

Серия
«Большая перемена»

Т. А. ШУСТАНОВА

РЕПЕТИТОР ПО БИОЛОГИИ

**ДЛЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ
И ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ**

- ◆ **Подготовка к ОГЭ и ЕГЭ**
- ◆ **Теоретический курс**
- ◆ **Тестовые задания**
- ◆ **Эталоны ответов**

Издание 3-е

Ростов-на-Дону
«ФЕНИКС»
2023

УДК 373.167.1:57

ББК 28.0я72

КТК 445

Ш97

*Под редакцией доктора биологических наук,
профессора Бурикова А. А.*

Шустанова Т. А.

Ш97 Репетитор по биологии для старшеклассников и поступающих в вузы / Т. А. Шустанова. — Изд. 3-е. — Ростов н/Д : Феникс, 2023. — 575 с. : ил. — (Большая перемена).

ISBN 978-5-222-39060-3

В настоящем пособии изложены теоретические основы современной биологии и различные варианты тестовых заданий ЕГЭ по биологии с последними методическими указаниями и правильными ответами. «Репетитор по биологии» составлен на базе Федерального государственного образовательного стандарта по биологии и программы для поступающих в вузы.

В теоретической части пособия достаточно подробно рассматриваются вопросы биологии в соответствии с уровнями организации живой природы от клеточно-молекулярного до биосферного. Материал систематизирован, иллюстрирован наглядными схемами, таблицами, рисунками, изложен просто и доступно, что дает возможность полноценно изучить курс биологии самостоятельно.

Книга предназначена для быстрой и качественной подготовки учащихся общеобразовательных учреждений к ОГЭ и ЕГЭ для поступления на биологические, медицинские, педагогические, психологические, сельскохозяйственные, ветеринарно-санитарные, физкультурные, спортивные специальности, профили и направления обучения.

Будет полезна абитуриентам вузов, учащимся старших классов школ, учителям общеобразовательных учреждений, преподавателям вузов и методистам.

УДК 373.167.1:57

ББК 28.0я72

ISBN 978-5-222-39060-3 © Шустанова Т. А., 2021

© Оформление: ООО «Феникс», 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Репетитор по биологии» предназначен для самоподготовки абитуриентов и выпускников старших классов школ, а также может служить пособием для преподавателей биологии и методистов.

Книга содержит два раздела: «Теоретические основы современной биологии» и «Материалы для самостоятельной работы по подготовке к ЕГЭ».

В содержание первого раздела «Репетитора по биологии» включены главы, посвященные характеристике разных уровней организации живой природы: «Биология — наука о живой природе», «Клетка как биологическая система», «Организм как биологическая система», «Многообразие организмов. Особенности их строения и жизнедеятельности», «Организм человека и его здоровье», «Надорганизменные системы. Эволюция органического мира», «Экосистемы и закономерности их функционирования». Материал изложен в доступной, систематизированной форме с включением сравнительных таблиц, схем, рисунков. Глубокая теоретическая подготовка способствует лучшему усвоению знаний и выполнению тестовых заданий. Особое внимание уделено контролю биологических понятий, процессов, явлений, установлению взаимосвязей в системе разноуровневой организации природы. В пособии приведены контрольные вопросы к главам и тестовые задания ко всем разделам биологии.

Второй раздел книги включает анализ наиболее трудных заданий ЕГЭ, методические рекомендации, тесты и задания для подготовки учащихся к экзамену в форме ЕГЭ.

Единый государственный экзамен (ЕГЭ) по биологии в школах России является одним из важнейших современных направлений в концепции модернизации российского образования. Предложенная форма экзамена по биологии совмещает функции выявления уровня знаний выпускников и их дифференциации для отбора в вуз, чему служат специальные контрольные измерительные материалы (КИМ), содержащие тестовые задания разной степени сложности. Нетрадиционная форма проведения экзамена, а главное, особенности содержания КИМ для ЕГЭ по биологии требуют специальной подготовки к нему учащихся.

«Репетитор по биологии» включает характеристику и содержание КИМ для ЕГЭ по биологии в соответствии со спецификацией и кодификатором тем, методические рекомендации, образцы и анализ выполнения тестовых заданий ЕГЭ по биологии, представляющих наибольшую сложность для учащихся, с приложением разнообразных вариантов тестовых заданий всех типов и верных ответов к ним, для самопроверки знаний. Также в пособие включены образцы экзаменационных вариантов ЕГЭ по биологии с правильными ответами. Некоторые важные выводы и рекомендации позволят избежать общераспространенных ошибок и сдать ЕГЭ на 100 баллов.

Как пользоваться книгой

Содержание «Репетитора по биологии» построено в соответствии с требованиями к уровню подготовки выпускников, предусмотренными Федеральным компонентом государственного образовательного стандарта основного общего и среднего (полного) общего образования по биологии (приказ Минобрнауки России № 1089 от 05.03.2004). Экзаменационные варианты ЕГЭ также составляются на основе представленного материала.

Во-первых, необходимо повторить учебный материал по всем темам или изучить новый.

Во-вторых, рекомендуется ответить на контрольные вопросы после каждой главы. Для лучшего усвоения теории полезно проводить анализ схем, таблиц, рисунков по каждой теме, самостоятельно составлять схемы-конспекты, словари основных терминов и понятий.

В-третьих, для закрепления полученных знаний и навыков следует выполнять тесты и задания, приведенные в разделе II.

«Репетитор по биологии» содержит всю необходимую информацию и может быть полезен для самостоятельной, быстрой и качественной подготовки учащихся к ОГЭ и ЕГЭ по биологии.

Желаем Вам удачи!!!

РАЗДЕЛ I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ

ГЛАВА 1

БИОЛОГИЯ — НАУКА О ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

1.1. БИОЛОГИЯ КАК НАУКА, ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биология (от «био»... и «логос») — наука о жизни. Биология изучает проявления жизнедеятельности: строение и функции, среду обитания всех живых организмов — бактерий, грибов, растений и животных, а также их природных сообществ, распространение, происхождение и развитие, связи друг с другом и неживой природой. Термин «биология» был предложен в 1802 г. (независимо друг от друга) Ж.Б. Ламарком и Г.Р. Тревиранусом.

Живое на Земле представлено необычайным разнообразием форм, множеством видов живых существ. В настоящее время уже известно около 500 тыс. видов растений, более 1,5 млн видов животных, большое количество видов грибов и прокариот, населяющих нашу планету. Ученые постоянно обнаруживают и описывают новые виды. Раскрытие общих свойств живых организмов и объяснение причин их многообразия, выявление связей между строением и условиями окружающей среды относятся к основным задачам биологии.

Одними из первых в биологии сложились комплексные науки по объектам исследования. *Ботаника* исследует строение и жизнедеятельность растений, *зоология* — животных, *анатомия* и *физиология* как основа медицины — человека. Позже в пределах зоологии сформировались более узкие дисциплины — протозоология (учение о простейших), *энтомология* (учение о насекомых),

орнитология (учение о птицах) и другие, в ботанике — *альгология* (учение о водорослях), *бриология* (учение о мхах), *дендрология* (учение о древесных растениях) и другие. В самостоятельные науки выделились *микробиология* (наука о микроорганизмах), *микология* (наука о грибах), *лихенология* (наука о лишайниках), *вирусология* (наука о вирусах). Многообразие организмов и распределение их по группам изучает систематика. Исследованием прошлой истории органического мира занимается *палеонтология*.

Вместе с тем выделились и развиваются области биологии, изучающие общие свойства живых организмов. Форму и строение организмов исследуют морфологические дисциплины — *цитология* (учение о клетке), *гистология* (учение о тканях), *анатомия* (учение о строении систем органов и организма в целом). Функции живых организмов изучает *физиология*, состав и ультраструктуру клеток и тканей, пути превращения органических молекул — *биохимия*, *биофизика*, *молекулярная биология*, закономерности наследственности и изменчивости — *генетика*, закономерности индивидуального развития — *эмбриология* (или биология развития), вопросы возникновения и законы исторического развития жизни на Земле — *эволюционное учение*. Образ жизни популяций организмов и их взаимоотношения с окружающей средой изучают *экология* и ее специальные разделы — *гидробиология*, *биогеография*, *биогеоценология* и другие, закономерности поведения животных — *этология*.

Биология использует различные **методы исследования**: исторический, описательный, сравнительный, экспериментальный, моделирование. Широко используются инструментальные методы, такие как *микроскопия* (светооптическая и электронная), *электрография*, *радиолокация*, *центрифугирование*, *спектрофотометрия*, *спектрофлуориметрия*, *электроэнцефалография* и другие.

В самых разных областях биологии все больше возрастает значение пограничных дисциплин, связывающих биологию с другими науками — физикой, химией, математикой, кибернетикой и пр. Так возникли *биофизика*, *биохимия*, *биометрия*, *бионика*. В связи с практическими потребностями человека появились *радиобиология*, *космическая биология*, *физиология труда*, *социобиология*.

Значение биологии для человека огромно. Так, **практическое применение достижений современной биологии** в настоящее время позволяет совершенствовать агро- и зоотехнику, выводить более продуктивные сорта растений и породы животных. Уровень зна-

ний в области биогеографии и экологии определяют возможность и эффективность интродукции и акклиматизации. Развитие в последние годы *генной инженерии* открывает широкие перспективы для биотехнологии биологически активных и лекарственных веществ. Биохимические исследования позволяют полнее использовать получаемые органические вещества растительного и животного происхождения, а также их лабораторного и промышленного синтеза.

Исключительно важное значение имеет биология как теоретическая основа ведения сельского, лесного и промыслового хозяйства. Познание закономерностей размножения и распространения болезнетворных вирусов и бактерий, а также паразитических организмов необходимо для успешной борьбы с инфекционными и паразитарными заболеваниями человека, животных, растений. На основе изучения взаимоотношений между организмами созданы биологические методы борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, многие приспособления живых организмов послужили моделями для конструирования эффективных искусственных сооружений и механизмов (*бионика*).

Прогресс биологии в XX—XXI вв. определяет ее возросшую роль среди других наук и для существования всего человечества. Только на основе биологических исследований возможно управление эволюцией биосферы с целью сохранения и поддержания условий существования и развития человечества. При этом вся хозяйственная деятельность человека должна осуществляться с учетом принципов организации биосферы.

1.2. ОСНОВНЫЕ УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Живая природа представляет собой целостную сложноорганизованную иерархическую систему. Выделяют следующие взаимосвязанные между собой **уровни организации живой материи**.

1. **Молекулярный**. Это самый низший уровень организации живого, представленный отдельными молекулами органических и неорганических веществ, входящих в состав клеток организма. Любая живая система проявляется на уровне функционирования биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов, липидов и других органических веществ. С этого уровня начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности

организма: обмен веществ и превращение энергии, передача наследственной информации и пр.

2. **Клеточный.** Отдельная клетка — структурно-функциональная единица и единица размножения и развития всех живых организмов, обитающих на Земле.

3. **Тканевый.** Ткань представляет собой совокупность сходных по строению и происхождению клеток, объединенных выполнением общей функции.

4. **Органный.** Орган — структурно-функциональное объединение нескольких типов тканей (например, кожа человека как орган включает эпителий и соединительную ткань).

5. **Организменный.** Многоклеточный организм представляет собой целостную систему органов, специализированных для выполнения различных функций. Это отдельная особь определенного вида, способная к развитию как живая система от момента зарождения до прекращения существования.

6. **Популяционно-видовой.** Совокупность организмов одного и того же вида, объединенных общим местом обитания, создает популяцию как систему надорганизменного порядка. **Вид** — совокупность особей, обладающих наследственным сходством морфологических, физиологических и биологических особенностей, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство, приспособленных к определенным условиям жизни, занимающих в природе определенный ареал. В этой системе осуществляются простейшие, элементарные эволюционные преобразования.

7. **Биогеоценотический.** Биогеоценоз — совокупность организмов разных видов и различной организации со всеми факторами среды их обитания.

8. **Биосферный.** Биосфера — самый высокий уровень организации на нашей планете — совокупность всех биогеоценозов, включающая все явления жизни на Земле. На этом уровне происходят круговорот веществ в природе и превращение энергии, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, населяющих атмо-, гидро- и литосферу Земли.

1.3. ПРИЗНАКИ И СВОЙСТВА ЖИВОГО

Живые организмы резко отличаются от неживых систем исключительной сложностью и высокой структурной и функциональной упорядоченностью. Эти отличия придают жизни ка-

чественно новые свойства. Живое представляет собой особую, высшую ступень развития материи. Составные части организма — клетки, ткани и органы — в сумме еще не представляют собой целостный организм. Лишь соединение их в порядке, исторически сложившемся в процессе эволюции, и взаимодействие образуют целостную систему — организм, которому присущи определенные свойства, отличающие живое от неживой природы.

Выделяют следующие *признаки и свойства живого*.

1. **Единство химического состава.** В живых организмах 98% химического состава приходится на четыре биогенных элемента: кислород (O), углерод (C), водород (H) и азот (N). В основном из этих элементов построены сложные органические молекулы — биологические полимеры: нуклеиновые кислоты, белки, полисахариды, жиры в составе клеток всех живых организмов.

2. **Обмен веществ и энергии (метаболизм).** Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой, поглощая из нее необходимые вещества и выделяя продукты жизнедеятельности. Обмен веществ обеспечивает постоянство химического состава и строения всех частей организма и как следствие их функционирование в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, т.е. *гомеостаз*.

3. **Энергозависимость.** Живые тела представляют собой открытые для поступления энергии системы, устойчивые лишь при условии непрерывного доступа к ним энергии и материи извне. Живые организмы существуют до тех пор, пока в них поступают энергия и материя из окружающей среды.

4. **Саморегуляция** — способность живых организмов, обитающих в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды, поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность физиологических процессов.

5. **Самовоспроизведение, или репродукция.** Размножение — свойство организмов воспроизводить себе подобных. В основе самовоспроизведения лежит образование новых молекул и структур на основе информации, заложенной в молекуле ДНК. Самовоспроизведение тесно связано с явлением наследственности.

6. **Наследственность** — свойство организмов обеспечивать передачу признаков и особенностей развития из поколения в поколение.

7. **Изменчивость** — способность организмов приобретать новые признаки и свойства, в основе которой лежит изменение

молекул ДНК. Изменчивость создает разнообразный материал для естественного отбора.

8. **Развитие и рост.** Развитие живой формы существования материи представлено индивидуальным развитием организмов, т.е. их *онтогенезом*, и историческим развитием видов, или *филогенезом*. Развитие сопровождается ростом. В процессе развития постепенно и последовательно возникает специфическая структурная организация индивида, а увеличение его массы обусловлено репродукцией макромолекул, элементарных структур клеток и самих клеток. *Филогенез*, или *эволюция в целом*, — необратимое и направленное развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением жизни. Результатом эволюции является все многообразие живых организмов на Земле.

9. **Раздражимость** — свойство организма избирательно реагировать на внешние и внутренние воздействия — лежит в основе психических функций живых существ.

10. **Ритмичность** — периодические изменения интенсивности физиологических функций с различными периодами колебаний (суточные, сезонные ритмы). Ритмичность обеспечивает согласование функций организма с окружающей средой, т.е. приспособление к периодически изменяющимся условиям существования.

11. **Дискретность.** Каждая биологическая система (клетка, организм, популяция, биогеоценоз и др.) состоит из обособленных или отграниченных в пространстве, но тем не менее тесно связанных и взаимодействующих между собой частей, образующих структурно-функциональное единство.



Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте биологию как науку. Перечислите ее цели, задачи, предмет изучения.
2. Назовите и охарактеризуйте основные разделы и направления исследований современной биологии.
3. Перечислите и охарактеризуйте основные методы биологических наук. Приведите примеры их использования.
4. Укажите связь биологии с другими науками. Приведите примеры таких смежных наук и поясните область их исследований и практического применения в интересах человека.

5. Укажите различные направления практического использования достижений современной биологии.
6. Перечислите и охарактеризуйте уровни организации живой природы. Приведите примеры.
7. Назовите и поясните главные свойства живых организмов, отличающие их от тел неживой природы.

ГЛАВА 2

КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

2.1. КЛЕТКА — СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЕДИНИЦА ЖИВОГО

Формированию современных представлений о клетке предшествовала длительная история развития цитологии, связанная с созданием и усовершенствованием оптических устройств, позволяющих рассматривать и изучать клетки (табл. 1).

Таблица 1

История клеточной биологии

Даты	Знаменательные события в истории биологии клетки
1590	Отец и сын Янсен изобрели микроскоп, в котором большое увеличение обеспечивалось соединением двух линз
1609	Г. Галилей сконструировал первый микроскоп
1665	Р. Гук, пользуясь усовершенствованным микроскопом, изучал строение пробки и впервые употребил термин «клетка»
1650–1700	А. ван Левенгук усовершенствовал микроскоп, наблюдал и впервые описал бактерии, простейших (инфузорий), сперматозоиды, эритроциты, пластиды, хроматофоры
1700–1800	Опубликовано множество новых описаний и рисунков различных (преимущественно растительных) тканей
–	Улучшено качество линз и усовершенствован микроскоп (В. Долланд, Х.Г. Гертель, Э. Аббе и др.)
1831–1833	Р. Браун описал ядро в растительных клетках
1838–1839	Ботаник М. Шлейден и физиолог Т. Шванн сформулировали клеточную теорию , постулировавшую, что основной единицей структуры и функции в живых организмах является клетка

Окончание табл. 1

Даты	Знаменательные события в истории биологии клетки
1840	Я. Пуркинё предложил термин « протоплазма » для обозначения клеточного содержимого. Позднее был введен термин « цитоплазма » (цитоплазма + ядро = протоплазма)
1859	Р. Вирхов показал, что все клетки образуются из других клеток путем клеточного деления
1865	Опубликованы законы наследственности Г. Менделя
1866	Э. Геккель установил, что хранение и передачу наследственных признаков осуществляет ядро
1866–1888	Подробно изучено клеточное деление и описаны хромосомы
1880–1883	Открыты пластиды, в частности хлоропласты
1890	Открыты митохондрии
1898	Открыт аппарат Гольджи
1887–1900	Усовершенствован микроскоп, а также методы фиксации, окрашивания препаратов и приготовления срезов. Цитология приобретает экспериментальный характер. Ведутся эмбриологические исследования. Одной из отраслей цитологии становится цитогенетика , занимающаяся изучением роли ядра в передаче наследственных признаков
1900	Переоткрыты законы Г. Менделя
1930-е гг.	Появился электронный микроскоп, обеспечивающий более высокое разрешение
С 1946 г. и по настоящее время	Электронный микроскоп получил широкое распространение в биологии, предоставив возможность исследовать ультраструктуру клетки

Клеточная теория строения организмов была сформулирована в 1838 г. немецкими учеными Т. Шванном и М. Шлейденом. В настоящее время **основные положения клеточной теории** формулируются так:

- ♦ клетка — структурно-функциональная и генетическая единица, а также единица развития всех живых организмов;
- ♦ клеткам присуще мембранное строение;
- ♦ ядро — главная составная часть эукариотической клетки;
- ♦ клетки размножаются только делением материнской клетки;

- ♦ клеточное строение организмов — свидетельство единого происхождения живых организмов.

Цитология — наука, изучающая состав, строение и функции клетки. Создание светового, а затем и электронного микроскопа, использование методов ультрацентрифугирования, биохимии и молекулярной биологии позволили глубоко проникнуть в изучение клетки, познать ее сложную структуру и многообразие протекающих в ней биохимических процессов.

В биологии используют следующие **современные методы исследования**:

1) **световая и электронная микроскопия** (для цитологического изучения крупных и мелких клеточных структур);

2) **центрифугирование** (для разделения клеточных структур разной массы и плотности на фракции, оседающие с различной скоростью, при вращении центрифуги);

3) **хроматография** (для разделения и анализа смеси веществ, например, пигментов листа по составу и массе при разной скорости движения молекул через адсорбент);

4) **электрофорез** (для разделения молекул белков или ДНК по массе и заряду при разной скорости движения веществ в электрическом поле);

5) **метод меченых атомов** (введение радиоактивных изотопов атомов в биомолекулы для изучения биохимических реакций в клетке, прохождения веществ через мембрану);

6) **секвенирование** (для расшифровки состава и последовательности нуклеотидов ДНК в геноме);

7) **генная инженерия у бактерий** (например, для производства белка инсулина с помощью генномодифицированных бактерий);

8) **клеточная инженерия у животных** (например, для получения гибридом — гибридных клеток между опухолевыми клетками и лимфоцитами, вырабатывающими антитела);

9) **метод культуры тканей у растений и животных, микроклональное размножение** (искусственное выращивание тканей и организмов из соматических клеток вне организма на питательной среде).

Простейшие и микроорганизмы представляют собой отдельные клетки. Тело всех многоклеточных состоит из большего или меньшего числа клеток, которые являются своего рода блоками, образующими сложный организм. Независимо от того, представляет собой клетка целостную живую систему или ее часть, она имеет набор признаков и свойств, общих для всех клеток.

2.2. ХИМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КЛЕТКИ

В состав клетки входит большинство химических элементов Периодической системы Д.И. Менделеева. По *содержанию* в клетке химические элементы подразделяют на **три группы**:

1) **макроэлементы** — главные компоненты всех органических соединений, на долю которых приходится около 98% массы клетки, — кислород, углерод, водород и азот. Это **основные биогенные элементы**.

К группе макроэлементов относят также калий, натрий, магний, железо, кальций, серу, фосфор, хлор, содержание которых в клетке составляет десятые и сотые доли процента;

2) **микроэлементы** — элементы, содержащиеся в клетке в очень малых количествах, менее 0,001% (бор, кобальт, медь, молибден, цинк, ванадий, йод, бром и др.). Эти элементы входят в состав гормонов, витаминов, ферментов, биологически активных веществ, обуславливая их активность;

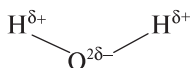
3) **ультрамикроэлементы** — элементы, концентрация которых в клетке составляет порядка 0,000001% (уран, радий, золото, ртуть, бериллий, цезий, селен и др.), также обладающие определенной биологической активностью в процессах жизнедеятельности организма.

Каждый из химических элементов выполняет важную **функцию в клетке**. Так, например, *кислород* и *водород* входят в состав воды, а вместе с *углеродом* и *азотом* — в состав различных биологических соединений — белков, липидов, нуклеиновых кислот, полисахаридов и пр. *Калий, кальций, натрий* и *хлор* участвуют в формировании нервного импульса. *Магний, марганец, цинк* и *медь* являются активаторами ферментов, влияют на процессы тканевого дыхания. *Кальций* — основной компонент костей и зубов, он необходим также для мышечного сокращения, процессов свертывания крови, является посредником в механизме действия гормонов. *Медь* входит в состав окислительных ферментов, *железо* — в состав гемоглобина, миоглобина, *магний* — структурный компонент хлорофилла. *Сера* входит в состав серосодержащих аминокислот белков, фосфор — в состав нуклеиновых кислот, костной ткани. *Бор* необходим некоторым растениям, *кобальт* входит в состав витамина В₁₂, *фтор* — в состав эмали зубов, *йод* — в состав гормона щитовидной железы — тироксина и т.д.

Вышеперечисленные химические элементы образуют молекулы неорганических и органических веществ.

2.2.1. Неорганические вещества: вода и минеральные соли

Вода — важнейшее неорганическое соединение живых клеток и организмов — составляет около 80% массы тела. Молекула воды представляет собой диполь, т.е. полярна (в целом электро-нейтральна), что обуславливает ее способность активно вступать во взаимодействие с различными соединениями:



Функции воды в клетке и организме следующие.

1) Вода — универсальный растворитель для органических и неорганических веществ. Все химические реакции протекают в воде. Полярность молекул воды и способность образовывать *водородные связи* (каждая молекула воды может образовывать 4 водородные связи с другими молекулами воды и полярными молекулами других веществ) делают воду хорошим растворителем для огромного количества неорганических и органических веществ. По растворимости в воде вещества подразделяют на *гидрофильные* (водорастворимые, например соли, простые сахара) и *гидрофобные* (нерастворимые в воде, например жиры, сложные углеводы). Молекулы воды вызывают расщепление ряда водорастворимых веществ на катионы и анионы;

2) вода обеспечивает формирование пространственной структуры белков, нуклеиновых кислот, биомембран по принципу амфипатичности (водорастворимости);

3) вода обуславливает *pH среды (кислотность)*, что определяется концентрацией продуктов ионизации воды (H^+ , OH^-) и влияет на свойства белков, ферментов, нуклеиновых кислот, липидов;

4) вода вступает в реакции гидролиза, обеспечивая окисление высокомолекулярных органических соединений (белков, углеводов, жиров);

5) вода — это среда для транспорта веществ (обмена веществ), диффузии, обеспечивает как приток веществ в клетку, так и удаление из нее продуктов жизнедеятельности;

б) вода обладает хорошей теплопроводностью и большой теплоемкостью, выполняет функцию терморегуляции в живых организмах;

7) вода является осморегулятором, влияет на физические свойства клетки: упругость, тургор, изменение объема.

Минеральные соли. Большая часть неорганических веществ клетки находится в виде солей — либо диссоциированных на ионы (K^+ , Na^+ , Ca^{2+}), либо в твердом состоянии. От концентрации солей внутри клетки зависят буферные свойства — способность поддерживать слабощелочную реакцию ($pH=7,2$) внутриклеточного содержимого на постоянном уровне. Внесение или образование в процессе обмена веществ небольших количеств кислоты или щелочи не влияет на значение pH вследствие образования соединений с карбонатами, фосфатами или органическими кислотами.

Катионы K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} и другие имеют различную концентрацию в клетке и во внеклеточной среде. Так, в живой клетке катионов калия гораздо больше, чем натрия, а во внеклеточной среде, наоборот, вследствие избирательной проницаемости мембран. Катионы создают осмотическое давление и обеспечивают поступление воды в клетку. **Анионы** HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, HCO_3^- , Cl^- входят в состав буферных систем крови и определяют постоянство pH внутренней среды. Таким образом, функции минеральных солей в клетке состоят в обеспечении постоянства pH внутриклеточной среды, активации ферментов, создании мембранных потенциалов, осмотического давления в клетке и т.д.

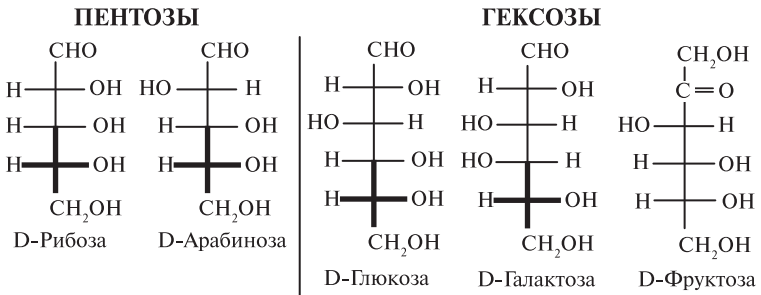
2.2.2. Органические вещества: углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты, АТФ

Органические соединения составляют в среднем 20–30% массы клетки живого организма. К ним относятся биологические полимеры: углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты, а также витамины, гормоны, пигменты, регуляторные пептиды, нуклеотиды, в частности АТФ, и другие.

УГЛЕВОДЫ, или **сахариды**, — водорастворимые (кроме высокомолекулярных) органические соединения, состоящие из углерода, водорода и кислорода, с общей формулой $C_n(H_2O)_m$, где n , $m > 3$. Содержание углеводов в живой клетке составляет около

1–5%. Глюкоза содержится в крови (0,1–0,12%). Наиболее богаты углеводами растительные клетки, где их содержание в некоторых случаях достигает 90% сухой массы (клубни картофеля, семена). Углеводы подразделяются на простые и сложные.

1. **Простые углеводы** — моносахариды с общей формулой ($C_nH_{2n}O_n$), где $n = 2-7$ атомов углерода. В зависимости от числа атомов углерода в молекуле моносахариды называют: 3 — *триозами* (например, глицерин, молочная, пировиноградная кислоты); 4 — *тетрозами* (например, эритроза); 5 — *пентозами* (например, рибоза и дезоксирибоза, входящие в состав нуклеиновых кислот и АТФ); 6 — *гексозами* (например, глюкоза, фруктоза и галактоза).



2. **Сложные углеводы** — полимеры из моносахаридов, соединенных гликозидной связью. Различают олиго- и полисахариды. *Олигосахариды* — углеводы, построенные из небольшого числа (2–10) моносахаридных остатков. Если в одной молекуле объединяются два моносахарида, такое соединение называется дисахарид. Например, пищевой сахар (сахароза), получаемый из тростника или сахарной свеклы, состоит из одной молекулы глюкозы и фруктозы, молочный сахар (лактоза) — из глюкозы и галактозы (рис. 1).

Полисахариды — сложные высокомолекулярные углеводы, образованные сотнями и тысячами молекул моносахаридов. Это линейные или разветвленные полимеры, мономеры которых соединены гликозидной связью.

Различают гомополисахариды и гетерополисахариды. *Гомополисахариды* построены из множества одинаковых моносахаридных остатков (например, крахмал, гликоген, целлюлоза состоят из глюкозы). *Гетерополисахариды* состоят из моносахаридов разных видов (например, гепарин, гиалуроновая кислота).

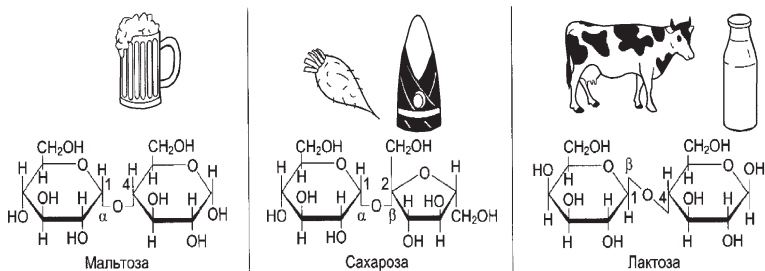


Рис. 1. Важнейшие дисахариды

Углеводы выполняют следующие функции.

1. **Энергетическая.** Углеводы играют роль основного источника энергии для процессов биосинтеза, транспорта веществ, движения в клетке и организме. В процессе окисления 1 г глюкозы освобождается 17,6 кДж энергии.

2. **Запасающая.** Крахмал у растений и гликоген у животных, откладываясь в клетках, служат энергетическим резервом.

3. **Структурная.** Например, целлюлоза образует стенки растительных клеток; сложный полисахарид хитин — главный структурный компонент наружного скелета членистоногих. Строительную функцию хитин выполняет и у грибов. Углеводы формируют также гликокаликс на поверхности биомембран.

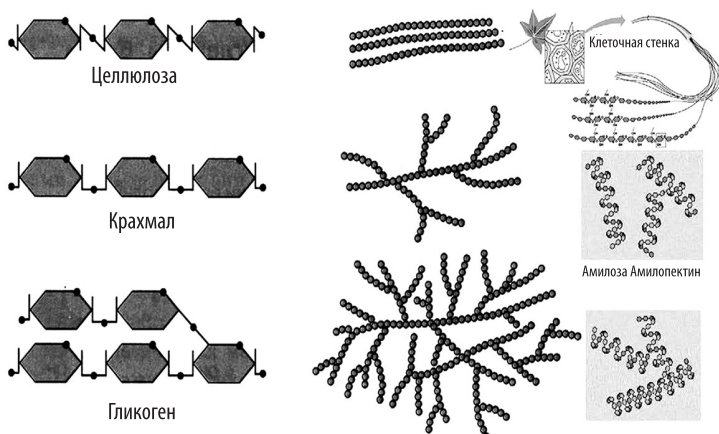


Рис. 2. Полисахариды

4. **Рецепторная.** Углеводные компоненты биомембран обеспечивают узнавание клеток, рецепцию гормонов и медиаторов, обуславливают тканеспецифичность и группы крови.

5. **Защитная.** Иммунные реакции организма обеспечиваются молекулами гликопротеидов, секреты различных желез человека и животных содержат углеводы.

ЛИПИДЫ — органические соединения, нерастворимые в воде, но растворимые в органических растворителях: эфире, бензине, хлороформе. В клетках также есть и жироподобные вещества — *липоиды*. Содержание жира в клетке составляет 5–15% массы сухого вещества. В клетках жировой ткани количество жира возрастает до 90%. Различают простые и сложные липиды.

1. **Простые липиды** — триглицериды (нейтральные жиры) — сложные эфиры трехатомного спирта глицерина и высокомолекулярных жирных кислот.

ЖИР

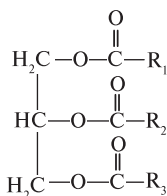


Схема молекулы жира



2. **Сложные липиды** в зависимости от особенностей строения подразделяют на *фосфолипиды* (например, глицерофосфолипиды и сфингофосфолипиды, молекулы которых построены на основе глицерина, либо аминоспирта сфингозина, а также содержат жирные кислоты и остаток фосфорной кислоты), *гликолипиды* (например, цереброзиды, ганглиозиды, молекулы которых построены на основе сфингозина, а также содержат углеводы) и *стероиды* (например, холестерин, молекула которого построена в виде тетрациклической группировки воска, соединенной с углеводородной цепью).

В состав липидов входят насыщенные и ненасыщенные (т.е. содержащие двойные связи $-\text{C}=\text{C}-$) жирные кислоты. Наиболее распространены масляная, пальмитиновая, стеариновая насыщенные жирные кислоты, содержащие соответственно 4, 16, 18 атомов углерода в цепи. Среди ненасыщенных жирных кислот распространены олеиновая, линолевая, линоленовая с 18 атомами углерода

да в цепи и 1–3 двойными связями соответственно и арахидоновая с 20 атомами углерода в цепи и 4 двойными связями.

Таблица 2

Некоторые природные жирные кислоты

Число атомов углерода	Название жирной кислоты	Строение
16	Пальмитиновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
18	Стеариновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
20	Арахидоновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
16	Пальмитолеиновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Олеиновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Линолевая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18	Линоленовая	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
20	Арахидоновая	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$

Комплексные соединения жиров с белками называются *липопротеидами* (транспортная форма липидов в организме). Биологическая роль липидов определяется следующими **функциями**.

1. **Структурная.** Фосфолипиды и гликолипиды входят в состав клеточных мембран, обеспечивая их избирательную проницаемость.

2. **Энергетическая.** При полном расщеплении 1 г жира до углекислого газа и воды освобождается большое количество энергии — 38,9 кДж. Липиды обеспечивают 25–30% всей энергии, необходимой организму.

3. **Запасующая.** Накапливаясь в клетках жировой ткани животных, семенах и плодах растений, жир служит запасным резервным источником энергии.

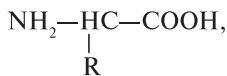
4. **Защитная и терморегуляторная.** Вследствие плохой теплопроводности жир способен выполнять функцию теплоизолятора. У некоторых животных (тюлени, киты) он откладывается в подкожной жировой клетчатке. У многих млекопитающих функцию «биологического обогревателя» выполняет бурая жировая ткань. Жировая прослойка также смягчает механические удары и выполняет функцию гидроизоляции.

5. **Источник эндогенной воды.** В ходе метаболизма липидов образуется эндогенная вода, позволяющая пустынным животным,

например верблюдам, длительное время обходиться без употребления воды и использовать отложения жира в горбах.

6. Регуляторная. Многие липиды являются предшественниками синтеза ряда стероидных гормонов: минерало-, глюкокортикоидов, половых гормонов, эйкозаноидов, жирорастворимых витаминов (А, В, Е, К), растительных пигментов, холестерина (структурного компонента биомембран, предшественника желчных кислот), стероидных гормонов, витамина В. Так, веществам липидной природы присуща и функция регуляции обменных процессов.

БЕЛКИ — полимерные молекулы, состоящие из десятков и сотен аминокислот, соединенных пептидной связью. Среди органических веществ клетки белки занимают первое место как по количеству, так и по значению (50% сухой массы клетки). Соединение, состоящее из более 10 аминокислотных остатков, называется *полипептид*. Белки различаются по составу, количеству и последовательности расположения аминокислот. Несмотря на огромное разнообразие и сложность строения, белки построены всего из 20 видов различных аминокислот с общей формулой



где R — радикал, строение которого у всех аминокислот различно; NH_2 — аминная группа, обладающая свойствами основания; COOH — карбоксильная группа (кислотная), характерная для всех органических кислот.

Следовательно, аминокислоты — амфотерные соединения.

По *строению радикала* выделяют следующие **группы аминокислот**:

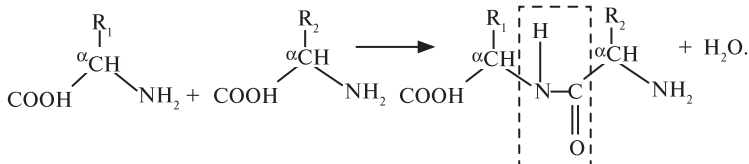
- 1) *неполярные, гидрофобные* (аланин, валин, лейцин, изолейцин, пролин, метионин, фенилаланин, триптофан);
- 2) *полярные незаряженные* (глицин, серин, треонин, цистеин, тирозин, аспарагин, глутамин);
- 3) *полярные отрицательно заряженные* (аспарагиновая и глутаминовая кислоты);
- 4) *полярные положительно заряженные* (лизин, аргинин, гистидин).

Среди всех аминокислот различают *заменимые* и *незаменимые*, т.е. те, которые не могут быть синтезированы в организме челове-

ка и животных и обязательно должны поступать с пищей (например, гистидин, триптофан, метионин, лизин).

В строении белка выделяют **четыре уровня организации**.

1. **Первичная структура** (линейная) — полипептидная цепь из аминокислот, связанных в определенной последовательности прочными ковалентными *пептидными* связями:

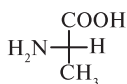
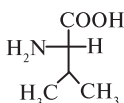
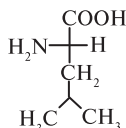
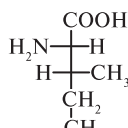
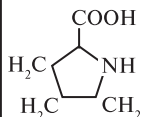
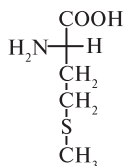
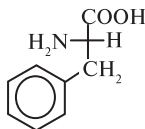
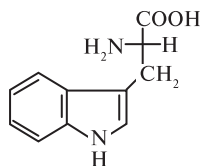
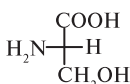
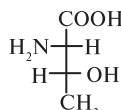
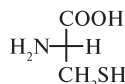
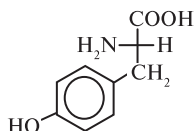
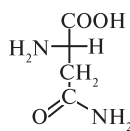
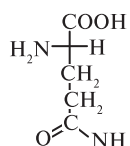
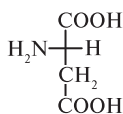
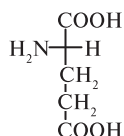
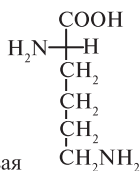
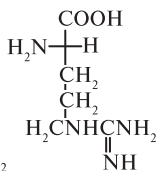
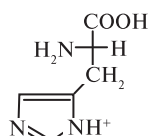


Так, соединяясь друг с другом, молекулы аминокислот образуют ковалентные пептидные связи между атомом углерода кислотной группы и атомом азота основной группы. Порядок чередования аминокислот в молекулах белка самый разнообразный, что делает возможным существование огромного числа молекул белка, отличающихся друг от друга. Например, для белка, состоящего всего из 20 остатков аминокислот, теоретически возможно около $2 \cdot 10^{18}$ вариантов, отличающихся чередованием аминокислот, а значит, и свойствами различных белковых молекул. Однако молекула белка в виде цепи аминокислот, последовательно соединенных между собой пептидными связями, еще не способна выполнять специфические функции. Для этого необходима более высокая структурная организация.

2. **Вторичная структура** (спиральная) — полипептидная цепь, закрученная в спираль, где прочность конструкции поддерживается за счет образования слабых водородных связей между атомами водорода и кислорода, принадлежащими пептидным группам в соседних витках спирали. Различают α -спираль и β -структуру в зависимости от расположения водородных связей (рис. 3).

К белкам со вторичной структурой относятся, например, сократительные белки. Но в большинстве случаев только молекула, обладающая третичной структурой, может выполнять биологическую роль.

3. **Третичная структура** (клубок) — пространственная конфигурация белка, поддерживаемая за счет образования слабых *гидрофобных связей* между неполярными радикалами аминокислот (образуется компактная глобула, гидрофобная снаружи и гидрофильная внутри), *водородных*, *электростатических* (между поляр-

*α -аминокислоты, входящие в состав белка***НЕПОЛЯРНЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ**Аланин
AlaВалин
ValЛейцин
LeuИзолейцин
IleПролин
ProМетионин
MetФенилаланин
PheТриптофан
Trp**ПОЛЯРНЫЕ НЕЗАРЯЖЕННЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ**Глицин
GlyСерин
SerТреонин
ThrЦистеин
CysТирозин
TyrАспарагин
AsnГлутамин
Gln**ПОЛЯРНЫЕ ЗАРЯЖЕННЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ**Аспарагиновая
кислота
AspГлутаминовая
кислота
GluЛизин
LysАргинин
ArgГистидин
His

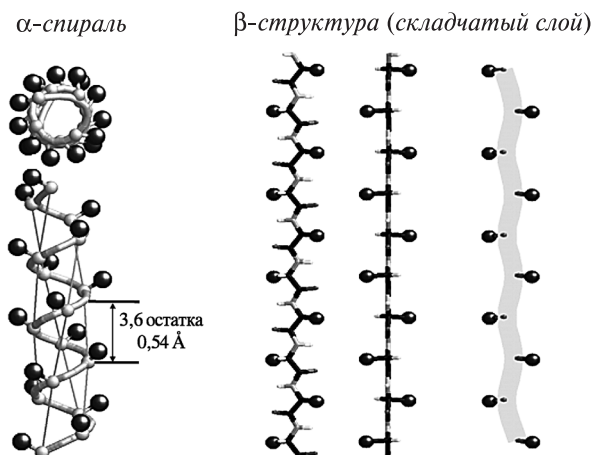


Рис. 3. Схема формирования α - и β -структур полипептидной цепи

ными радикалами) и прочных ковалентных *дисульфидных* S—S-связей (например, между двумя серосодержащими молекулами аминокислоты цистеина) (рис. 4).

Таким образом, третичная структура образуется благодаря взаимодействию радикалов аминокислот, вследствие чего белковая спираль сворачивается и приобретает форму глобулы. Для некоторых функций организма требуется участие белков с еще более высоким уровнем организации.

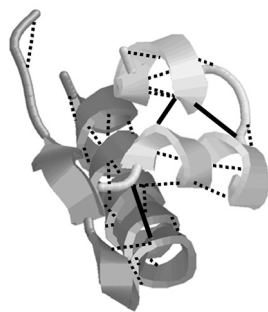


Рис. 4. Третичная структура белка

4. Четвертичная структура — соединение нескольких белковых макромолекул с третичной организацией (от 2 до 24) *нековалентными* связями в единые комплексы. Например, молекула гемоглобина состоит из четырех связанных между собой молекул — это комплекс из 2 α - и 2 β -пептидных цепей (рис. 5). Также четвертичная структура характерна для лактатдегидрогеназы, миозина. В четвертичную структуру могут входить молекулы белка, отличающиеся друг от друга, но чаще состав и структура компонентов, входящих в состав четвертичной структуры, одинаковы.

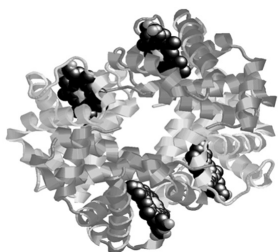


Рис. 5. Четвертичная структура молекулы гемоглобина

Утрата белковой молекулой пространственной структурной организации, вызванная изменением температуры, обезвоживанием, облучением рентгеновскими лучами, резким изменением рН среды, действием химических веществ, называется *денатурацией*. Если изменение условий среды не приводит к разрушению первичной структуры молекулы, то при восстановлении нормальных условий среды полностью воссоздается и структура белка — *ренатурация*.

По *строению* белки подразделяются на:

1) *простые (протеины)* — состоят только из аминокислот (например, альбумины, глобулины, фибриноген, гистоны, актин, миозин, пищеварительные ферменты);

2) *сложные (протеиды)* — содержат неаминокислотный компонент — простетическую группу различной химической природы, например, ионы металлов — это *металлопротеиды* (ферритин, трансферрин, церулоплазмин), фосфат — *фосфопротеиды* (казеин молока, овальбумин яйца, пепсин), гем — *гемопропротеиды*, *хромопротеиды* (гемоглобин, миоглобин, каталаза), моносахариды, полисахариды — *гликопротеиды* (гепарин, муцин слюны), липиды — *липопротеиды* (липопротеиды высококой и низкой плотности, хиломикроны), ДНК, РНК — *нуклеопротеиды*.

По *форме* белки подразделяют на *глобулярные* — в форме шара или эллипса (например, различные гормоны, ферменты) и *фибриллярные* — имеют вытянутую нитевидную форму, образуют фибриллы (миозин, коллаген, эластин).

Функции белков в клетке чрезвычайно многообразны.

1. **Каталитическая.** Ферменты — очень мощные биологические катализаторы — вещества белковой природы (например, трипсин, каталаза, ДНК-полимераза и др.; всего известно около 3—4 тыс. ферментов). Ферменты присутствуют во всех живых клетках и ускоряют в мягких условиях скорость химических реакций в десятки, сотни тысяч и миллионы раз.

В структуре фермента различают белковую часть — *апофермент* и небелковую часть — *кофермент*, в качестве которой выступают витамины, кофакторы (например, ионы металлов: Mg^{2+} ,

Fe^{2+} , Mn^{2+} — активаторы фермента). Ферменты обладают избирательностью и специфичностью действия, т.е. каждая реакция катализируется своим ферментом. Высокая специфичность ферментативных реакций обусловлена тем, что пространственная конфигурация активного центра фермента, т.е. участка белка, который связывает какую-либо молекулу, точно соответствует конфигурации этой молекулы. **Активный центр фермента** в простом белке представляет собой карман или шель на границе доменов (участков спирализации), либо у сложных белков эту функцию выполняет кофермент.

Активный центр фермента содержит 2 участка: 1) *сорбционный* — для связывания субстрата реакции (субстрат конформационно подходит к ферменту как ключ к замку); 2) *каталитический* — содержит на дне щели заряженные радикалы аминокислот, непосредственно участвующие в катализе. Молекула фермента имеет и регуляторные (аллостерические) центры, куда могут присоединяться молекулы веществ, вызывая изменение пространственной структуры фермента и тем самым регулируя активность фермента.

Ферменты осуществляют реакцию превращения субстрата в продукт $S \xrightarrow{E} P$, значительно увеличивая скорость реакции, снижая энергию активационного барьера (за счет конформационного изменения субстрата, через стадию переходного состояния: $E + S = ES \rightarrow EP = E + P$). Под действием фермента происходит изменение пространственной конфигурации субстрата, перераспределение в нем энергии и уменьшение прочности связей. Ферменты действуют при определенной температуре, pH среды. Скорость ферментативной реакции зависит также от концентрации субстрата, продукта, активаторов, ингибиторов и самого фермента. Кинетика ферментативных реакций описывается законом Михаэлиса—Ментен.

2. **Структурная.** Белки участвуют в образовании всех клеточных мембран в органоидах клетки, а также внеклеточных структур. Строительную функцию выполняют такие белки, как кератин, фиброин, коллаген, эластин.

3. **Двигательная.** Эта функция обеспечивается сократительными белками, участвующими во всех видах движения, к которым способны клетки и организмы: мерцание ресничек и биение жгутиков у простейших, сокращение мышц у животных (сократительные белки — актин и миозин).

4. **Транспортная.** Эта функция белков заключается в присоединении химических элементов (например, кислорода) или биологически активных веществ (гормонов) и переносе их к различным тканям и органам тела (например, гемоглобин осуществляет транспорт кислорода и углекислого газа, трансферрин — железа, сывороточный альбумин — различных веществ).

5. **Защитная.** При поступлении в организм чужеродных белков или микроорганизмов в белых кровяных тельцах — *лейкоцитах* — образуются особые белки — *антитела* (иммуноглобулины). Они связывают и обезвреживают несвойственные организму вещества. Защитную функцию выполняют и белки свертывания крови (фибриноген, тромбин), препятствуя кровопотере.

6. **Энергетическая.** Белки пищи служат одним из источников энергии в клетке. При полном расщеплении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии. Белки тела начинают расщепляться при стрессе, голодании, болезнях.

7. **Запасающая.** Такие белки, как яичный альбумин, казеин молока, являются резервными источниками энергии.

8. **Рецепторная.** Белки входят в состав мембранных рецепторов, которые ответственны за восприятие различных сигналов внутренней и внешней среды — температурных, химических, механических — и обеспечивают ответ клетки на раздражение (например, родопсин, рецепторы инсулина, адреналина и др.).

9. **Регуляторная.** Известен ряд гормонов белковой природы — инсулин, соматотропин, а также белковые ингибиторы и активаторы, которые осуществляют функцию регуляции обменных процессов.

НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ (от лат. «нуклеус» — ядро, впервые обнаружены в ядре) — сложные высокомолекулярные природные соединения, состоящие из углерода, водорода, кислорода, азота и фосфора. Существует два типа нуклеиновых кислот — ДНК и РНК. Они могут находиться как в ядре, так и в цитоплазме и ее органоидах, митохондриях, пластидах. В прокариотических клетках кольцевая молекула ДНК погружена непосредственно в цитоплазму.

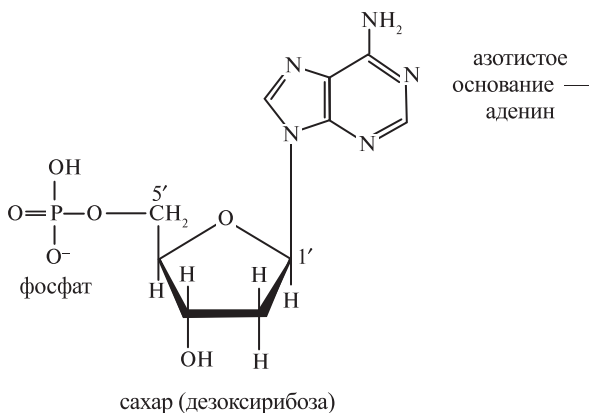
ДНК — *дезоксирибонуклеиновая кислота* — биополимер, состоящий из двух полинуклеотидных цепей, соединенных друг с другом. Мономеры, составляющие каждую из цепей ДНК, — дезоксирибонуклеотиды, представляют собой сложные органические

соединения. Каждый нуклеотид ДНК состоит из трех компонентов: 1) одного из четырех типов *азотистых оснований*: пуриновых (аденин (А); гуанин (Г)) или пиримидиновых (цитозин (Ц); тимин (Т)); 2) *углевода* — дезоксирибозы; 3) *молекулы фосфорной кислоты*.

Выделяют несколько уровней организации ДНК.

1. **Первичная структура ДНК** — линейная полимерная молекула, мономерами которой являются дезоксинуклеотиды — соединения, состоящие из молекулы фосфорной кислоты, углевода (дезоксирибозы) и азотистого основания.

Например, нуклеотид дезоксиаденозинмонофосфат (АМФ) имеет следующее строение.



Каждая цепь ДНК — полинуклеотид, состоящий из нескольких десятков тысяч миллионов нуклеотидов, имеет вес 10^{10} – 10^{11} Да. В каждой цепи соседние нуклеотиды соединяются друг с другом прочной ковалентной связью. Эта сложноэфирная связь образуется между фосфатным остатком одного нуклеотида и 3-ОН-группой дезоксирибозы другого нуклеотида (3,5-фосфодиэфирная связь).

2. **Вторичная структура ДНК** — двойная спираль ДНК (рис. 6). Особенности пространственной структуры ДНК установлены в 1953 г. Дж. Уотсоном и Ф. Криком методом рентгено-структурного анализа. Две полинуклеотидные цепи образуют правозакрученные (при некоторых условиях — левозакрученные)

друг относительно друга, а также вокруг общей оси объемные спирали по 10 нуклеотидов в каждом витке (шаг спирали — 3,4 нм, диаметр — 2 нм). Последовательность соединения нуклеотидов одной цепи противоположна таковой в другой, т.е. **цепи**, составляющие одну молекулу ДНК, разнонаправлены, или **антипараллельны**. Последовательность межнуклеотидных связей в двух цепях направлена в противоположные стороны: $3' \rightarrow 5'$ и $5' \rightarrow 3'$. При образовании двойной спирали ДНК сахарофосфатный (заряженный, гидрофильный) остов молекулы оказывается снаружи, а азотистые основания уложены стопкой внутри спирали (плоскость азотистых оснований перпендикулярна оси молекулы).

Две цепи объединяются в единую молекулу водородными связями, возникающими между азотистыми основаниями, входящими в состав нуклеотидов, образующих разные цепи. Пространственная конфигурация молекул азотистых оснований различна, и количество таких связей между разными азотистыми основаниями неодинаково. Вследствие этого они могут соединяться только попарно: азотистое основание А (аденин) одной цепочки

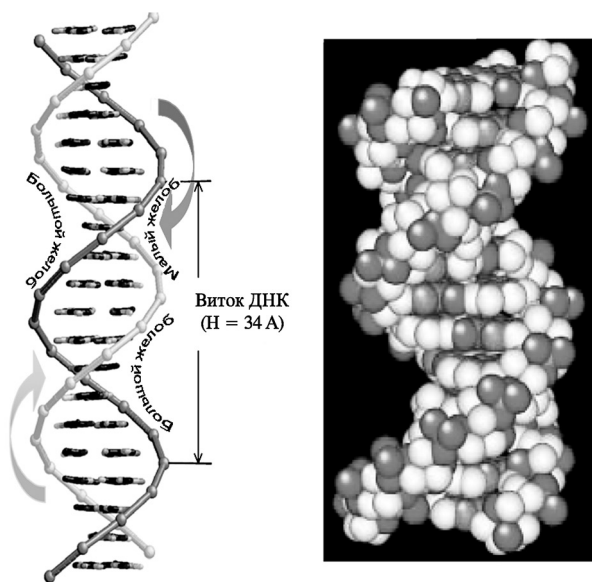


Рис. 6. Двойная спираль ДНК

полинуклеотида всегда связано двумя водородными связями с Т (тимин) другой цепи, а Г (гуанин) — тремя водородными связями с азотистым основанием Ц (цитозин) противоположной полинуклеотидной цепочки. Способность к избирательному соединению нуклеотидов, в результате чего формируются пары А-Т и Г-Ц, называется **принципом комплементарности (дополнительности)**. Таким образом, последовательность оснований в одной цепи определяет последовательность оснований в другой (комплементарной) цепи.

Правила Чаргаффа: сумма пуриновых оснований в ДНК (А, Г) всегда равна сумме пиримидиновых оснований (Ц, Т), количество аденина равно количеству тимина, а гуанина — количеству цитозина.

3. **Третичная структура ДНК** — нуклеопротеины — соединения нуклеиновых кислот с белками. При соединении ДНК с определенными белками (гистонами) степень спирализации молекулы повышается — образуется суперспираль ДНК, толщина которой существенно возрастает, а длина — сокращается.

Хромосомный материал в покоящихся, неделящихся клетках — *хроматин* — содержит 60% белка (гистоновой и негистоновой природы), 35% ДНК и 5% РНК (рис. 7). Природа взаимодействия белков и нуклеиновых кислот — электростатическая: между положительно заряженными группами аминокислот лизина, аргинина, гистидина белков и отрицательно заряженными фосфатными группами ДНК.

Нуклеосома (бусинка) — структурная единица хроматина, выполняющая функцию плотной упаковки ДНК, представляет собой 8 молекул белков-гистонов H_1-H_4 , на которые намотана двухцепочечная нить ДНК длиной около 150–200 пар азотистых оснований. Между нуклеосомами расположена спейсерная ДНК длиной около 20–120 пар азотистых оснований. Совокупность нуклеосом образует *полисому* (бусы). Диаметр нуклеосомы равен 10 нм.

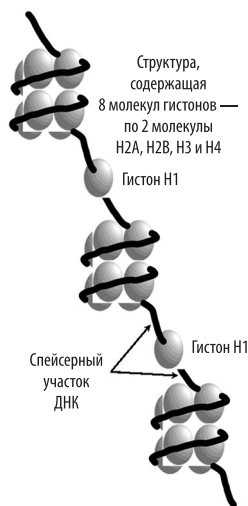


Рис. 7. Строение хроматиновых волокон

Общая длина молекулы ДНК в 23 парах хромосом человека составляет 1,5 м. Такие нити хроматина (молекулы ДНК, тщательно «упакованные» белками) можно наблюдать в световой микроскоп во время деления клеток в виде хорошо окрашивающихся компактных вытянутых тел — *хромосом* (рис. 8).

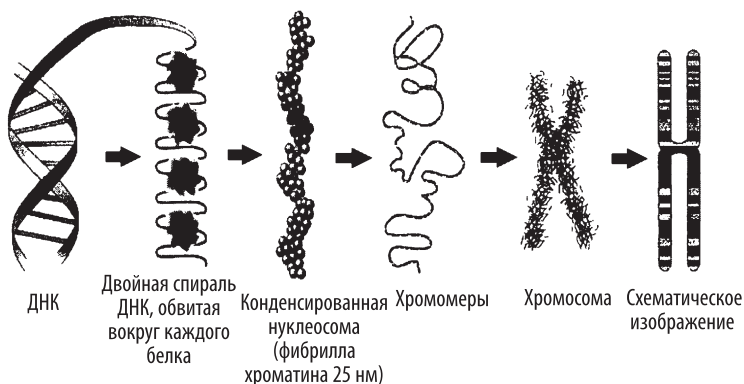


Рис. 8. Образование хромосом в результате конденсирования ДНК с белками

РНК — *рибонуклеиновая кислота* — представляет собой биополимер, мономерами которого являются рибонуклеотиды, близкие к нуклеотидам ДНК. Обычно РНК — одноцепочечная полимерная молекула, сходная по первичной структуре с ДНК, но меньших размеров (75–3000 нуклеотидов) и меньшей молекулярной массы. Каждый мономер РНК — *рибонуклеотид* — состоит из трех компонентов: 1) *азотистого основания*, причем три из них те же самые, что входят в состав ДНК (аденин, гуанин, цитозин), а четвертое основание — урацил (У) — присутствует только в молекуле РНК (вместо тимина); 2) *углевода* — *рибозы* (вместо дезоксирибозы, как в ДНК); 3) *молекулы фосфорной кислоты*. В цепочке РНК нуклеотиды соединяются благодаря образованию ковалентных связей между рибозой одного нуклеотида и остатком фосфорной кислоты другого.

По *структуре* различают *двух-* и *одноцепочечные РНК*. Двухцепочечные РНК — хранители генетической информации у ретровирусов, т.е. выполняют функции хромосом. Одноцепочечные РНК переносят информацию о последовательности amino-

кислот в белках, т.е. о структуре белков, от хромосом к месту их синтеза и участвуют в синтезе белков. Пространственная структура РНК поддерживается за счет гидрофобных, водородных связей, соединения с белками и т.д.

РНК находится в ядрышке, рибосомах, цитоплазме, митохондриях, хлоропластах. Существует несколько видов одноцепочечных РНК, их названия обусловлены выполняемой функцией или местонахождением в клетке.

1. **м-РНК.** Информационная, или матричная, РНК (м-РНК) составляет около 2% от общего содержания РНК в клетке. Переносит из ядра в цитоплазму к рибосомам генетическую информацию о последовательности аминокислот в белках, которые должны синтезироваться. Размер этих молекул РНК зависит от длины участка ДНК, на котором они синтезированы. Молекулы м-РНК могут состоять из 75–3000 нуклеотидов и иметь молекулярную массу $25 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$ Да.

2. **р-РНК.** Большую часть РНК цитоплазмы (до 80–90%) составляет рибосомальная РНК (р-РНК), содержащаяся в рибосомах. Молекулы р-РНК относительно невелики и состоят из 150–4500 нуклеотидов молекулярной массой $0,5 \cdot 10^6 - 1,6 \cdot 10^6$ Да. Участвует в синтезе белка, выполняя роль каркаса, на котором крепятся полипептиды в строго определенном порядке.

3. **т-РНК.** Транспортные РНК (т-РНК) (рис. 9) составляют 10–15% от общего содержания РНК в клетке, включают 70–100 нуклеотидов молекулярной массой $2,5 \cdot 10^4 - 3,1 \cdot 10^4$ Да, содержатся в цитоплазме и выполняют несколько функций. Они доставляют аминокислоты к месту синтеза белка и осуществляют точную ориентацию аминокислоты (по принципу комплементарности) на рибосоме. Транспортные РНК имеют два активных центра, один из которых соединяется с определенной аминокислотой, а другой, состоящий из трех нуклеотидов, служит для комплементарного соединения с молекулой м-РНК. Этот участок называется *антикодонам*.

Таким образом, **функции** нуклеиновых кислот в клетке и организме следующие.

1. Хранение, перенос и реализация в ряду поколений генетической информации в виде биосинтеза белков.

2. Регулирование биосинтеза компонентов клеток и тканей в пространстве и времени.

3. Обеспечение индивидуальности организма.

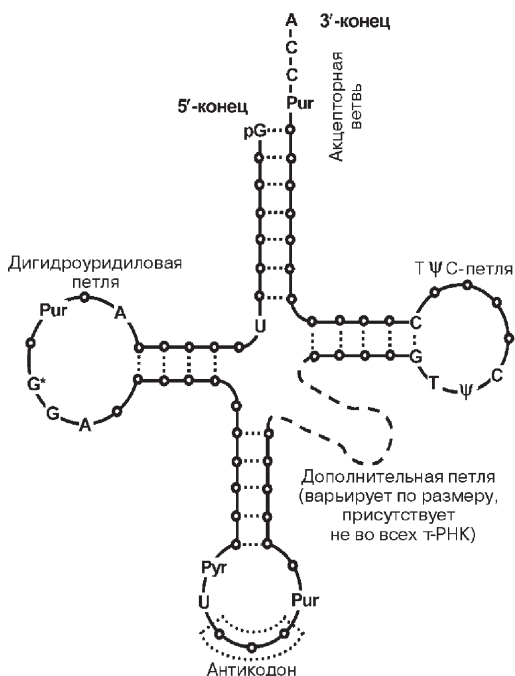
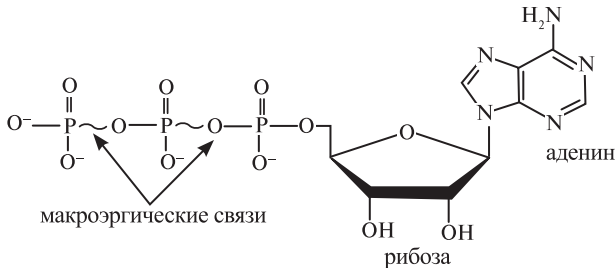


Рис. 9. Модель молекулы т-РНК

АТФ. Среди других важных органических веществ клетки следует отметить АТФ.

Аденозинтрифосфорная кислота — органическое соединение — нуклеотид. Молекула АТФ содержит азотистое основание — аденин, углевод — рибозу и три остатка фосфорной кислоты (α -, β -, γ -).

Строение молекулы АТФ (аденозин-5'-трифосфата)



Образуется АТФ главным образом в процессе клеточного дыхания в митохондриях. АТФ — макроэрг, так как два концевых остатка фосфорной кислоты в ней связаны между собой макроэргической связью (\sim). При гидролитическом отщеплении одной γ -фосфатной группы освобождается значительное количество энергии (около 40–50 кДж/моль), при этом АТФ превращается в АДФ (аденозиндифосфорную кислоту). При последующем отщеплении β -фосфатной группы также высвобождается энергия и АДФ превращается в АМФ (аденозинмонофосфорную кислоту).

Таким образом, АТФ играет центральную роль в энергетических превращениях в клетке. Энергия АТФ используется в различных процессах жизнедеятельности: в биосинтезе различных веществ, активном транспорте веществ через биомембраны, при сокращении мышц, делении клетки, генерировании мембранного потенциала и т.д.

2.3. КЛЕТОЧНОЕ СТРОЕНИЕ

Цитология — наука, изучающая строение, состав и функции клетки.

Эукариотические клетки — от одноклеточных растений и простейших (корненожки, жгутиковые, инфузории и др.) до многоклеточных растений, грибов и животных — отличаются и сложностью, и разнообразием строения. Но из тысяч типов клеток, характеризующихся специфическими особенностями, можно выделить общие черты строения. Каждая клетка состоит из следующих важнейших, неразрывно связанных друг с другом частей: цитоплазматической мембраны, цитоплазмы и ядра.

2.3.1. Строение и функции цитоплазматической мембраны

Мембраны — наиболее распространенные клеточные органеллы. Основными мембранными структурами клетки являются: *цитоплазматическая мембрана*, отделяющая клетку от соседних клеток или межклеточного вещества, *эндоплазматический ретикулум*, *аппарат Гольджи*, *митохондриальная* и *ядерная мембраны*. Каждая из этих мембран имеет особенности строения и определенные функции, но все они построены по одному типу.

В настоящее время принята *жидкостно-мозаичная модель строения мембран*. Биологическая мембрана (рис. 10) толщиной 7,5–8,0 нм образована двумя рядами фосфолипидов (бислой), в которые на разную глубину с наружной и внутренней стороны погружены молекулы белков (их доля составляет 50–75%), выполняющих функции мембранных рецепторов, ферментов, ионных каналов и др. В плазматических мембранах до 10% приходится на углеводы в составе гликопротеинов и гликолипидов.

Липидам принадлежит главная роль в образовании мембран как клеточных структур, поскольку форма клетки и основные физико-химические свойства мембран определяются именно липидами. Основная часть липидов в мембране — фосфолипиды, гликолипиды и холестерин, характерной особенностью строения молекул которых является их амфифильность: один конец молекулы гидрофобный, а другой — гидрофильный. *Гидрофобный конец* составляют углеводородные радикалы молекул жирных кислот и сфингозина, *гидрофильный конец* в гликолипидах образован углеводной частью, в фосфолипидах — фосфатным

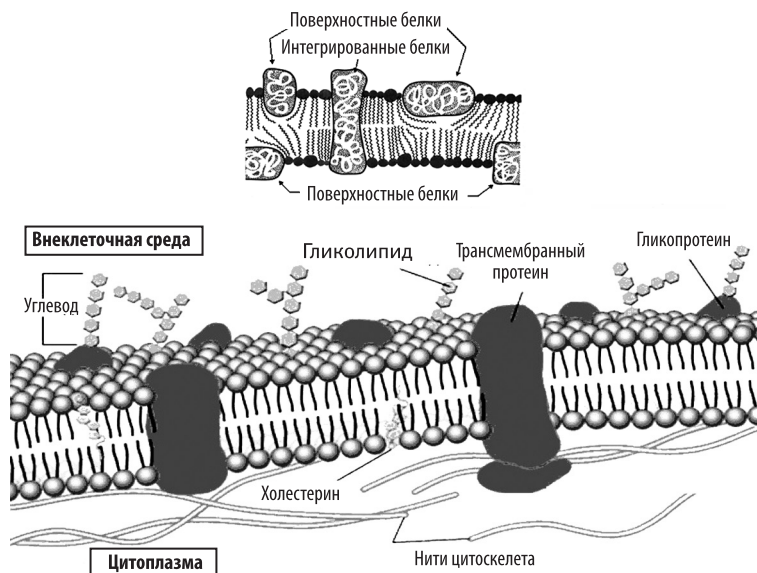


Рис. 10. Строение биомембраны

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Как пользоваться книгой.....	4
Раздел I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ	5
Глава 1. БИОЛОГИЯ — НАУКА О ЖИВОЙ ПРИРОДЕ.....	5
1.1. Биология как наука, ее достижения и методы исследования	5
1.2. Основные уровни организации живой природы	7
1.3. Признаки и свойства живого	8
<i>Контрольные вопросы</i>	10
Глава 2. КЛЕТКА КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	12
2.1. Клетка — структурно-функциональная единица живого	12
2.2. Химическая организация клетки.....	15
2.2.1. Неорганические вещества: вода и минеральные соли	16
2.2.2. Органические вещества: углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты, АТФ.....	17
2.3. Клеточное строение	35
2.3.1. Строение и функции цитоплазматической мембраны.....	35
2.3.2. Строение и роль цитоплазмы и органоидов в жизнедеятельности клетки.....	40
2.3.3. Структуры, свойственные растительным клеткам	47
2.3.4. Строение и функции ядра. Хромосомы, гены.....	53
2.4. Многообразие клеток: прокариотические и эукариотические, соматические и половые. Особенности строения прокариотической клетки	57
2.5. Метаболизм: пластический и энергетический обмен	61
2.5.1. Реакции матричного синтеза. Биосинтез белка	61
2.5.2. Типы питания организмов. Фотосинтез	68
2.5.3. Хемосинтез	74
2.5.4. Этапы энергетического обмена. Клеточное дыхание ..	74
2.6. Жизненный цикл клетки. Митоз.....	80
2.7. Развитие половых клеток. Мейоз	86
<i>Контрольные вопросы</i>	94
Глава 3. ОРГАНИЗМ КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА.....	97
3.1. Многообразие организмов. Организм как целостная биологическая система	97
3.2. Ткани, органы и системы органов	98

3.2.1. Ткани и органы растений.....	100
Органы высших растений.....	105
Корень.....	105
Стебель.....	108
Лист.....	113
Цветок.....	118
3.2.2. Ткани и органы животных.....	125
Эпителиальная ткань.....	125
Ткани внутренней среды.....	128
Мышечная ткань.....	130
Нервная ткань.....	132
3.3. Размножение и индивидуальное развитие организмов.....	135
3.3.1. Бесполое размножение.....	136
3.3.2. Половое размножение.....	138
Развитие половых клеток и оплодотворение	
у цветковых растений.....	140
Оплодотворение у животных.....	143
3.3.3. Онтогенез. Эмбриональное и постэмбриональное	
развитие организмов.....	144
3.4. Генетика — наука о наследственности и изменчивости,	
ее методы и задачи.....	150
3.4.1. Хромосомная теория наследственности.....	152
3.4.2. Законы наследственности.....	153
Моногибридное скрещивание.....	153
Промежуточное наследование.....	154
Анализирующее скрещивание.....	154
Дигибридное скрещивание.....	155
Закон сцепления генов.....	157
Нарушение сцепления.....	159
Взаимодействие генов.....	161
3.4.3. Генетика пола.....	165
Наследование признаков, сцепленных с полом.....	166
3.4.4. Закономерности изменчивости.....	168
Ненаследственная (модификационная)	
изменчивость.....	169
Мутационная изменчивость.....	170
3.5. Селекция, ее методы и задачи.....	175
Этапы селекционной работы.....	176
3.5.1. Биотехнология, клеточная и генная инженерия.....	180
<i>Контрольные вопросы.....</i>	182

Глава 4. МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЗМОВ, ОСОБЕННОСТИ

ИХ СТРОЕНИЯ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	184
4.1. Систематика, ее предмет и задачи.....	184

4.2. Организмы разных царств живой природы	185
4.2.1. Вирусы — неклеточные формы жизни	185
4.2.2. Царство Дробянки (Бактерии)	190
Подцарство Бактерии	190
Подцарство Цианобактерии	194
4.2.3. Царство Грибы	195
4.2.4. Царство Растения	198
Гаметогенез и развитие растений	200
Группа отделов Водоросли	203
Отдел Лишайники	207
Высшие растения — споровые	209
Отдел Моховидные	210
Отдел Плауновидные	212
Отдел Хвощевидные	213
Отдел Папоротниковидные	214
Высшие растения — семенные	217
Отдел Голосеменные	217
Отдел Покрытосеменные (Цветковые)	221
4.2.5. Царство Животные	229
Беспозвоночные животные	232
Подцарство Одноклеточные (Простейшие)	232
Подцарство Многоклеточные	234
Тип Кишечнополостные	235
Тип Плоские черви	236
Тип Круглые, или Первичнополостные, черви	240
Тип Кольчатые черви	242
Тип Моллюски	244
Тип Членистоногие	246
Позвоночные животные	259
Тип Хордовые	259
Подтип Бесчерепные	260
Класс Ланцетники	260
Подтип Позвоночные, или Черепные	261
<i>Контрольные вопросы</i>	282
Глава 5. ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО ЗДОРОВЬЕ	287
5.1. Опорно-двигательная система	287
5.2. Внутренняя среда организма. Кровь	296
5.2.1. Иммуитет	303
5.2.2. Система органов кровообращения	306
5.3. Дыхательная система	315
5.4. Пищеварительная система	322
5.4.1. Обмен веществ и энергии в организме человека. Роль витаминов и ферментов	330

5.5. Выделительная система.....	335
5.6. Система органов кожи	339
5.7. Половая система.....	342
5.8. Эндокринная система	346
5.8.1. Биоритмы. Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности в организме человека	352
5.9. Нервная система.....	355
5.9.1. Спинной и головной мозг	361
5.9.2. Особенности высшей нервной деятельности	372
5.9.3. Вегетативная нервная система	376
5.9.4. Органы чувств. Анализаторы.....	379
<i>Контрольные вопросы</i>	387

Глава 6. НАДОРГАНИЗМЕННЫЕ СИСТЕМЫ.

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА	388
6.1. Развитие биологии в додарвиновский период	388
6.2. Теория эволюции Ч. Дарвина. Движущие силы эволюции.....	391
6.3. Относительная приспособленность (целесообразность) организмов	397
6.4. Популяционно-видовой уровень организации живой природы	399
6.5. Синтетическая теория эволюции. Видообразование	400
6.5.1. Микроэволюция.....	403
6.5.2. Макроэволюция	408
6.6. Доказательства и результаты эволюции органического мира..	412
6.7. Гипотезы возникновения жизни на Земле. Эволюция органического мира	416
6.7.1. Развитие органического мира	422
6.8. Происхождение человека. Антропогенез	425
Положение человека в системе животного мира	426
<i>Контрольные вопросы</i>	433

Глава 7. ЭКОСИСТЕМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ

ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	434
7.1. Экология как наука	434
7.2. Среда обитания организмов. Факторы среды.....	434
Адаптация организмов к факторам среды	436
Общие закономерности действия факторов среды на организмы	436
7.2.1. Абиотические факторы	438
7.2.2. Среда жизни и адаптация организмов	445
7.2.3. Биотические факторы.....	448
7.3. Популяции. Численность популяций и их регуляция	452

7.4. Экосистемы. Продуценты, консументы, редуценты	459
7.5. Цепи и сети питания. Правила экологической пирамиды	462
7.6. Развитие и смена экосистем	468
7.7. Агроэкосистемы (агроценозы).....	471
7.8. Биосфера — глобальная экосистема.....	472
Круговорот веществ и превращение энергии в экосистемах и биосфере.....	476
Ноосфера	477
7.9. Глобальные изменения в биосфере. Охрана природы	477
Контрольные вопросы	480

Раздел II. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЕГЭ

482

Глава 1. СТРУКТУРА ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЕГЭ ПО БИОЛОГИИ

482

1.1. Общая характеристика и содержание контрольных измерительных материалов ЕГЭ по биологии.....	482
1.2. Типичные ошибки при выполнении заданий ЕГЭ по биологии.....	485
1.3. Методические рекомендации по подготовке учащихся к ЕГЭ.....	487

Глава 2. ЗАДАНИЯ ЕГЭ ПО БИОЛОГИИ С ОТВЕТАМИ.....

490

2.1. Примерные варианты тестовых заданий ЕГЭ по биологии Части 1.....	490
Ответы на тестовые задания ЕГЭ по биологии Части 1	513
2.2. Образцы выполнения заданий ЕГЭ по биологии Части 2 с развернутыми ответами (для самопроверки знаний)	514
2.2.1. Клетка	514
2.2.2. Задачи по цитологии и молекулярной биологии	521
2.2.3. Задачи по генетике.....	527
2.2.4. Растения	538
2.2.5. Животные	544
2.2.6. Человек	552
2.2.7. Эволюция	558
2.2.8. Экология.....	564



Учебное издание



ШУСТАНОВА Татьяна Анатольевна

**РЕПЕТИТОР ПО БИОЛОГИИ
ДЛЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ И ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ**

Ответственный редактор	<i>Д. Волкова</i>
Технический редактор	<i>Г. Логвинова</i>
Компьютерная верстка:	<i>А. Патулова</i>

Формат 84x108 1/32. Бумага газетная.

Тираж 4 000 экз. Заказ №

Издатель и Изготовитель: ООО «Феникс»
Юр. и факт. адрес: 344011, Россия, Ростовская обл.,
г. Ростов-на-Дону, ул. Варфоломеева, 150.
Тел./факс: (863) 261-89-50, 261-89-59.

Изготовлено в России. Дата изготовления: 11.2022.
Срок годности не ограничен.

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»
432980, Россия, Ульяновская обл.,
г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14.