматина в большинстве тканей круглого червя (кроме покровной) невозможна никакая регенерация.

Тысяча томов информации. Общая длина молекул ДНК, содержащихся в 46 хромосомах человека, составляет почти 2 м. Если бы генетически триплетным кодом были закодированы буквы алфавита, то ДНК одной клетки человека хватило бы для шифровки 1000 толстых томов текста!



Деление клетки. Митоз

§ 26

Вспомните:

1. В каких частях растения клетки делятся наиболее часто?
2. Как размножается амёба?

Размножение — одно из важнейших свойств живых организмов. К размножению способны все живые организмы без исключения. Только размножение, т. е. процесс воспроизведения себе подобных, способствует сохранению всех видов бактерий, грибов, растений, животных.

Способы размножения у различных организмов могут сильно отличаться друг от друга, но в основе любого вида размножения лежит деление клеток.

Согласно клеточной теории, возникновение новых клеток происходит только путём деления предыдущей, материнской клетки. Естественно, что у подавляющего большинства клеток перед делением происходит удвоение генетического материала, т. е. всех молекул ДНК. Иначе на каждую из двух новых клеток не хватит необходимого для данного вида набора генов. Такие клетки либо вообще будут нежизнеспособны, либо вызовут возникновение тяжёлых заболеваний всего организма.

Жизнь клетки от момента её появления в процессе деления материнской клетки и до её собственного деления (или гибели) включительно получила название **клеточного** или **жизненного цикла**. В течение этого цикла клетка растёт и видоизменяется таким образом, чтобы успешно выполнять свои функции в организме (этот процесс называют *дифференцировкой* клетки). Далее она выполняет свои функции в течение определённого времени, по истечении которого делится, образуя новые клетки (рис. 92).

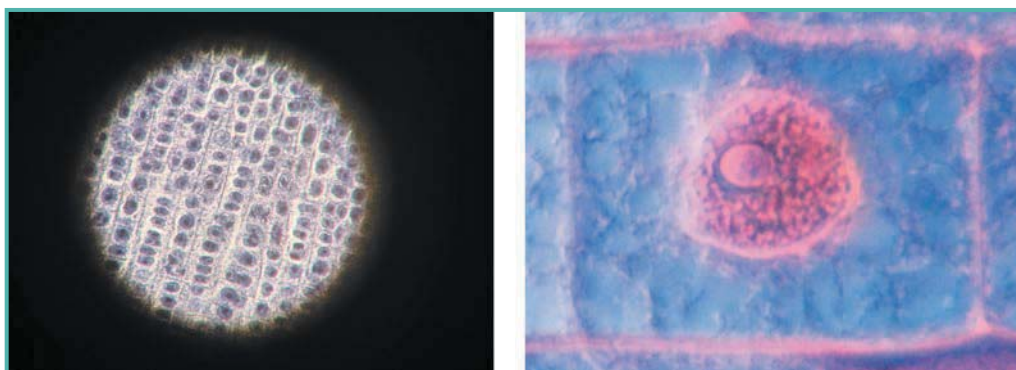


Рис. 92. Жизненный цикл клетки: слева — клетки корешка лука на разных стадиях жизненного цикла, справа — интерфаза



Апоптоз. У простейших и бактерий деление клетки является основным способом размножения. Так, у амёбы никогда не бывает естественной смерти организма — вместо гибели она просто делится на две новые клетки. Понятно, что клетки многоклеточного организма не могут делиться бесконечно, иначе все существа, и люди в том числе, стали бы бессмертными.

Этого не происходит потому, что ДНК клетки содержит специальные «гены смерти», которые рано или поздно активируются. Это приводит к синтезу особых белков, которые убивают эту клетку: она сжимается, её органоиды и мембраны разрушаются — так, чтобы их части можно было использовать вторично. Такая запрограммированная клеточная смерть называется **апоптозом**.

От своего «рождения» до апоптоза клетка проходит множество нормальных клеточных циклов. У представителей различных видов этот цикл занимает разное время: у бактерий — около 20 минут, у инфузории-туфельки — от 10 до 20 часов. Клетки тканей многоклеточных на ранних стадиях развития организма делятся очень часто, а затем их клеточные циклы значительно удлиняются. Например, сразу после рождения нейроны животных делятся постоянно: 80 % головного мозга формируется именно тогда. Однако вскоре большинство из этих клеток быстро теряет способность к делению, и часть из них доживает, не делясь, до естественной смерти животного от старости.

Обязательным компонентом каждого клеточного цикла является *митотический цикл*, который включает в себя подготовку к процессу деления и само деление. Кроме того, в жизненный цикл входят длинные или короткие периоды покоя, когда клетка выполняет свои функции в организме. После каждого из таких периодов она должна перейти либо к митотическому циклу, либо к апоптозу.

Интерфаза. Часть жизненного цикла, во время которой происходит подготовка клетки к делению, получила название **интерфазы**. Она состоит из трёх периодов.

Пресинтетический период (G_1) — наиболее изменяемая по длительности часть интерфазы. Он может продолжаться у различных видов клеток от 2—3 часов до нескольких суток. Этот период следует сразу же за предшествующим делением, во время него клетка растёт, накапливая энергию и вещества для последующего удвоения ДНК.

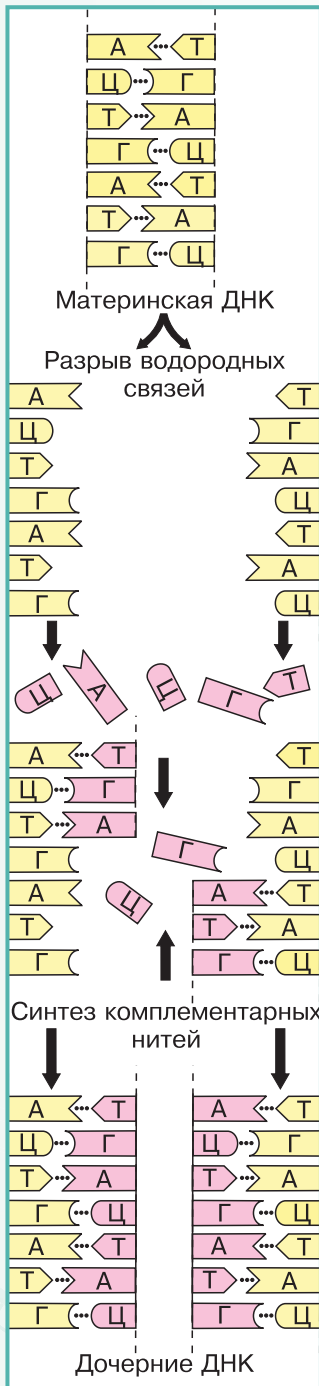


Рис. 93. Репликация ДНК



Синтетический период (S), который обычно длится 6—10 часов, включает в себя удвоение ДНК и белков, необходимых для формирования хромосом, а также увеличение количества РНК. К концу этого периода каждая хромосома уже состоит из двух идентичных **хроматид**, соединённых друг с другом в области **центромеры**. В этот же период удваиваются центриоли.

Постсинтетический период (G_2) наступает сразу после удвоения хромосом. Он длится 2—5 часов, за это время накапливается энергия для предстоящего митоза и синтезируются белки микротрубочек, которые впоследствии образуют веретено деления. Теперь клетка готова к митозу.

Прежде чем перейти к описанию способов деления клетки, рассмотрим процесс удвоения ДНК, в результате которого в синтетическом периоде образуются сестринские хроматиды.

Удвоение ДНК называют также *репликацией* или **редупликацией**. Во время репликации часть молекулы материнской ДНК расплетается на две нити с помощью специального фермента, причём это достигается разрывом водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями: аденином-тиминном и гуанином-цитозином. Далее к каждому нуклеотиду разошедшихся нитей ДНК фермент ДНК-полимераза подстраивает комплементарный ему нуклеотид. Так образуется пара двуцепочечных молекул ДНК, в состав каждой из которых входят одна цепочка материнской молекулы и одна новосинтезированная (дочерняя) цепочка (рис. 93). В норме эти молекулы должны быть абсолютно идентичны, хотя некоторые мутации могут происходить именно во время репликации из-за ошибок при работе фермента.

Поскольку расплести для репликации сразу всю длинную двойную цепочку ДНК невозможно, то её удвоение начинается сразу в нескольких местах молекулы. В итоге синтезируется несколько коротких фрагментов дочерней нити, которые потом при помощи ферментов сшиваются в единую длинную молекулу.

Митоз — это процесс непрямого деления соматических клеток эукариотов, в результате которого наследственный материал сначала удваивается, а затем равномерно распределяется между дочерними клетками.

Он является основным способом деления эукариотических клеток. Продолжительность этого деления у животных клеток составляет 30—60 минут, а у растительных — приблизительно 2—3 часа. Митоз включает в себя два процесса — деление ядра (**кариокинез**) и деление цитоплазмы (**цитоккинез**).

Фазы митоза. Митоз (точнее, его первая часть, кариокинез) подразделяют на четыре последовательные фазы: **профазу**, **метафазу**, **анафазу** и **телофазу** (рис. 94).

Профаза. В ядре происходит спирализация ДНК, в это время при наблюдении за клетками при помощи микроскопа в ядре становятся хорошо видны туго скрученные хромосомы. Заметно, что каждая из них состоит из двух



хроматид, объединённых в области центромеры (см. рис. 94). Также во время профазы в ядре исчезают ядрышки.

В то же время пары центриолей расходятся к полюсам клетки. Отходящие от них микротрубочки начинают образовывать **веретено деления**. Заканчивается профаза разрушением ядерной оболочки (см. рис. 94).

Метафаза. В начале этой фазы хромосомы располагаются в цитоплазме таким образом, что их центромеры попадают в плоскость экватора клетки. Образуется так называемая *метафазная пластинка*, состоящая из хромосом. После этого нити веретена деления, идущие от центриолей к экватору клетки, прикрепляются к центромере каждой хромосомы (см. рис. 94).

Анафаза. Эта фаза митотического деления начинается с того, что каждая хромосома продольно расщепляется на две идентичные хроматиды. Потом они расходятся к противоположным полюсам клетки (см. рис. 94). Таким образом, за счёт идентичности дочерних хроматид у двух полюсов клетки оказывается генетический материал, идентичный тому, который был в клетке до начала митоза.

Телофаза. В начале последней фазы митоза дочерние хромосомы у полюсов клетки деспирализуются (расплетаются) и ДНК вновь становится доступной для транскрипции (см. рис. 94). После этого возобновляется синтез белков, а также заново формируются ядерные оболочки и ядрышки. Заканчивается телофаза исчезновением нитей веретена деления.

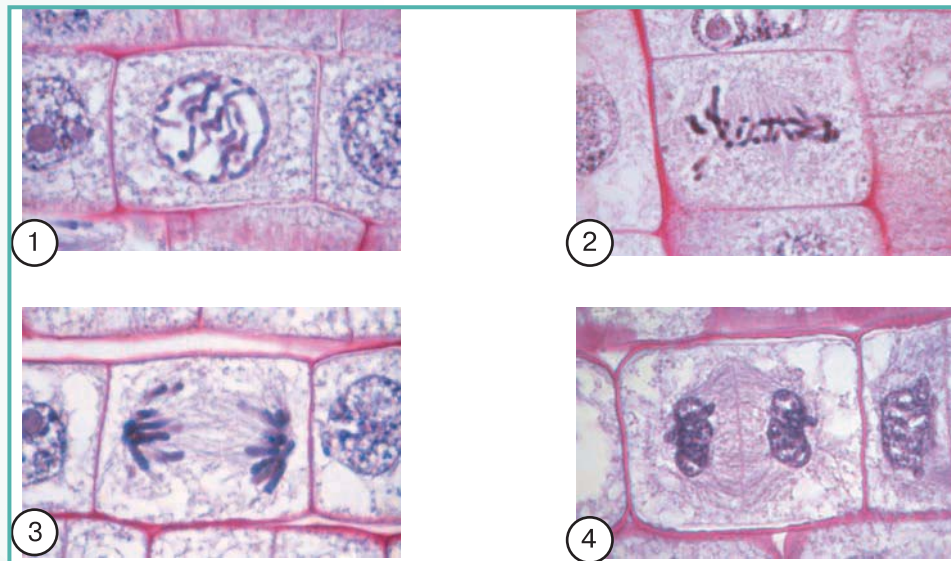


Рис. 94. Митоз: 1 — профаза, 2 — метафаза, 3 — анафаза, 4 — телофаза (начало)

На этом кариокинез завершается, после чего начинается цитокинез. Во время этого процесса у животных клеток в экваториальной плоскости возникает перетяжка. Она углубляется до тех пор, пока не происходит разделения двух дочерних клеток. В образовании перетяжки важную роль играют структуры цитоскелета.



А вот растительные клетки не могут так делиться, поскольку имеют жёсткую клеточную стенку. Поэтому у них происходит образование внутриклеточной перегородки в районе клеточного экватора и далее происходит достраивание оболочек двух дочерних клеток.

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

Биологическое значение митоза заключается в воспроизводстве клеток с количественно и качественно одинаковой генетической информацией. Это обеспечивается тем, что при репликации ДНК возникают два одинаковых набора хромосом, которые в процессе митоза равномерно распределяются по дочерним клеткам. Митоз необходим для нормального развития и роста многоклеточного организма. Он же лежит в основе процессов заживления повреждений и бесполого размножения одноклеточных существ.

Амитоз, или прямое деление клеток, встречается относительно редко. При нём ядро начинает делиться без видимых предварительных изменений. Совершенно очевидно, что амитоз не может не обеспечить равномерное распределение ДНК между двумя дочерними клетками, так как во время такого деления хромосомы не образуются.

Иногда при амитозе не происходит цитокинеза. В этом случае образуется двудерная клетка. Если же деление цитоплазмы всё-таки произошло, то велика вероятность, что обе дочерние клетки будут неполноценными. Амитоз часто встречается в отмирающих тканях, а также в клетках опухолей.

В настоящее время некоторые учёные считают, что амитоза не существует и всё, что им считали, представляет собой всего лишь результат ошибочного описания явлений, наблюдаемых на плохо приготовленных микроскопических препаратах. В то же время некоторые варианты деления ядер эукариотов нельзя назвать митозом или мейозом. Таково, например, деление макронуклеусов многих инфузорий, где без образования веретена происходит сегрегация коротких фрагментов хромосом.

МИТОЗ ● КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ ● ИНТЕРФАЗА ● ПРОФАЗА ● МЕТАФАЗА ● АНАФАЗА ● ТЕЛОФАЗА ● РЕДУПЛИКАЦИЯ ● ХРОМАТИДЫ ● ЦЕНТРОМЕРА ● ВЕРЕТЕНО ДЕЛЕНИЯ ● КАРИОКИНЕЗ ● ЦИТОКИНЕЗ ● АМИТОЗ ● АПОПТОЗ



ПОДУМАЙТЕ

1. Почему эукариоты делятся при помощи сложного процесса митоза, а не простой перетяжкой, как прокариоты?
2. В чём состоит смысл программированной гибели клеток?
3. Почему ядра некоторых клеток делятся путём амитоза?



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Перечислите стадии митоза в их естественном порядке.
2. В какой фазе происходит деление цитоплазмы клетки?
3. Что такое редупликация ДНК?
4. Что происходит в интерфазе для подготовки деления клетки?
5. В чём заключается биологическое значение митоза?

Совершенствуемся

1. Всегда ли в хромосоме две хроматиды? Ответ обоснуйте.
2. В чём состоят отличия митоза от амитоза? Представьте ответ в виде сравнительной таблицы.
3. Верны ли следующие суждения о митозе?
А. Митоз — способ деления клеток, в результате которого образуются клетки с редуцированным (уменьшенным) набором хромосом.
Б. Образующиеся в результате митоза клетки содержат наследственную информацию, идентичную информации материнской клетки.
1) верно только А
2) верно только Б
3) верны оба суждения
4) оба суждения неверны

Это интересно

Сколько длится митоз? Продолжительность митоза в клетках различных видов живых существ различается очень сильно. Например, клетки зародыша плодовой мушки дрозофилы делятся за 6 минут, а клетки эндосперма семени гороха — за 180 минут.

Какие бывают митозы? Та схема митоза, которая описана в § 26, является самой распространённой в мире живой природы. Его называют *открытым*, потому что во время данного клеточного деления исчезает ядерная оболочка и хромосомы становятся открыты взору наблюдателя. Однако это не единственный вариант митоза.



У ряда амёб, а также грибов (у некоторых дрожжей) наблюдается *закрытый митоз*, при котором ядерная оболочка не исчезает, а веретено деления образуется внутри ядра (куда у амёб перед этим мигрируют центриоли). Внешне такое деление выглядит как амитоз, поэтому прежде учёные считали, что амёбы делятся амитотически, — это утверждение можно встретить даже в учебниках по биологии середины XX в. Кроме того, у некоторых одноклеточных существ (например, у хорошо известной вам из курса ботаники хламидомонады, *Chlamydomonas*) наблюдается *полузакрытый митоз*. Во время этого деления оболочка ядра в основном сохраняется, однако в ней образуются отверстия, через которые внутрь ядра проникают нити веретена (которое формируется снаружи).

Учёные предполагают, что закрытый митоз был, видимо, самым древним вариантом деления клеточного ядра. Полузакрытый же является переходной стадией от закрытого к открытому клеточному делению (рис. 95).

Что бывает с теми клетками, которые пропустили S-фазу. Откуда берутся злокачественные опухоли? Почему нормальные клетки организма вдруг забывают обо всём на свете и начинают постоянно делиться? Последние исследования показали, что в большинстве случаев это происходит тогда, когда по каким-то причинам (например, из-за повреждения соответствующего гена) в клетках прекращает свою работу очень важный белок *p53*. Его деятельность заключается в том, чтобы подготовить клетку к переходу из фазы G_1 в следующую за ней S-фазу жизненного цикла. В результате клетка минует важную синтетическую фазу и сразу же после фазы G_1 у неё начинается подготовка к следующему делению. Этот «сдвиг по фазе» приводит к появлению мутантных клеток, большая часть из которых нежизнеспособна, а меньшая как раз и образует злокачественные опухоли.

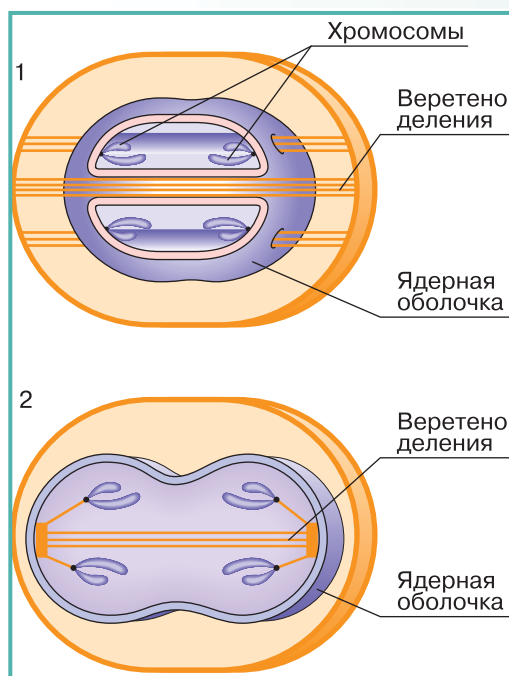


Рис. 95. Закрытый и полузакрытый митозы: 1 — полузакрытый, 2 — закрытый



§27

Деление клетки. Мейоз. Половые клетки

Вспомните:

1. Как происходит половое размножение у растений и животных?
2. В каких случаях происходит мейоз?
3. Какой набор хромосом называют диплоидным?

Мейоз — это особый вид деления клетки, при котором число хромосом в дочерних клетках становится гаплоидным, т. е. одинарным. Такое деление необходимо для сохранения постоянства числа хромосом при половом размножении. В качестве примера рассмотрим созревание половых клеток у человека.

В каждой соматической клетке человеческого тела диплоидный набор хромосом ($2n$) составляет 46 — 23 от отца и столько же от матери. Новый человеческий организм возникает в момент оплодотворения, т. е. слияния яйцеклетки матери, содержащей 23 хромосомы, и сперматозоида отца, также содержащего 23 хромосомы. В момент оплодотворения в зиготе — первой клетке будущего человека — восстанавливается свойственный клеткам человеческого тела диплоидный набор хромосом: $23 + 23 = 46$.

Следовательно, при «производстве» яйцеклеток и сперматозоидов необходим особый тип деления клеток, при котором в дочерних клетках будет гаплоидный набор хромосом. Именно такой способ деления, во время которого из одной диплоидной ($2n$) клетки образуются четыре гаплоидные ($1n$), и получил название мейоза.

Механизм мейоза. Мейоз представляет собой два следующих одно за другим деления генетического материала и цитоплазмы, при которых репликация происходит только один раз (рис. 96). Энергия и вещества, необходимые для обоих делений, накапливаются во время интерфазы I, а интерфаза II как таковая отсутствует.

Во время первого деления мейоза к полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид (см. рис. 96): у человека — 23 к одному полюсу и 23 к другому. В профазе I происходит **конъюгация** хромосом, т. е. каждая из них находит гомологичную и сближается с ней. Во время такого контакта между отцовской и материнской хромосомами может произойти обмен идентичными участками. Это явление получило название **кроссинговер** (рис. 97).

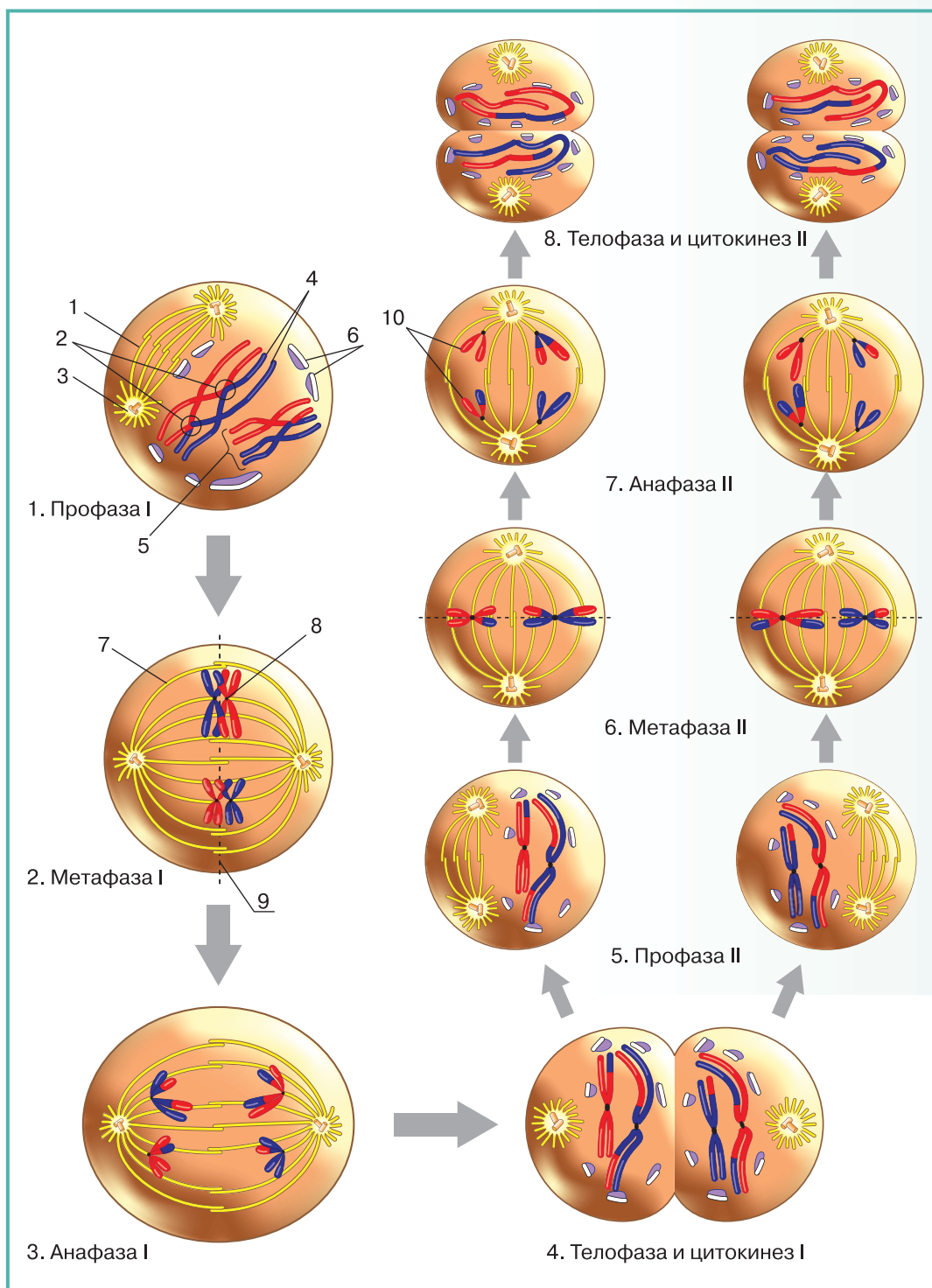


Рис. 96. Мейоз (схема): 1 — веретено деления, 2 — кроссинговер, 3 — центриоли, 4 — хроматида, 5 — гомологичные хромосомы, 6 — ядерная оболочка, 7 — микротрубочки, 8 — центромеры, 9 — метафазная пластинка, 10 — хроматиды

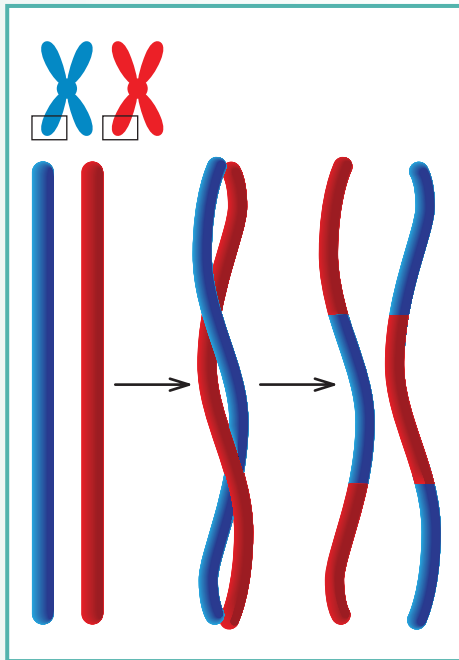


Рис. 97. Кроссинговер

Затем пары гомологичных хромосом выстраиваются в цитоплазме на экваторе клетки, образуя метафазную пластинку. В анафазе, следующей за метафазой, к противоположным полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид. Таким образом, после первого деления мейоза образуются две гаплоидные клетки, которые продолжают деление, поскольку телофаза I является очень короткой и во время неё не происходит деспирализации ДНК.

Второе деление интересно тем, что перед ним не происходит репликации ДНК и, следовательно, удвоения хромосом. Как было сказано выше, интерфаза II практически отсутствует, поэтому телофаза I сразу же переходит в профазу II. Далее следует метафаза II, анафаза II и телофаза II.

В результате мейоза из одной диплоидной клетки ($2n$) образуется четыре гаплоидные (n).

Большое значение для получившихся в результате мейоза клеток имеет кроссинговер. Он увеличивает генетическое разнообразие половых клеток, так как в результате этого процесса образуются хромосомы, несущие гены и отца, и матери. Таким образом, мейоз лежит в основе комбинативной изменчивости.

Яйцеклетки. Яйцеклетки животных формируются в женских половых железах — **яичниках**. Обычно они представляют собой округлые, относительно крупные клетки, содержащие в цитоплазме запас питательных веществ в виде желтка. В ядрах яйцеклеток, помимо ДНК, находятся также запасные иРНК, в которых записана структура ряда важнейших белков будущего зародыша.

Яйцеклетки животных подразделяют на несколько типов в зависимости от количества и характера распределения желтка в клетке. Например, у моллюсков и ланцетника желток распределён по клетке равномерно, ядро находится в центре, а сама яйцеклетка мала. У некоторых рыб, птиц, рептилий и яйцекладущих млекопитающих желтка в клетке очень много, поэтому цитоплазма с ядром сдвинуты на один из полюсов клетки. Сама же яйцеклетка у этих животных может быть достаточно крупной. У плацентарных млекопитающих яйцеклетки малы, их диаметр составляет 0,1—0,2 мм. Желтка они практически не содержат, так что будущий зародыш может питаться только за счёт материнского организма (рис. 98).

Сперматозоиды. Эти гаметы у животных формируются в мужских половых железах — **семенниках**. У многих млекопитающих, в том числе и у человека, семенники находятся в особом выпячивании брюшной стенки — мошонке, которая играет роль «физиологического холодильника». Благодаря ей в семен-

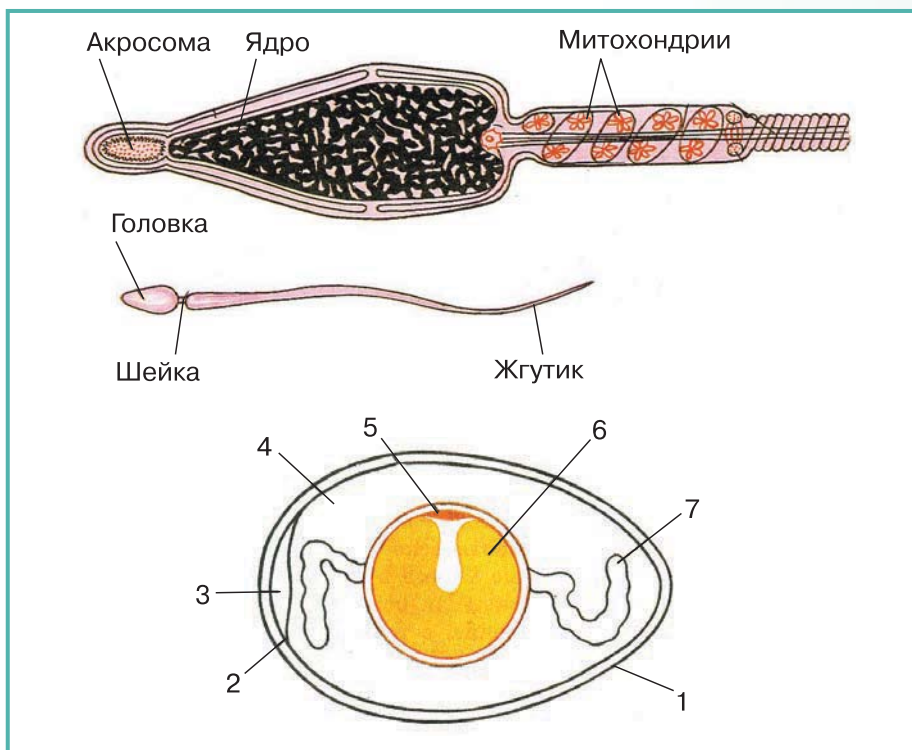


Рис. 98. Строение сперматозоида и яйцеклетки: 1 — скорлупа, 2 — подскорлуповая оболочка, 3 — воздушная камера, 4 — белковая оболочка, 5 — зародышевый диск, 6 — желток, 7 — канатик

никах поддерживается более низкая, чем во всём теле, температура — около 33—34 °С. Такая температура является обязательным условием для созревания нормальных сперматозоидов.

Обычно сперматозоиды — это очень мелкие клетки (см. рис. 98). Они состоят из головки (длина таковой у сперматозоида человека всего 4,5—5,5 мкм), которая почти полностью занята ядром с гаплоидным набором хромосом; шейки, в которой находятся структура, сходная по строению с центриолями, митохондрии, а также хвоста, образованного микротрубочками и обеспечивающего подвижность всего сперматозоида. В передней части головки находится видоизменённый комплекс Гольджи, называемый акросомой. В этой структуре запасается особый фермент, который необходим для растворения оболочки яйцеклетки, без чего невозможно оплодотворение.

Гаметогенез. Процесс формирования половых клеток (гамет) получил название **гаметогенеза**. Если речь идёт о яйцеклетках, тогда этот процесс называют **оогенезом**, а если о сперматозоидах — **сперматогенезом**. Между ними имеется много общего (рис. 99), в частности то, что они распадаются на одинаковые фазы.

Фазы гаметогенеза. Первая фаза гаметогенеза называется **фазой размножения**. Во время неё клетки — предшественники гамет многократно делятся

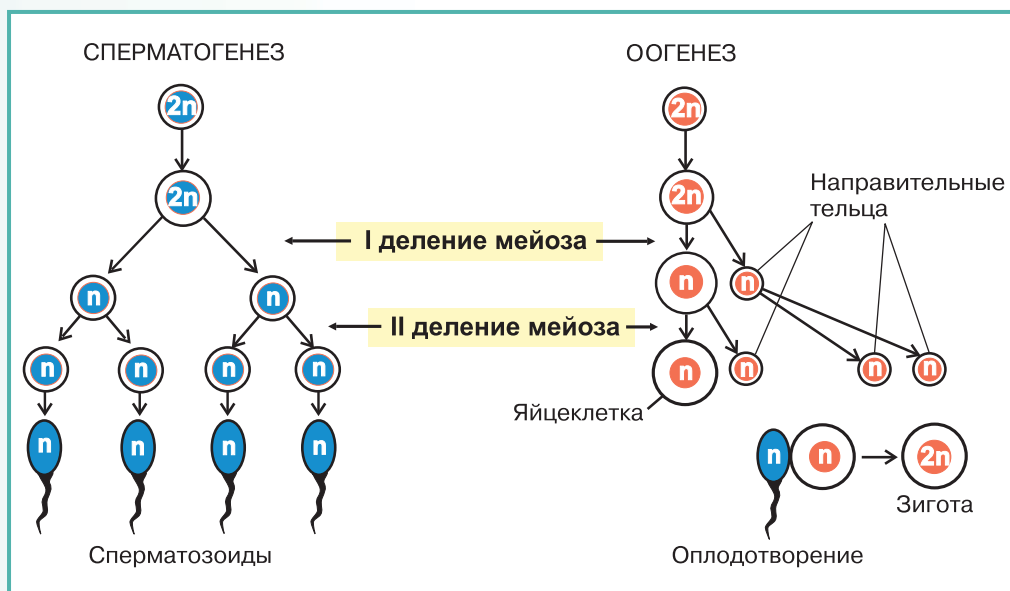


Рис. 99. Фазы гаметогенеза (схема)

посредством митоза, сохраняя диплоидный набор хромосом в ядрах. Таким образом увеличивается количество потенциальных гамет. У самцов млекопитающих (в том числе и у человека) этот процесс идёт с момента наступления половой зрелости до глубокой старости. А вот у самок первичные половые клетки делятся только в период внутриутробного развития плода и до наступления полового созревания сохраняются в покое.

Вторая фаза гаметогенеза называется **фазой роста**. В этот период будущие сперматозоиды и яйцеклетки увеличиваются в размерах, происходит репликация ДНК, запасаются вещества, необходимые для последующих делений.

Третью фазу гаметогенеза называют **фазой созревания**. Во время неё будущие гаметы делятся посредством мейоза, в результате которого из каждой диплоидной клетки получается четыре гаплоидных.

Особенности сперматогенеза и оогенеза. Как было сказано выше, при образовании сперматозоидов каждая из четырёх дочерних клеток полноценна и способна оплодотворить яйцеклетку. А вот при созревании яйцеклеток мейотическое деление протекает иначе: цитоплазма распределяется между дочерними клетками неравномерно. При этом только одна из образовавшихся четырёх клеток становится жизнеспособной яйцеклеткой, а три остальные дочерние клетки превращаются в так называемые **направительные тельца** (см. рис. 99), которые затем разрушаются. Смысл образования направительных телец заключается в уменьшении количества зрелых, способных к оплодотворению яйцеклеток.

Поэтому, несмотря на то что в женском эмбрионе закладывается очень большое количество яйцеклеток, созревают из них лишь немногие. За тот период, когда женщина способна к деторождению, окончательно формируется



около 400 яйцеклеток. А сперматозоидов в организме мужчины созревает очень много — до 10^{10} .

Ещё одним отличием сперматогенеза от оогенеза является то, что в этом процессе выделяют ещё одну, заключительную, **фазу формирования**. Её сущность заключается в том, что у сперматозоидов возникают специфические приспособления, в частности жгутик, и они приобретают подвижность.

Как мы уже говорили, оогенез у девочки начинается на эмбриональных стадиях и к моменту рождения в её организме уже имеется полный набор будущих яйцеклеток. Они хранятся в её яичниках в покоем состоянии вплоть до полового созревания, а затем под действием гормонов начинают ежемесячно выходить в просвет яйцеводов и продвигаться к матке. Именно в этот момент может произойти оплодотворение. Первое деление мейоза у яйцеклетки заканчивается непосредственно перед выходом её из яичника, а второе начинается после выхода яйцеклетки из фолликула. Однако потом оно замирает на стадии метафазы II. Завершается же это деление только после того, как яйцеклетка встречается со сперматозоидом, но перед слиянием гамет. Если же оплодотворения не произошло, то яйцеклетка деградирует, так и не успев до конца сформироваться.

В момент деления половые клетки особенно чувствительны к действию различных вредных факторов: радиации, алкоголя, наркотиков, ядов и т. п. Особенно опасны неблагоприятные воздействия для яйцеклеток, поскольку они начинают формироваться ещё в эмбрионе и их запас не может пополниться в течение жизни. Поэтому с каждым повреждающим воздействием на женские гаметы увеличивается вероятность появления генетических отклонений у потомства.

МЕЙОЗ ● КОНЪЮГАЦИЯ ● КРОССИНГОВЕР ● ГАМЕТОГЕНЕЗ
● СПЕРМАТОГЕНЕЗ ● ООГЕНЕЗ ● ЯЙЦЕКЛЕТКА ● ЯИЧНИК ● СЕМЕННИК
● СПЕРМАТОЗОИД ● ФАЗЫ ГАМЕТОГЕНЕЗА: РАЗМНОЖЕНИЯ, РОСТА, СОЗРЕВАНИЯ ● ФАЗА ФОРМИРОВАНИЯ ● НАПРАВИТЕЛЬНЫЕ ТЕЛЬЦА



ПОДУМАЙТЕ

1. К чему приводит химическое и радиационное повреждение генетического аппарата половых клеток?
2. При кроссинговере происходит обмен идентичными участками гомологичных хромосом. Какое значение может иметь это явление



Моя лаборатория

Тренируемся

1. Какое строение имеют яйцеклетки и сперматозоиды?
2. В какую фазу мейоза происходит кроссинговер?
3. В чём отличие мейоза от митоза?
4. Каково биологическое значение мейоза?

Совершенствуемся

1. Используя ключевые слова параграфа, постройте основу схемы (ментальной карты), отражающей суть полового размножения организмов.
2. Сопоставьте процессы образования мужских и женских половых клеток. Ответ оформите в виде таблицы.
3. В чём преимущество полового размножения перед бесполом? Ответ обоснуйте.
4. Соматические клетки человека содержат 46 хромосом. Как изменится число хромосом и молекул ДНК в ядре при гаметогенезе перед началом деления и в конце телофазы мейоза I



КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ГЛАВЫ 2

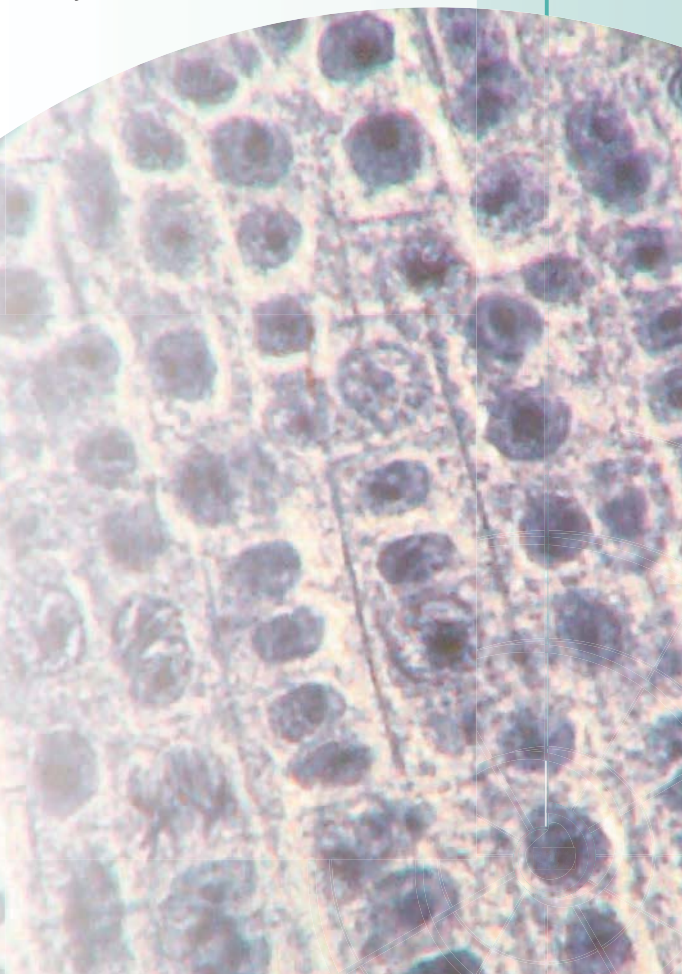
Клетка — это элементарная единица живого, обладающая всеми признаками открытой биологической системы. Она способна размножаться, расти, обмениваться веществом и энергией с окружающей средой, реагировать на изменения, происходящие в этой среде, а также передавать содержащуюся в ней наследственную информацию последующим поколениям.

Клетки имеют различные формы и размеры: от микрококков (диаметр 0,0005 мм) до крупных яйцеклеток рыб, рептилий и птиц. Диаметр яйцеклетки у млекопитающих составляет 0,1—0,3 мм, а крупные клетки растений можно различить невооружённым глазом.

Одни организмы состоят всего лишь из одной клетки (простейшие, некоторые водоросли), а другие являются многоклеточными и состоят из огромного их числа. Иногда в таких многоклеточных организмах происходит слияние многих клеток с возникновением крупных многоядерных образований. Такое происходит, например, в гифах некоторых грибов, а также в поперечнополосатой мышечной ткани у животных.

Любая клетка имеет сложное строение. Несмотря на свои микроскопические размеры, она дышит, питается, производит различные вещества. Они необходимы ей как для собственной жизнедеятельности, так и для обеспечения нужд всего многоклеточного организма. Например, зелёные клетки листа вырабатывают за счёт солнечной энергии сахар, который затем использует всё растение, или клетки желёз вырабатывают гормоны — регуляторы самых разнообразных процессов в многоклеточном организме.

Пока клетки какого-либо существа здоровы и выполняют свою работу — весь организм здоров. Но если они почему-то перестают работать на благо всего организма, начинаются процессы, которые быстро приводят к развитию болезни. Например, подавление работы клеток иммунной системы приводит к поражению человека инфекционными и онкологическими болезнями.





Из сказанного становится понятно, как важно, чтобы клетка в течение всей жизни работала правильно, согласовывая свою деятельность с таковой множества других клеток организма.

Клетка обладает всеми признаками живого организма. Все организмы делятся на безъядерных, или прокариотов, и ядерных, или эукариотов.

Клетка покрыта наружной мембраной, внутреннее её содержимое называется цитоплазмой. В цитоплазме находится ядро, содержащее наследственный материал, и органоиды, выполняющие различные функции. Важнейшими органоидами являются эндоплазматическая сеть, рибосомы, комплекс Гольджи, лизосомы, митохондрии, пластиды и клеточный центр.

Совокупность всех реакций, протекающих в живой клетке, называется метаболизмом. Реакции биологического синтеза веществ в клетке называются ассимиляцией, а реакции распада с выделением энергии — диссимиляцией. Эти процессы взаимосвязаны.

АТФ — это универсальное энергетическое вещество, обеспечивающее энергией все процессы в клетке. Оно образуется в результате неполного ферментативного расщепления или в результате полного кислородного распада органических веществ до CO_2 и H_2O (клеточное дыхание).

По способу получения органических веществ все клетки делят на автотрофов и гетеротрофов. Автотрофы способны самостоятельно синтезировать питательные вещества за счёт энергии Солнца (фототрофы) или за счёт энергии, выделяющейся при окислении неорганических веществ (хемотрофы). Основным источником энергии для живых существ на Земле — Солнце, энергия которого превращается в макроэнергетические связи АТФ в пластидах зелёных растений во время световой фазы фотосинтеза. Её запас расходуется во время темновой фазы на синтез глюкозы из CO_2 и H_2O . Также во время световой фазы фотосинтеза происходит фотолиз воды, в результате чего в атмосферу выделяется кислород.

Гетеротрофные организмы подразделяют на сапрофитов, паразитов и голозойных. Сапрофиты питаются органическими веществами мёртвых организмов, а паразиты — органическими веществами живых организмов. Голозойным свойственны более сложные способы поглощения и усвоения питательных веществ.

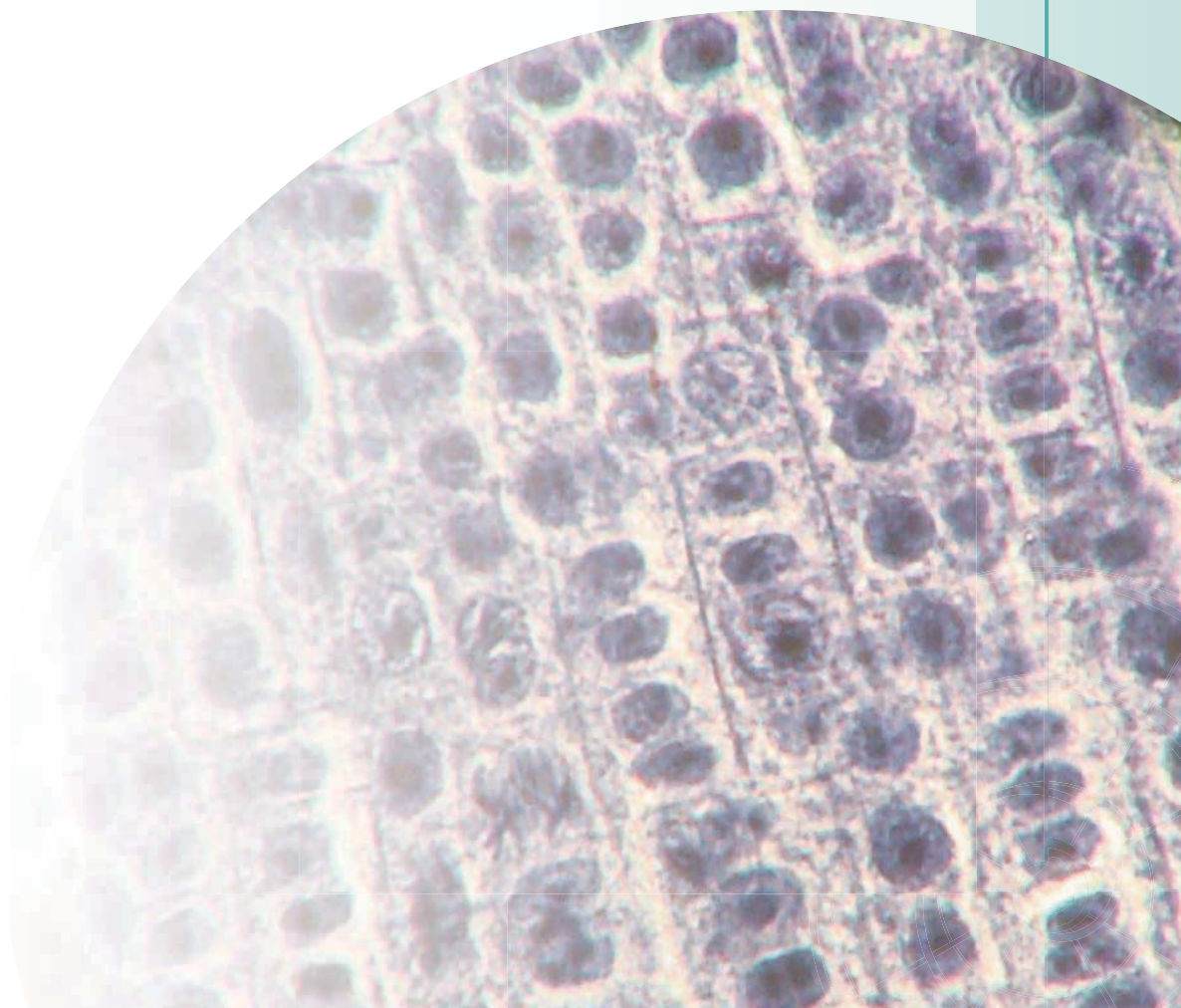
Важнейшим процессом ассимиляции является синтез белков. Информация о структуре любого белка заключена в триплетных сочетаниях нуклеотидов ДНК. Участок молекулы ДНК, в котором закодирована информация о структуре одного белка, называется геном. Транскрипция — это процесс синтеза иРНК на основе конкретного



гена. В рибосомах, нанизывающихся на иРНК, происходит синтез белка. Процесс перевода информации из последовательности нуклеотидов иРНК в последовательность аминокислот белка называется трансляцией. В каждой клетке многоклеточного организма содержится полный набор генов, однако клетка использует лишь часть генетической информации.

Основной способ деления клеток — митоз, состоящий из профазы, метафазы, анафазы и телофазы; промежуток между делениями клетки называют интерфазой.

В клетках тела, как правило, диплоидный ($2n$) набор хромосом, кроме половых, обладающих гаплоидным (n) набором.





Приложение 1

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «Механизмы саморегуляции»

Цель: провести исследование функций своего организма и объяснить полученные результаты с позиции понимания сущности механизмов саморегуляции.

Ход работы:

1. Измерьте собственный пульс, находясь в состоянии покоя. Запишите результат в тетрадь.
2. Сделайте десять интенсивных и глубоких приседаний. Повторно измерьте пульс. Запишите полученные данные в тетрадь.
3. Сравните полученные результаты и сделайте вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «Обнаружение липидов с помощью качественной реакции»

Цель: показать наличие липидов в биологических объектах.

Оборудование: штатив с пробирками, водяная баня, мерный стакан объёмом 50 мл.

Реактивы: подсолнечное (или любое растительное) масло, 10 %-ный раствор гидроксида натрия, плод фенхеля.

Ход работы:

1. В пробирку налейте 1 мл растительного масла, прибавьте щепотку ванилина и прилейте 4—5 капель 10 %-ного NaOH. Нагрейте на водяной бане. Наблюдается жёлто-оранжевая окраска.
2. Плод фенхеля поместите на поверхность дистиллированной воды, при этом он начнёт непрерывно вращаться.
3. Внесите на поверхность дистиллированной воды небольшое количество растительного масла — движение фенхеля мгновенно прекратится.
4. Запишите результаты эксперимента и сделайте вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «Обнаружение углеводов с помощью качественной реакции»

Цель: показать наличие углеводов в биологических объектах.



натрия, 2 %-ный раствор сахарозы, 0,2 %-ная соляная кислота, свежий 3 %-ный раствор пероксида водорода.

Ход работы:

1. Приготовление раствора слюны, содержащего фермент амилазу.
 - Тщательно прополощите рот водой.
 - Наберите 2—4 мл слюны в мерный цилиндр.
 - Добавьте в цилиндр воды до объёма 10 мл.
2. В две пронумерованные пробирки налейте по 10 капель раствора крахмала.
3. В пробирку № 1 внесите четыре капли воды (контроль), а в пробирку № 2 — 4 капли раствора слюны.
4. Перемешайте и поставьте на водяную баню или в термостат на 15 мин при температуре 37 °С.
5. Из пробирки № 2 возьмите четыре капли исследуемого вещества и внесите их в две разные пробирки (по две капли в каждую). В одну из них добавьте каплю раствора иода в иодиде калия. В другую — каплю раствора сульфата меди (II) и четыре капли раствора гидроксида натрия и осторожно нагрейте до кипения. Те же действия проделайте с содержимым контрольной пробирки (№ 1).
6. Оформите полученные результаты в виде таблицы.
7. Сделайте вывод на основе проведённого исследования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 «Выделение ДНК из ткани печени»

Метод основан на способности ДНП (дезоксинуклеопротеида) растворяться в солевых растворах большой ионной силы и выпадать в осадок при снижении их концентрации.

Цель: выделить из клеток печени ДНП-соединение, состоящее из ДНК и белков.

Оборудование: ступка с пестиком, мелкий песок, кристаллизатор, мерный цилиндр объёмом 50 мл, деревянные палочки с насечками, водяная баня, марля для фильтрования.

Реактивы: хлорид натрия (5 %-ный раствор, содержащий 0,04 % нитрата натрия), дистиллированная вода, печень свежая или мороженая.

Ход работы:

1. 2—3 г ткани печени тщательно разотрите в ступке с песком, постепенно приливая 35—40 мл раствора хлорида натрия.
2. Из двух слоёв марли сделайте фильтр и пропустите через него полученный вязкий раствор в кристаллизатор.
3. Цилиндром отмерьте шестикратный (по отношению к фильтрату) объём дистиллированной воды и медленно добавляйте её в фильтрат.
4. Возьмите деревянную палочку и намотайте на неё образовавшиеся нити ДНП.
5. Сделайте вывод.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 «Сравнение строения клеток растений, животных, грибов и бактерий под микроскопом на готовых микропрепаратах и их описание»

Цель: на основе изучения клеток разных организмов выявить основные черты сходства и различия в их строении.

Оборудование: микроскоп, готовые микропрепараты клеток растений, животных, грибов и бактерий.

Ход работы:

1. Настройте микроскоп на малое увеличение и рассмотрите готовые микропрепараты. Зарисуйте увиденное.
2. Переведите настройки микроскопа на большое увеличение и снова рассмотрите клетки организмов. Сделайте соответствующие рисунки.
3. Сделайте вывод на основе проведённого исследования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 «Наблюдение плазмолиза и деплазмолиза в клетках кожицы лука»

Цель: познакомиться с явлением плазмолиза растительной клетки.

Оборудование: микроскоп, покровные и предметные стёкла, препаровальная игла, пипетка, фильтровальная бумага, репчатый лук.

Реактивы: вода, дистиллированная вода, раствор иода, 3 %-ный раствор хлорида натрия.

Ход работы:

1. Приготовьте временный препарат растительной клетки. Для этого отделите от кусочка луковицы мясистую чешуйку. Пинцетом снимите с внутренней стороны чешуйки тонкую плёнку. Положите кусочек плёнки на предметное стекло, нанесите на него каплю раствора иода и накройте покровным стеклом.
2. Рассмотрите препарат при малом, а затем при большом увеличении. Найдите клеточную стенку, окрашенное иодом ядро (возможно, и ядрышки), цитоплазму, неокрашенные вакуоли. Зарисуйте и подпишите увиденное.
3. Нанесите на один край покровного стекла 3 %-ный раствор хлорида натрия, а с противоположной стороны положите полоску фильтровальной бумаги, которая впитает часть воды. Наблюдайте за состоянием цитоплазмы в клетках (при большом увеличении). Вода из цитоплазмы клетки будет переходить в окружающую среду. Объём цитоплазмы при этом уменьшится, и она начнёт отходить от клеточных стенок. Постепенно цитоплазма примет форму шара. Это явление называют плазмолизом. Зарисуйте увиденное, объясните происходящий процесс.
4. Добавьте под покровное стекло дистиллированную воду. Что происходит с цитоплазмой? Это явление называют деплазмолизом. Зарисуйте увиденное.
5. Сделайте вывод.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 «Приготовление, рассматривание и описание микропрепаратов клеток растений»

В растительных клетках пигменты, окрашивающие в яркие цвета цветки и плоды покрытосеменных растений, содержатся не только в пластидах, но и в растворе, заполняющем крупные клеточные вакуоли.

Цель: развить умение работать с лабораторным оборудованием, освоить технику приготовления временных микропрепаратов, изучить строение клеток, сделать описание.

Оборудование: микроскоп, предметные и покровные стёкла, пипетки, пинцеты, скальпели, биологический материал (кусочки яблока, томата, мякоть арбуза).

Реактивы: вода.

Ход работы:

1. Приготовьте препараты клеток мякоти яблока, томата, арбуза. Для этого в каплю воды на предметном стекле перенесите частицу мякоти плода, разделите её на клетки и накройте покровным стеклом.
2. Рассмотрите препарат под микроскопом. Найдите в клетках вакуоли, отметьте их окраску.
3. Зарисуйте строение клеток.
4. Сделайте вывод.



Приложение 2

ШАГИ К УСПЕХУ

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ НАД УЧЕБНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Учебный проект является организационной формой целенаправленной учебно-исследовательской работы (деятельности), которая ориентирована на достижение конкретного результата по решению какой-либо значимой (актуальной) проблемы. Проект может быть реализован как индивидуально, так и коллективно, т. е. участников может быть несколько. Важнейшим результатом реализации учебного проекта является не только получение новых знаний, но и публичное представление его результатов для их последующего обсуждения.

Рассмотрим последовательно все стадии реализации проекта.

1. ВЫБОР ТЕМЫ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ПРОЕКТА

Прежде всего необходимо правильно определить область, а также направление, объект и предмет исследования. Кроме того, перед началом работ следует дать исчерпывающие ответы на вопросы о том, почему возникла необходимость в выполнении проекта, какие обстоятельства побудили автора приступить к работе, какова значимость проблемы для него лично.

Также необходимо сформулировать цель и задачи проекта, которые должны логически вытекать из постановки проблемы, а также охарактеризовать поддающиеся оценке предполагаемые итоги работы. Обращаем ваше внимание на то, что во многих случаях речь идёт об исследовании как о процессе, но не о внедрении результатов этого исследования. Поэтому приветствуется **возможность внедрения** получаемых в процессе выполнения проекта результатов в практическую деятельность.

В том случае, если проект носит технический характер (разработка устройства, технологии и т. п.), подумайте, насколько возможна практическая реализация разработки.

Маловероятно, чтобы проблема, которую вы собираетесь поднять, никогда и никем не была исследована. Даже если своими исследованиями вы обозначаете новую для человечества научную область, постарайтесь всё-таки по возможности найти аналогичные случаи в отечественной и мировой практике.

Подумайте об экономической составляющей вашего проекта. Дайте ответы на следующие вопросы:

1. Какие расходы вы понесёте во время проведения работ и какую прибыль можно получить по результатам практической реализации?
2. Кто заинтересован в результатах вашей работы, где искать поддержку и инвестора



2. ВЫБОР НАЗВАНИЯ ПРОЕКТА

Название проекта должно быть чётким и кратким, состоять не более чем из семи слов. При необходимости название может сопровождаться полным научным названием.

3. ПОДГОТОВКА ПЛАНА РАБОТЫ

На данном этапе подготовки проекта должны быть определены источники, способы сбора и анализа информации, а также представления результатов. Кроме того, необходимо определить последовательность решения поставленных задач.

4. ВЫБОР МЕТОДИК ИССЛЕДОВАНИЯ

Необходимо обосновать выбор методики и методов исследования. Если применяемая в работе методика ранее была описана в литературе, то нужно просто дать ссылку на соответствующую научную работу без подробного изложения. Если же в неё внесены изменения, то следует их подробно описать и обосновать необходимость такого шага. Это же касается и случая, когда применяется полностью оригинальная методика. Более предпочтительным является использование уже апробированных методик, доказавших свою эффективность.

Помните о том, что выбор методов и средств измерений зависит не только от того, за каким компонентом или параметром вы намерены вести наблюдения, но и от задач вашей программы в целом.

Если для решения поставленной задачи вам необходимы инструментальные методы, имейте в виду, что их выбор может определяться многими соображениями, такими, как:

- 1) пригодность методики;
- 2) доступность необходимого оборудования;
- 3) стоимость анализа;
- 4) чувствительность и необходимая продолжительность измерений и отбора;
- 5) помехи в ходе анализа, создаваемые некоторыми факторами.

В ходе выполнения проекта должен быть обязательно реализован механизм обратной связи, который позволит вам скорректировать программу и выявить её слабые места. Таким образом, если после получения предварительных результатов окажется, что поставленная цель не может быть достигнута или задачи не могут быть выполнены, необходимо вернуться на один или более шаг назад и скорректировать программу выполнения работ, например выяснить, почему не работает та или иная методика. Имейте в виду, что при изменении методов исследования, а также после интерпретации результатов первых измерений могут быть пересмотрены приоритеты вашей программы.

Помните о том, что по истечении некоторого времени накапливается материал для повторной оценки цели программы, а также соответствия её доступным ресурсам. При этом обязательным условием эффективной работы механизма обратной связи является контроль качества полученных вами данных и их корректная и грамотная интерпретация. В некоторых случаях, например для выявления значимости наблюдаемых изменений, может оказаться полезным привлечение экспертов со стороны.

Если вы намерены обсуждать ожидаемые результаты с официальными лицами и сравнивать их с материалами государственных служб, применяемые вами средства и методы должны быть подкреплены официальным документом (патент, экспертное заключение и т. д.).



5. ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ

Работы проводятся в соответствии с поставленными задачами и с использованием выбранных методик. Поэтому при описании проекта вам следует перечислить применяемые приборы и инструменты и указать точность, с которой проводились измерения тех или иных параметров, а также статистический анализ цифровых материалов.

Основным условием при выполнении исследований является получение достоверных и сопоставимых аналитических данных.

Если исследование носит опытный или экспериментальный характер, повторите его несколько раз (не менее трёх), чтобы удостовериться в воспроизводимости получаемых вами данных. Помните о том, что число повторных опытов в серии может зависеть от многих свойств исследуемого вами объекта или явления, например от его variability.

Важной составляющей проекта является документирование результатов. Имейте в виду, что документировать необходимо все стадии работы, начиная с самых первых этапов. Особое внимание этому процессу следует уделить тогда, когда вы намерены добиваться принятия каких-либо административных решений на основе ваших результатов. В этом случае рекомендуем вам активнее использовать фото- и видеодокументирование, поскольку эти способы позволяют запечатлеть события, имеющие временный или даже однократный характер (например, встреча редкого вида, сброс сточных вод в водоём). Фото- и видеодокументы, на которых представлены различные источники загрязнения окружающей среды, например свалки бытового и промышленного мусора, а также визуально зарегистрированные сбросы сточных вод, пригодятся вам при обсуждении проблемы как с представителями соответствующих надзорных государственных служб, так и с виновниками загрязнения.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ, ФОРМУЛИРОВАНИЕ ВЫВОДОВ

Этот основной раздел, как правило, разбивается на подразделы, каждый из которых соответствует определённой задаче.

В данном разделе подробно излагаются полученные результаты, которые при необходимости иллюстрируются с помощью таблиц, рисунков, графиков, диаграмм, фотографий и т. п.

Следует включать в таблицы все полученные результаты, такие, как рассчитанные средние величины и отклонения от них, а также дополнительную информацию, необходимую для корректной интерпретации этих результатов. В тех случаях, когда определение исследуемой величины проводят независимо различными методами, следует дополнить таблицу информацией об альтернативных методиках.

Процесс интерпретации результатов исследования представляет собой анализ имеющихся у вас данных. Его целью является получение как можно большего объёма информации о процессах, к которым эти данные имеют (или предположительно могут иметь) отношение.

Интерпретация результата, как количественного, так и качественного, всегда подразумевает ответы на следующие вопросы:

Каковы причины полученных результатов (т. е. ПОЧЕМУ получены именно эти результаты)? При этом имеются в виду не только причины методического характера (им следует уделять внимание на более ранних этапах программы — при планиро-



вании измерений, отборе проб, собственно измерениях). Если полученные данные достоверны, следует задать вопросы о причинах, обусловивших наблюдаемые явления. Например: каков источник зафиксированного загрязнения? Что можно сказать о применяемом производственном процессе на основании анализа сточных вод предприятия?

Соответствуют ли полученные результаты тому, что вы ожидали? Если да (или нет), то почему? Невнимание к этому вопросу может привести к обнародованию «сенсационных» данных, которые не подтвердятся впоследствии.

Каковы следствия наблюдаемых явлений? Должен быть поставлен вопрос о том, как может пригодиться полученный результат для решения практических задач, например для охраны здоровья населения, оценки состояния экосистемы и т. п. При этом следует принимать во внимание ответы на первые два вопроса. Это означает, что следует, например, ставить вопрос не только о том, каково воздействие на окружающую среду обнаруженного вещества, но и о том, каково воздействие производственного процесса, в котором используется это вещество.

Обратите внимание на то, что интерпретация результатов должна идти параллельно с их получением! Если обнаружится, что в начальный момент был допущен хотя бы небольшой недочёт в планировании эксперимента, то полученные материалы не смогут быть корректно интерпретированы.

При интерпретации полученных результатов не забудьте и о прогнозировании. Это предполагает формирование значительного массива данных, использование математических моделей и т. д. Помните о том, что любой прогноз должен отвечать на вопрос: что произойдёт, если...?

При получении неожиданного результата следует тщательно проанализировать его и оценить все возможные источники ошибок. В противном случае вы можете оказаться источником некорректных сведений для тех, кто будет ссылаться на вашу работу.

При наличии в работе количественных данных используйте математические средства обработки. Это могут быть, например, общераспространённые компьютерные программы, такие, как Excel, Numbers и др.

При формулировании выводов необходимо оценить, достиг ли проект цели, и если да, то в какой степени.

Выводы должны соответствовать задачам исследования. В заключительной части вашего проекта вам следует не только кратко (по пунктам) сформулировать результаты, но и дать практические рекомендации, а также наметить перспективы для дальнейших исследований. Не нужно ограничиваться простой констатацией фактов. Если в ходе выполнения проекта чётких результатов получить не удалось, тогда вместо выводов формулируется заключение о том, почему, с вашей точки зрения, так произошло.

Выводы должны иметь как минимум региональное значение, а также быть ценными в теоретическом и **прежде всего в практическом плане.**

Поэтому необходимо детально охарактеризовать практическую значимость выполненных исследований, т. е. ответить на следующие вопросы: какие практические результаты уже получены и какие можно будет получить в случае широкого внедрения вашего проекта (прибора, метода, технологии и т. д.)? Например: улучшится ли качество жизни людей, качество (количество) воды в случае реализации ваших предложений



7. ПОДГОТОВКА И ОФОРМЛЕНИЕ ПИСЬМЕННОГО ТЕКСТА

Письменный текст проекта, представляемого на общероссийский конкурс, должен отвечать следующим требованиям:

- общий объём этого текста не должен превышать 15 страниц, включая титульный лист (он считается первой страницей), аннотацию, иллюстрации, графики, рисунки, фотографии, перечень ссылок и приложений, список литературы;

- текст должен быть расположен на одной стороне листа формата А4, напечатан через полуторный межстрочный интервал с использованием обычного шрифта (не жирного, не курсива) Times New Roman 12-го кегля. Параметры страницы должны быть следующими: верхнее, нижнее, правое поля — 2 см, левое поле — 3 см;

- в тексте проекта следует помещать ссылки на используемые работы с указанием фамилий авторов (названия книги) и года. При этом в списке литературы приводятся только цитируемые источники.

При необходимости следует также воспроизвести рисунки и таблицы, снабжённые ссылками на источник.

Особое внимание следует уделить заголовкам к таблицам и подписям к иллюстрациям, которые должны:

- 1) обязательно присутствовать на каждом рисунке (таблице, графике и т. д.);
- 2) легко читаться.

Необходимо проследить, чтобы оси на графиках и диаграммах обязательно были подписаны. Изображение на рисунках и таблицах должно быть чётким. При оформлении рисунка или графика можно пользоваться разными цветами, но их не должно быть более четырёх, так как слишком пёстрая картина затрудняет восприятие.

На титульном листе проекта обязательно должны быть указаны полные фамилии и имена участников, а также полные фамилии, имена, отчества и должности руководителей. Название проекта должно быть чётким и по возможности кратким.

Вторая страница проекта должна содержать аннотацию научной работы.

8. ОФОРМЛЕНИЕ АННОТАЦИИ

Аннотация — это краткое описание проекта, включающее его главные разделы, такие, как цель, методы и материалы, исследования (наблюдения), достигнутые результаты и выводы, а также краткое объяснение того, как этот проект улучшает качество жизни. Аннотация размещается на второй странице проекта (после титульного листа). Она не должна превышать 20 строк.

Краткое описание проекта необходимо для публикации его в каталоге финалистов. Участникам конкурса следует учесть, что краткое описание проекта должно быть понятно для СМИ и заинтересованной общественности.

9. ПОДГОТОВКА ЛИТЕРАТУРНОГО ОБЗОРА

При составлении литературного обзора необходимо показать знание основных работ по исследуемому вопросу, а также умение работать с литературой: подбирать необходимые источники, проводить их сопоставление.

В конце этого раздела желательно сделать краткий вывод о степени изученности и перспективах исследований по данной проблеме.



10. ФОРМИРОВАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ, ПРИЛОЖЕНИЙ

Список литературы должен быть оформлен согласно библиографическому стандарту.

Приложения (входят в общий объём проекта, не превышающий 15 страниц) должны составлять не более 5 страниц (иллюстрации, фотографии, графики, таблицы и т. д.). Их следует поместить в конце работы после списка литературы на отдельных листах. В электронном виде они представляются как отдельные файлы.

ПОДГОТОВКА К ПРОЕКТУ

Перед началом подготовки к проекту внимательно прочитайте раздел «Организация работы над учебными проектами» (с. 205).

1. Определите вместе с учителем форму, время и место проведения защиты проекта (самой удобной формой для этого является конференция).
2. Договоритесь о формате защиты проекта: в какой форме (например, электронной презентации) и в какой последовательности будут идти доклады и обсуждение. Обязательно установите регламент — время, отведённое на доклад (например, 5 минут каждому выступающему) и обсуждение (например, 10 минут).
3. Решите, какую информацию о конференции вы распространите (например, через школьную газету или интернет-сайт) и каких гостей (учеников других классов, учителей, родителей и т. д.) вы пригласите на защиту.
4. Примите решение о том, какие рекламные материалы должны получить участники и гости конференции и как лучше завершить мероприятие. Например, можно сделать общие фото, рекламные листовки или буклеты.
5. Вместе с учителем распределите роли. На конференции должны быть:
 - 1) ответственный за соблюдение сроков выполнения мероприятий на каждом этапе проекта (менеджер проекта), ведущий конференции;
 - 2) докладчики по темам (в подготовке одного доклада могут участвовать несколько человек);
 - 3) содокладчики, готовящие короткие выступления к обсуждению;
 - 4) ответственный за информацию о проекте и приглашения (медиаменеджер);
 - 5) ответственный за обеспечение необходимой техникой (например, проектором для презентации) и фотосъёмки;
 - 6) ответственный за изготовление рекламных материалов.Работайте в парах или группах.
6. При открытии ведущий обязательно приветствует участников и гостей конференции, а в заключение благодарит всех, внёсших свой вклад в её успешное проведение. Не забудьте поблагодарить в первую очередь своего **учителя!**

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТЫ ПРОЕКТОВ

1. *Время выступления* — презентации проекта: каждой группе на выступление отводится не более 10 минут. Если проект представляется индивидуально, то не более 5 минут.
2. *Время на обсуждение*: после презентации даётся время на обсуждение (оппонирование), в котором принимают участие все остальные слушатели. На обсуждение отводится 7—10 минут.



3. Форма презентации: один слушатель (или участники группы), работавший(ие) над проектом, представляет(ют) итоговую презентацию, используя следующие элементы:

- презентацию проекта;
- примеры практической работы учащихся (презентация, публикация, веб-сайт);
- другие материалы.

4. Доклад: демонстрировать презентацию может как один участник (если он выполнял проект самостоятельно), так и несколько (если они работали над проектом в группе).

5. Форма обсуждения: после завершения презентации, представленной каждой отдельной группой, начинается обсуждение (оппонирование).

Под обсуждением (оппонированием) подразумевается выступление, в котором выполняется несколько условий:

- перечислить три наиболее сильные стороны представленного проекта;
- перечислить два момента, требующие доработки;
- внести свои предложения по усовершенствованию проекта (если такие есть);
- сделать итоговый вывод и выставить общий балл за выступление на основе ранее определённых критериев.

После просмотра всех презентаций и обсуждения каждой из них проводится рейтинговое сравнение презентаций и выбирается тройка лидеров, набравших самое большое количество баллов.

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ УРОКА-СЕМИНАРА

Учебные занятия могут проводиться в различной организационной форме, например в виде урока-семинара. На семинаре учащиеся обсуждают сообщения, доклады и рефераты, подготовленные по результатам исследований или углублённого изучения учебного материала под руководством учителя.

На стадии подготовки мероприятия учащиеся совместно с учителем формулируют тему семинара, его цель и вопросы для обсуждения. Затем составляется примерный план проведения семинара и список необходимых источников информации, а также распределяются задания для самоподготовки.

Самостоятельная работа по подготовке к семинару может быть как индивидуальной, так и групповой. В процессе подготовки каждый учащийся (группа учащихся) готовит свой доклад, сообщение или реферат на заданную тему, используя рекомендованные источники, а также готовится к обсуждению остальных вопросов, которые будут затронуты на семинаре.

Непосредственно в ходе семинара прежде всего заслушиваются сообщения учащихся по каждому вопросу, а затем проводится их обсуждение. После проработки всех вопросов подводятся итоги семинара. Важно не только сделать выводы в отношении изученного учебного материала, но и оценить личный вклад каждого участника мероприятия в успешность его проведения. Учитель выставляет оценки за работу на семинаре в зависимости от активности каждого учащегося.



КАК ГОТОВИТЬСЯ К СЕМИНАРУ

Подготовка к семинару должна начинаться с изучения рекомендованных источников информации. Основным источником, как правило, является учебник. Работа с его материалами позволяет усвоить базовые знания, необходимые для более глубокой проработки вопросов семинара, и использовать информацию, представленную в дополнительных источниках.

На следующем этапе необходимо составить план сообщения, проработать содержание дополнительных источников и отобрать материал для выступления. Затем следует приготовить конспект: написать план и тезисы выступления, имена, даты, цитаты и т. д.

Для представления сообщения следует подготовить иллюстративный материал: таблицы, схемы, диаграммы, рисунки, портреты и т. п. В настоящее время удобно оформлять иллюстративный материал в виде мультимедийной презентации.

КАК УСПЕШНО ВЫСТУПАТЬ С ДОКЛАДОМ ИЛИ СООБЩЕНИЕМ

Любое выступление состоит из трёх частей: вступление (обоснование заявленной темы), главная часть (основные вопросы содержания темы) и заключение (суммирование сказанного, выводы).

Во время выступления лучше не читать подготовленный текст сообщения, а пересказывать его. Сначала следует поприветствовать слушателей, объявить тему своего доклада и его цель. Говорить необходимо громко и выразительно, исключая из речи слова-паразиты, например: вот, типа, как бы, значит, ну, того. Желательно следить за темпом речи (средним темпом считается 120—150 слов в минуту с паузами), интонацией (монотонность речи снижает интерес слушателей), дикцией (необходимо чётко выговаривать слова), мимикой (она должна быть подвижной, отражать отношение выступающего к тому, что он говорит), жестами (жестикация не должна быть непрерывной, однообразной — не каждая фраза нуждается в подчёркивании жестом) и позой (правильная и удобная манера стоять поможет вам снять напряжение при выступлении и чувствовать себя уверенно).

КАК ИСКАТЬ НАУЧНУЮ ИНФОРМАЦИЮ В ИНТЕРНЕТЕ

Для доступа к информации интернет-ресурсов необходимо знать их сетевой адрес. В Интернете существуют различные информационно-поисковые системы, помогающие пользователям найти то, что им нужно. Примерами таких поисковых систем могут служить тематические каталоги*. Поиск информации в них осуществляется с помощью ключевых слов, наиболее точно отражающих суть того, что вы собираетесь искать.

Процедура выбора ключевых слов напоминает выбор названий разделов (слов) при поиске книги в систематическом каталоге библиотеки. Можно вводить ключевые слова в соответствующее поле поисковой системы по одному, последовательно сужая поиск, или же вводить сразу несколько слов, разделяя их запятыми. Например: образование, средняя школа, биология, клетка, митохондрия.

* Тематические (предметные) каталоги — это информационно-справочные системы, подготовленные вручную редакторами этих систем на основе информации, собранной на серверах Интернета. Информация в этих системах распределяется по тематическим разделам. Поисковые системы представляют собой сложные информационно-справочные сервисы, предоставляющие в ответ на запрос пользователя ссылки на различные интернет-ресурсы.



ЗАДАНИЕ

Попробуйте в качестве упражнения подобрать не менее десяти ключевых слов, с помощью которых вы могли бы описать тему урока-семинара (тему проекта и т. п.), расположив их в последовательности от общих понятий к более частным и конкретным.

1.	_____	6.	_____
2.	_____	7.	_____
3.	_____	8.	_____
4.	_____	9.	_____
5.	_____	10.	_____

ПРОВЕРЯЕМ ДОСТОВЕРНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

1. Работая с информационным источником, определите достоверность представленной информации путём поиска ответов на следующие вопросы:

- Как давно опубликован данный источник информации или как давно обновлялся сайт (в случае электронной публикации)?
- Кому принадлежит источник информации? Что о нём известно?
- Кто автор представленной информации? Что о нём известно?
- Имеет ли автор право на представление этой информации от своего имени?
- Содержит ли источник объективные научные факты или выражает личное мнение автора?
- Из каких источников сам автор получил информацию?
- Можно ли перепроверить представленные научные данные в ходе повторных исследований?

2. Для получения достоверной картины необходимо изучить материалы из разных информационных источников, проанализировать и обобщить сведения.

КАК СОЗДАТЬ МУЛЬТИМЕДИЙНУЮ ПРЕЗЕНТАЦИЮ

Мультимедийные презентации используются для того, чтобы выступающий смог на большом экране или мониторе наглядно продемонстрировать дополнительные материалы к своему сообщению. При этом необходимо сосредоточить внимание слушателей на содержании работы, а не на компьютерных эффектах. Создаваемая презентация должна соответствовать содержанию, целям и задачам сообщения (доклада, учебного проекта и т. п.) и являться его компонентом.

Начальным этапом работы всегда является разработка сценария презентации и отбора материалов, на основе которых она будет создана: текстов, рисунков, зву-



кового сопровождения, видеороликов* и т. п. Не следует планировать большого количества слайдов.

Следующим этапом работы является непосредственное оформление слайдов презентации. Для того чтобы ваша презентация была признана лучшей, советуем вам воспользоваться следующими рекомендациями:

— Соблюдайте единый стиль оформления. Избегайте таких стилей, которые будут отвлекать внимание зрителей от самой презентации. На одном слайде рекомендуется использовать не более трёх цветов: один для фона, один для заголовков, один для текста. Для фона и текста используйте контрастные цвета.

— Для представления информации используйте короткие слова и предложения. Заголовки должны привлекать внимание аудитории. Предпочтительно горизонтальное расположение информации на странице. Наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана.

— Для выделения информации следует использовать жирный шрифт, курсив или подчёркивание. Помните о том, что шрифты без засечек легче читать с большого расстояния. Нельзя смешивать разные типы шрифтов в одной презентации. Нельзя злоупотреблять прописными буквами, поскольку они читаются хуже строчных.

— Не стоит заполнять один слайд слишком большим объёмом информации: люди не могут одновременно запомнить более трёх фактов, выводов или определений. Наибольшая эффективность подачи материала достигается тогда, когда ключевые пункты отображаются по одному на каждом отдельном слайде. Для обеспечения разнообразия следует использовать разные виды слайдов: с текстом, с таблицами, с диаграммами. Если на слайде располагается картинка, надпись лучше всего размещать прямо под ней.

— Вспомогательная информация не должна преобладать над основной. Не стоит также злоупотреблять различными анимационными эффектами — они не должны отвлекать внимание от содержания информации на слайде.

ЗАДАНИЕ. Составьте сценарий своей будущей презентации.

Слайд 1. Титульная страница Название: Включает:	Слайд 2 Название: Включает:
Слайд 3 Название: Включает:	Слайд 4 Название: Включает:
Слайд 5 Название: Включает:	Слайд 6 Название: Включает:

* В процессе создания презентации нельзя забывать о соблюдении авторских прав.



УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

А

Абстрагирование 27
Автотрофы 162
Активный центр 82
Амитоз 188
Анализ 26, 27
Антикодон 175
Апоптоз 185
Аппарат Гольджи (АГ) 132
Атомы 44
АТФ (аденозинтрифосфат) 93

Б

Белки:

- активаторы 84
- глобулярные 70
- движения 77
- запасные 77
- защиты и нападения 77
- ингибиторы 84
- рецепторы 78
- сигнальные 77
- структурные 78
- транспортные 78
- ферменты 77
- фибриллярные 71

Биологическая грамотность 11
Биологическая система 34
Биология 9
Биополимеры:

- гетерополимеры 47
- гомополимеры 47

Биотехнология 10

В

Вакуоли 134
Вакцина 101
Веретено деления 187
Вещества:

- гидрофильные 53
- гидрофобные 54

- неорганические 45
- органические 46

Вирусы 98
Витамины 95
Водородная связь 52
Воска 59
Восхождение от абстрактного к конкретному 27

Г

Гаметогенез:

- оогенез 194
- сперматогенез 194

Ген 89, 170
Генетический код 170
Гетеротрофы 162
Гиалоплазма 121
Гидролиз 94
Гистоны 127
Гликокаликс 120
Гликолиз 154
Граны 138

Д

Дедукция 27
Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) 86
Денатурация 73
Дисахариды 64
Дыхательная цепь 157

Е

Естественно-научная картина мира 9

Ж

Жизненные свойства 17
Жизнь 16

И

Идеализация 27
Индукция 27
Интерфаза 185



К

Кариокинез 186
Кариоплазма 126
Клеточная (плазматическая) мембрана 119
Клеточная стенка 119
Клеточная теория 113
Клеточное дыхание 156
Клеточные включения 139
Клеточный центр 122
Клеточный цикл 183
Ковалентная связь 45
Кодон 172
Конформация белка 69
Конъюгация 191
Космополиты 6
Коферменты 83
Кристы 137
Кроссинговер 191

Л

Лизосомы 132
Липиды 58

М

Макроэлементы 43
Макроэргические связи 94
Матрикс 137
Мейоз 191
Методология науки 16
Методы изучения клетки 111
Методы исследования:

- измерение 25
- моделирование 25
- наблюдение 24
- описание 24
- сравнение 25
- эксперимент 26

Микроскопия 111
Микроэлементы 44
Митоз:

- анафаза 186, 187
- метафаза 186, 187

- профазы 186
- телофаза 186, 187

Митохондрии 137
Молекулы 44
Моносахариды 63

Н

Направительные тельца 195
Научная картина мира 7
Научное мировоззрение 7
Научный метод 23
Незаменимые аминокислоты 68
Нейтральные жиры 58
Нуклеиновые кислоты 86
Нуклеотид 86

О

Обмен веществ (метаболизм):

- пластический (анаболизм) 149
- энергетический (катаболизм) 148

Объект исследования 16
Окислительное фосфорилирование 157
Олигосахариды 64
Оператор 179
Оперон 179

П

Пептидная связь 69
Пластиды 138
Полисахариды 64
Полисома 177
Предмет исследования 18
Принцип комплементарности 87
Прокариоты 143
Промотор 173

Р

Редупликация 186
Репрессор 180
Рецепция 121
Рибонуклеиновая кислота (РНК) 86
Рибосомы 125, 128



С

Саморегуляция 36
Семенник 193
Синтез 26, 27
Система 34
Сплайсинг 174
Споры 144
Сравнительно-исторический метод 28
Стероиды 61
Стоп-кодон 172
Строма 138
Субстратная специфичность 82

Т

Терминатор 173
Тилакоиды 138
Транскрипция 172
Трансляция 174
Тургорное давление 134

У

Углеводы 63
Ультрацентрифугирование 112
Учёный 7, 8

Ф

Фазы гаметогенеза:

- размножения 194
- роста 195
- созревания 195
- формирования 196

Фазы фотосинтеза:

- световая 164
- темновая 164

Фосфолипиды 60
Фотосинтез 163

Х

Хемосинтез 162
Хлорофилл 165
Хроматиды 186
Хроматин 126
Хромосомы 127

Ц

Центриоли 122
Центромера 186
Цикл Кальвина 166
Цикл Кребса 156
Цитокинез 186
Цитология 111
Цитоскелет 122

Э

Эволюция 36
Экзоцитоз 121
Эмерджентность 34
Эндоплазматическая сеть:

- гладкая 128
- шероховатая 128

Эндоцитоз:

- пиноцитоз 121
- фагоцитоз 121

Энергия активации 82
Энтропия 37
Эукариоты 143
Эфирные связи 58

Я

Ядерная оболочка 126
Ядро 126
Ядрышки 126, 127
Яичник 193



ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЁНЫЕ

БРАУН (Броун), Роберт (1773—1858) — шотландский естествоиспытатель. В 1827 г. открыл хаотичное движение пыльцевых зёрен в жидкости (позднее названное его именем). В 1831 г. описал ядро в растительной клетке.с. 126

ВИНОГРАДСКИЙ, Сергей Николаевич (1856—1953) — русский микробиолог. В 1888 г. описал энергетический обмен нитрифицирующих бактерий, доказав тем самым возможность существования хемосинтеза. В 1902—1905 гг. занимался изучением опасных инфекций, в частности чумы.с. 162

ВИРХОВ, Рудольф (1821—1902) — немецкий учёный, врач, патологоанатом, гистолог, физиолог. Один из основоположников клеточной теории в биологии и медицине, основоположник теории клеточной патологии в медицине. В 1859 г. сформулировал принцип «каждая клетка — из клетки».с. 113

ГАЙДУШЕК (Гайдюзек), Даниел (1923—2008) — американский педиатр и вирусолог словацкого происхождения. В 1950-х гг. Гайдушек вместе с Винсентом Зигасом раскрыл инфекционную природу болезни куру, распространённой в то время среди жителей Новой Гвинеи. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1976 г.с. 106

ГЕРТВИГ, Оскар (1849—1922) — немецкий зоолог. В 1875 г. он впервые описал процесс слияния ядер при оплодотворении яйцеклетки (на примере морских ежей). Позже он изучил роль клеточного ядра в наследовании и явление мейотической редукции хромосом.с. 115

ГУК, Роберт (1635—1703) — английский естествоиспытатель, один из основоположников современной физики. Среди его достижений — открытие пропорциональности между упругими растяжениями, сжатиями и изгибами и производящими их напряжениями (закон Гука), открытие постоянства температуры таяния льда и кипения воды. В 1665 г. Гук первым описал мёртвую клетку пробки растений.с. 115

Д'ЭРЕЛЬ, Феликс (1873—1949) — французский и канадский микробиолог. Изучая бактерии, вызывающие дизентерию, обнаружил инфекционного агента, вызывающего их гибель, которого назвал «бактериофаг» — пожиратель бактерий. Ему принадлежит также идея использования бактериофагов для лечения бактериальных инфекций.с. 106

ЗИГАС, Винсент (1920—1983) — австралийский врач. Работая в 1959 г. на Новой Гвинее, первым смог взять сыворотку крови у папуасов, страдавших от болезни куру, и пробы мозга человека, умершего от этого заболевания. Вместе с Даниелом Гайдушеком установил инфекционный характер болезни куру.с. 106

ИВАНОВСКИЙ, Дмитрий Иосифович (1864—1920) — русский физиолог растений и микробиолог, основоположник вирусологии. В 1892 г., исследуя мозаичную болезнь табака, открыл вирусы.с. 105



КАЛЬВИН, Мелвин (1911—1997) — американский биохимик. Родился в семье эмигрантов из России. В 1957 г. выяснил механизм усвоения растениями CO_2 (цикл, позже названный его именем) при фотосинтезе. Лауреат Нобелевской премии 1961 г. по химии.с. 166

КОЛЬЦОВ, Николай Константинович (1872—1940) — российский и советский зоолог, цитолог, генетик. Основатель советской школы экспериментальной биологии. Первым разработал гипотезу матричной репродукции хромосом, предвосхитившую главные принципиальные положения современной молекулярной биологии (1928).с. 91

КРЕБС, Ганс (1900—1981) — немецкий биохимик. В 1933 г. описал цикл трикарбоновых кислот, ныне носящий его имя, а годом раньше — цикл синтеза мочевины в печени животных. Лауреат Нобелевской премии по медицине 1953 г.с. 156

КРИК, Фрэнсис (1916—2004) — английский молекулярный биолог, биофизик и нейробиолог. Совместно с Д. Уотсоном установил структуру ДНК, а также расшифровал генетический код и описал его свойства. Известен как автор формулировки основной догмы молекулярной биологии. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 г.с. 91

ЛАМАРК, Жан Батист (1744—1829) — французский учёный-естествоиспытатель. Стал первым биологом, который попытался создать стройную и целостную теорию эволюции живого мира, известную в наше время как одна из исторических эволюционных концепций, называемая «ламаркизм». Одновременно с немецким учёным Лудольфом Тревиранусом (и независимо от него) ввёл в употребление термин «биология».с. 14

ЛЕВЕНГУК, Энтони ван (1632—1723) — нидерландский натуралист, конструктор микроскопов, основоположник научной микроскопии. В 1668 г. изготовил свой первый микроскоп. Открыл эритроциты, описал бактерий (1683), дрожжи, простейших, волокна хрусталика, чешуйки эпидермиса кожи, зарисовал сперматозоиды (1677).с. 115

ЛЕПЕШИНСКАЯ, Ольга Борисовна (1871—1963) — советский биолог. Основные труды посвящены исследованию оболочек животных клеток, гистологии костной ткани. Приобрела известность в связи с теорией новообразования клеток из бесструктурного «живого вещества» (1934), которая не получила последующего подтверждения и была объявлена ненаучной.с. 114

МАЙЕР, Юлиус (1814—1878) — немецкий врач и естествоиспытатель. В 1842 г. опубликовал работу «Замечания о силах неживой природы», в которой теоретически обосновал справедливость закона сохранения энергии применительно к живым системам.с. 169

МАККАРТИ, Маклин (1911—2005) — американский генетик. Вместе с О. Эвери и К. Маклаудом установил роль ДНК в передаче наследственной информации.с. 91

МАКЛАУД, Колин (1909—1972) — канадский и американский генетик. Начал свой путь в науке с изучения воздействия антибиотиков на клетки бактерий. Вместе



с О. Эвери и М. Маккарти установил роль ДНК в передаче наследственной информации.с. 91

МЕЧНИКОВ, Илья Ильич (1845—1916) — русский и французский биолог. Один из основоположников эволюционной эмбриологии, создатель сравнительной патологии воспаления, фагоцитарной теории иммунитета, основатель научной геронтологии. В 1882 г. открыл явление фагоцитоза и внутриклеточного пищеварения. Лауреат Нобелевской премии 1908 г. в области физиологии и медицины.с. 116

МИШЕР, Фридрих (1844—1895) — швейцарский физиолог и гистолог. В 1869 г. впервые выделил ДНК. Исследовал зависимость процессов движения и дыхания у различных живых существ, а также изменение состава крови при восхождении в горы.с. 91

НЬЮТОН, Исаак (1643—1727) — английский физик, математик, механик и астроном, один из создателей классической физики. Автор фундаментального труда «Математические начала натуральной философии», в котором он изложил закон всемирного тяготения и три закона механики, ставшие основой классической механики.с. 15

ОГАНОВ, Артём Ромаевич (род. в 1975 г.) — российский химик, физик, материаловед. Наиболее известен как автор работ по созданию методов компьютерного дизайна новых материалов и предсказания кристаллических структур. Занимается также изучением состояния вещества при высоких давлениях, в частности в недрах Земли и других планет.с. 51

ПАЛЛАДИН, Александр Владимирович (1885—1972) — советский биохимик. Впервые в СССР начал систематическое экспериментальное изучение биохимии витаминов, занимался изучением процессов их превращения в тканях животного организма, а также вопросами расстройства обмена веществ при различных авитаминозах.с. 95

ПОППЕР, Карл Раймунд (1902—1994) — австрийский философ и социолог. Наиболее известен своими трудами по философии науки, а также социальной и политической философии, в которых он критиковал классическое понятие научного метода.с. 15

ПУРКИНЬЕ (Пуркине), Ян (1787—1869) — чешский физиолог. В 1825 г. описал клеточное ядро, в 1833 г. открыл потовые железы, в 1834 г. при изучении яйцеводов позвоночных открыл мерцательный эпителий.с. 115

РУЗ, Теодор (1771—1803) — немецкий анатом и физиолог. Занимался изучением деятельности мышц человеческого организма. Впервые употребил в своих работах термин «биология».с. 14

СТРАСБУРГЕР, Эдуард (1844—1912) — немецкий ботаник польского происхождения. В 1875—1888 гг. им было установлено, что процессы деления ядра в клетках растений протекают так же, как в клетках животных, т. е. одинаково



для всех живых организмов. В 1884 г. впервые наблюдал у цветковых растений процесс слияния ядра спермия с ядром яйцеклетки. с. 115

ТИНБЕРГЕН, Николас (1907—1988) — нидерландский этолог и орнитолог. Один из создателей этологии — науки о поведении животных. Сформулировал положение о том, что инстинкт не просто представляет собой ответ на стимулы окружающей среды, а возникает благодаря импульсам или побуждениям, исходящим от самого животного, и смог доказать его экспериментально. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1973 г. с. 27

ТРЕВИАНУС, Лудольф Кристиан (1779—1864) — немецкий ботаник и врач. Его основные труды посвящены анатомии, эмбриологии и физиологии растений. В работе «О внутреннем строении растений и о движении в них соков» (1806) доказал, что сосуды растений развиваются из клеток, ещё до создания клеточной теории. Одним из первых стал применять в своих трудах термин «биология». с. 14

УИЛКИНС, Морис (1916—2004) — английский физик и молекулярный биолог. Родился в Новой Зеландии. Первым получил снимки, показывающие, что молекула ДНК имеет спиральную структуру (позже они, а также рентгенограммы Р. Франклин были использованы Д. Уотсоном и Ф. Криком при расшифровке структуры ДНК). Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 г. ... с. 91

УОТСОН, Джеймс (род. в 1928 г.) — американский биолог. В 1952 г. Уотсон вместе с Ф. Криком начал работать над моделированием структуры ДНК. При помощи рентгенограмм Р. Франклин и М. Уилкинса через год учёным удалось построить двухспиральную модель этой молекулы. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1962 г. с. 91

ФЛЕММИНГ, Вальтер (1843—1905) — немецкий биолог, основатель цитогенетики. При помощи анилиновых красителей Флеммингу в 1786 г. удалось выявить структуры клеток, которые интенсивно окрашивались и потому были названы им «хроматин». В 1878 г. предложил термин «митоз». с. 115

ФОНТАНА, Феличе (1730—1805) — итальянский химик и натуралист, аббат. Профессор Пизанского университета, директор естественно-исторического музея во Флоренции. В 1781 г. впервые зарисовал структуру, позже описанную как клеточное ядро. с. 115

ФРАНКЛИН, Розалинда (1920—1958) — английский биофизик и учёный-рентгенограф. Занималась изучением структуры ДНК. Сделанные ею снимки отличались особой чёткостью и, по некоторым сведениям, послужили основанием для выводов о структуре ДНК, сделанных работавшими в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета Д. Уотсоном и Ф. Криком. с. 91

ХЕРШИ, Алфред (1908—1997) — американский бактериолог и генетик. В 1952 г. вместе с М. Чейз поставил серию экспериментов, доказавших, что наследственная информация хранится в ДНК, а не в белках. Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1969 г. с. 91



ХИРШ, Хорхе (род. в 1953 г.) — американский физик родом из Аргентины. Научная работа Хирша связана с физикой твёрдого тела, сверхпроводимостью и ферромагнетизмом. Известен тем, что ввёл в 2005 г. понятие «индекс Хирша» — индекс цитирования для определения производительности работы учёного.с. 32

ЧЕЙЗ, Марта (1927—2003) — американский генетик. Автор знаменитого эксперимента «Херши—Чейз», доказавшего, что наследственная информация хранится в ДНК, а не в белках. Её основные работы были посвящены исследованию бактериофагов.с. 91

ШВАНН, Теодор (1810—1882) — немецкий цитолог, гистолог и физиолог. В 1839 г. опубликовал работу «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений», в которой изложил первую версию клеточной теории.с. 113

ШЛЕЙДЕН, Маттиас (1804—1881) — немецкий ботаник. Основные труды Шлейдена были посвящены эмбриологии и анатомии растений. В 1838 г. в работе «Материалы к филогенезу» впервые высказал идею о том, что клетка является элементарной единицей всего живого.с. 113

ШМИДТ, Карл (1822—1894) — российский химик немецко-балтийского происхождения. Установил кристаллические структуры многих важных биохимических веществ: мочевого кислоты, щавелевой кислоты и её солей, молочной кислоты, холестерина, стеарина и др. Предложил термин «углеводы» в 1844 г.с. 63

ШРЁДИНГЕР, Эрвин (1887—1961) — австрийский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. Шрёдингеру принадлежит ряд фундаментальных результатов в области квантовой теории, которые легли в основу волновой механики. В книге «Что такое жизнь?» Шрёдингер обратился к проблемам генетики, взглянув на феномен жизни с точки зрения физики. Лауреат Нобелевской премии по физике 1933 г.с. 37

ЭВЕРИ, Освальд (1877—1955) — американский молекулярный биолог, иммунолог, медик. В ходе спланированных им вместе с М. Маккарти и К. Маклаудом экспериментов была изучена возможность передачи генов между бактериями при помощи различных органических соединений, выделенных из бактерий.с. 91

ЭНГЕЛЬС, Фридрих (1820—1895) — немецкий философ. В 1873—1883 гг. работал над созданием труда, посвящённого философии естествознания, — «Диалектика природы», в котором хотел дать диалектико-материалистическое обобщение достижений естественных наук. Многие положения Энгельса, сформулированные во время этой работы, стали основой современного естествознания.с. 18



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
§ 1. Биология в системе наук	6
§ 2. Объект изучения биологии	16
§ 3. Методы научного познания в биологии	23
§ 4. Биологические системы и их свойства	32
ГЛАВА 1. МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВЕНЬ	41
§ 5. Молекулярный уровень: общая характеристика	42
§ 6. Неорганические вещества: вода, соли	52
§ 7. Липиды, их строение и функции	58
§ 8. Углеводы, их строение и функции	63
§ 9. Белки. Состав и структура белков	68
§ 10. Белки. Функции белков	76
§ 11. Ферменты — биологические катализаторы	81
§ 12. Нуклеиновые кислоты: ДНК и РНК	86
§ 13. АТФ и другие нуклеотиды. Витамины	93
§ 14. Вирусы — неклеточная форма жизни	98
ГЛАВА 2. КЛЕТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ	109
§ 15. Клеточный уровень: общая характеристика. Клеточная теория	110
§ 16. Строение клетки. Клеточная мембрана. Цитоплазма	118
§ 17. Рибосомы. Ядро. Эндоплазматическая сеть	125
§ 18. Вакуоли. Комплекс Гольджи. Лизосомы	132
§ 19. Митохондрии. Пластиды. Органоиды движения. Клеточные включения	137
§ 20. Особенности строения клеток прокариотов и эукариотов	143
§ 21. Обмен веществ и превращение энергии в клетке	148
§ 22. Энергетический обмен в клетке. Гликолиз и окислительное фосфо- рирование	154
§ 23. Типы клеточного питания. Фотосинтез и хемосинтез	161
§ 24. Пластический обмен: биосинтез белков	169
§ 25. Регуляция транскрипции и трансляции в клетке и организме	178
§ 26. Деление клетки. Митоз	183
§ 27. Деление клетки. Мейоз. Половые клетки	190
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Лабораторный практикум	200
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Шаги к успеху	205
УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ	215
ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЁНЫЕ	218

Учебное издание

Серия «Линия жизни»

Пасечник Владимир Васильевич
Каменский Андрей Александрович
Рубцов Александр Михайлович
Швецов Глеб Геннадьевич
Гапонюк Зоя Георгиевна

БИОЛОГИЯ

10 класс

Базовый уровень

Учебник

Центр биологии и естествознания

Ответственный за выпуск *Д. Р. Вайнштейн*

Редактор *А. В. Евсеев*

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*

Художники *И. В. Косякин, А. Г. Ланько*

Внешнее оформление и макет *О. Г. Ивановой*

Технический редактор *С. Н. Терехова*

Компьютерная вёрстка *М. В. Старшовой*

Компьютерная обработка рисунков *Т. В. Глушковой*

Корректоры *Н. В. Белозёрова, Г. Н. Смирнова*

Дата подписания к использованию 16.11.2023. Формат 84 × 108/16.

Гарнитура NewtonCSanPin. Усл. печ. л. 23,52. Уч.-изд. л. 15,09.

Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».
Российская Федерация, 127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16,
стр. 3, помещение 1Н.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — vopros@prosv.ru.