

## § 1. Содержание химических элементов в организме. Макро- и микроэлементы

### Биология, 10 класс (Лисов, 2014)

В живых организмах обнаружено более 70 химических элементов. Они являются составной частью определенных веществ, образующих структуры организма и участвующих в химических реакциях. Одних химических элементов в организмах содержится больше, других меньше, третьи присутствуют в ничтожных количествах.

**Макроэлементы.** Химические элементы, содержание которых в живых организмах составляет от десятков до сотых долей процента, называются **макроэлементами**. Живые организмы более чем на 98 % состоят из четырех химических элементов: кислорода (O), углерода (C), водорода (H) и азота (N). Водород и кислород — составные элементы воды. Наряду с углеродом и азотом эти элементы являются основными составляющими органических соединений живых организмов.

В состав молекул многих органических веществ также входят сера (S) и фосфор (P). Кроме того, к макроэлементам относятся натрий (Na), калий (K), магний (Mg), кальций (Ca), хлор (Cl) и др.

Важнейшим макроэлементом для организма человека является кальций. Его соединения, в частности ортофосфат, составляют минеральную основу костей и зубов. Другие соединения кальция участвуют в нервной и мышечной деятельности, входят в состав клеток и тканевой жидкости организма. Суточная потребность взрослого человека в кальции составляет от 0,8 до 2 г. Основные источники этого элемента — молоко, кефир, творог, сыр, рыба, фасоль, петрушка, зеленый лук, а также яйца, гречка, овсянка, морковь и горох.

Однако в пище могут также содержаться вещества, препятствующие усвоению кальция, например щавелевая кислота и фитин. Со щавелевой кислотой кальций образует малорастворимую соль, фитин тоже довольно прочно удерживает кальций. Поэтому важно не злоупотреблять блюдами из щавеля и шпината, в листьях которых содержится 0,1 — 0,5 % щавелевой кислоты. Фитин, присутствующий в овощах и злаках, разрушается при нагревании, поэтому менее вреден. Ржаной хлеб полезнее пшеничного — в нем меньше фитина.

**Микроэлементы.** Жизненно важные элементы, которые содержатся в живых организмах в исключительно малых количествах (менее 0,01 %) составляют группу **микроэлементов**. К этой группе относятся некоторые металлы, например железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu), марганец (Mn), кобальт (Co), молибден (Mo), а также неметаллы фтор (F), йод (I) и др.

Процентное содержание того или иного элемента не характеризует степень его важности в организме. Например, йод, содержание которого в норме в организме человека не превышает 0,0001 %, входит в состав гормонов щитовидной железы тироксина и т р и й о д т и р о н и н а. Эти

гормоны регулируют обмен веществ, влияют на рост, развитие и дифференцировку тканей, на деятельность нервной системы.

Железо и медь входят в состав ферментов, участвующих в клеточном дыхании. Вместе с кобальтом они играют важную роль в процессах кроветворения. Цинк и марганец оказывают влияние на рост и развитие организмов. Фтор входит в состав костной ткани и эмали зубов. Более подробная информация о содержании и биологической роли химических элементов в живых организмах приведена в таблице 1.

**Таблица 1. Биологически важные химические элементы**

Элемент	Содержание, %	Биологическая роль
<b>Макроэлементы</b>		
Кислород(O)	65 — 75	Входит в состав молекул воды и органических веществ, обеспечивает реакции окисления, в ходе которых выделяется необходимая организму энергия
Углерод(C)	15—18	Входит в состав молекул всех органических веществ
Водород(H)	8—10	Входит в состав молекул воды и всех органических веществ
Азот(N)	1,5 — 3	Входит в состав молекул органических веществ, в том числе белков, нуклеиновых кислот, АТФ
Кальций(Ca)	0,04—2	Входит в состав костной ткани, зубной эмали, участвует в процессах свертывания крови и обеспечивает сократимость мышечных волокон. У растений входит в состав клеточной стенки
Фосфор(P)	0,2—1	Входит в состав органических веществ (ДНК, РНК, АТФ и др.), костной ткани и зубной эмали
Калий(K)	0,15 — 0,4	Один из основных катионов в организме животных: участвует в генерации биоэлектрических потенциалов, регуляции ритма сердечной деятельности. Также участвует в процессе фотосинтеза
Сера(S)	0,15 — 0,2	Входит в состав органических веществ (белков, некоторых аминокислот)
Хлор(Cl)	0,05 — 0,1	Основной анион в организме животных. Входит в состав соляной кислоты желудочного сока
Натрий(Na)	0,02 — 0,03	Один из основных катионов: участвует в генерации биоэлектрических потенциалов, поддерживает нормальный ритм сердечной деятельности, влияет на синтез гормонов
Магний(Mg)	0,02 — 0,03	Входит в состав хлорофилла, некоторых ферментов, а также в состав костной ткани и зубной эмали
Элемент	Содержание, %	Биологическая роль
<b>Микроэлементы</b>		
Железо(Fe)	0,01	Входит в состав многих ферментов, гемоглобина и миоглобина. Участвует в процессах клеточного дыхания и фотосинтеза
Кремни	0,001	Участвует в формировании костей и коллагена —

й (Si)*		основного белка соединительной ткани животных. Входит в состав клеточной оболочки растений
У, ииНК(Zn)	0,0003	Входит в состав инсулина, некоторых ферментов, принимает участие в процессах синтеза растительных гормонов
Медь (Си)	0,0002	Участвует в процессах фотосинтеза, клеточного дыхания, синтеза гемоглобина. Входит в состав гемоцианинов — дыхательных пигментов крови и гемолимфы некоторых видов беспозвоночных животных
Фтор (F)	0,0001	Входит в состав зубной эмали и костной ткани
Йод(1)	0,0001	Входит в состав гормонов щитовидной железы
Марганец (Mn)	менее 0,0001	Входит в состав или повышает активность некоторых ферментов. Участвует в формировании костей, в процессе фотосинтеза
Кобальт (Co)	менее 0,0001	Входит в состав витамина B <sub>12</sub> , участвует в процессах кроветворения
Молибден (Mo)	менее 0,0001	Участвует в процессах связывания атмосферного азота клубеньковыми бактериями

\* Для растений — макроэлемент

Для человека источниками макро- и микроэлементов являются продукты питания и вода. Поэтому для полного удовлетворения потребностей в макро- и микроэлементах необходимо полноценное и разнообразное питание, включающее продукты животного и растительного происхождения. Для Беларуси и некоторых других регионов Земли характерен недостаток йода и фтора в природной воде. Поэтому очень важно чаще употреблять в пищу морепродукты, а также восполнять этот недостаток употреблением фторированной и йодированной поваренной соли, производство и продажа которой налажены в нашей стране.

Источник: <http://botan.cc/uchebnik/biologiya/10/by001/p001.html>

Познакомившись с химическими элементами, содержащимися в живых организмах, обратимся к изучению веществ, в состав которых эти элементы входят. Среди них выделяют неорганические (вода, минеральные соли и кислоты) и органические соединения (рис. 1). Больше всего по массе в живых организмах содержится воды.

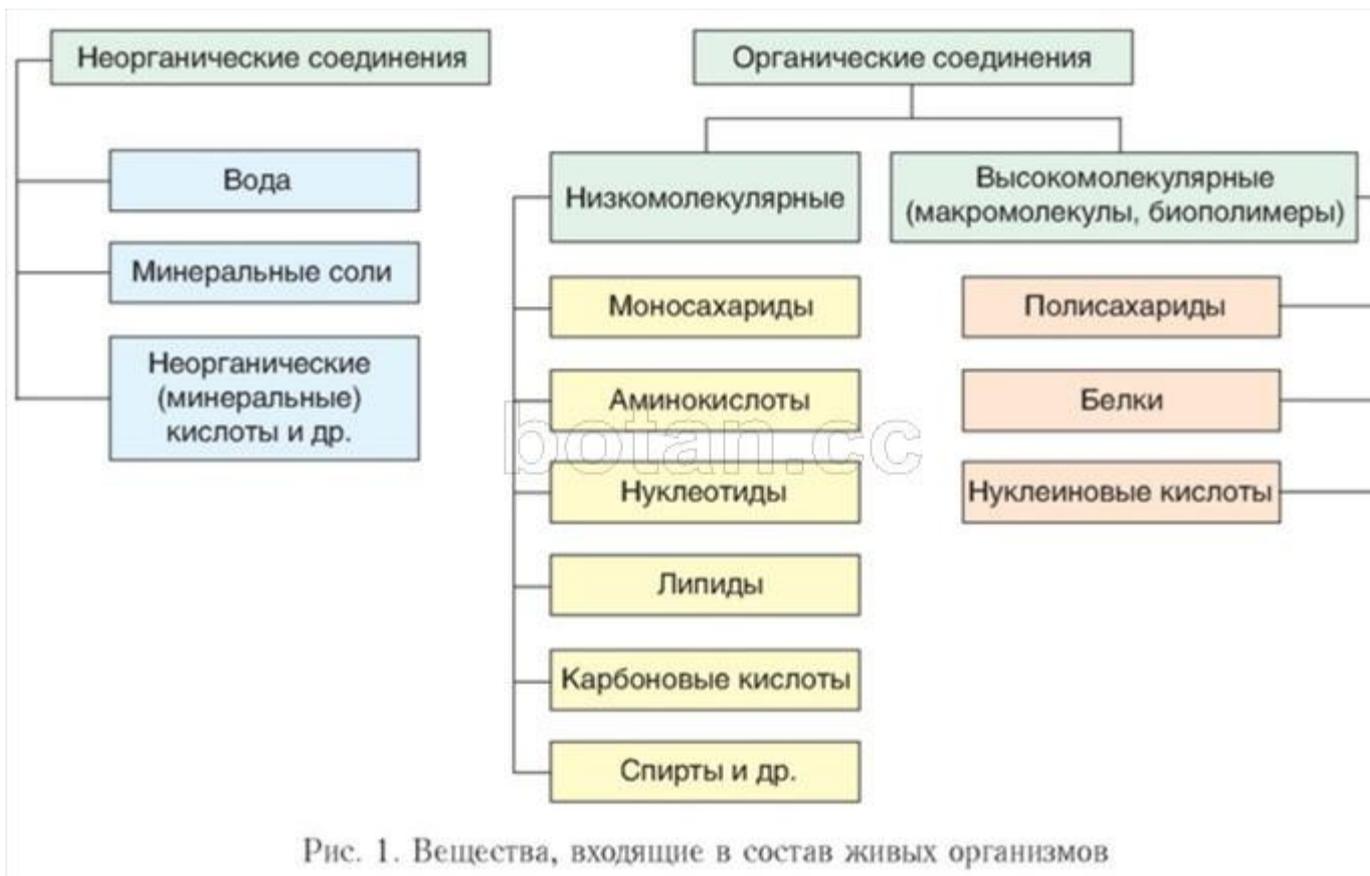
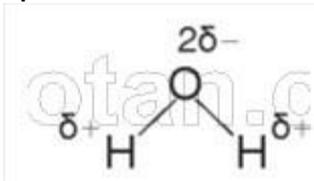


Рис. 1. Вещества, входящие в состав живых организмов

**Вода.** Содержание воды в живых организмах составляет 60—75 % их массы, а у некоторых, например медуз, — до 98 %. В листьях и сочных плодах растений содержание воды также может достигать 98 %.

Количество воды неодинаково в разных тканях и органах. Так, у человека в сером веществе головного мозга ее содержание составляет 85 %, а в костной ткани — 22 %. Наибольшее содержание воды в организме наблюдается в эмбриональный период (95 %) и с возрастом постепенно уменьшается. Без употребления воды человек может прожить не более 5—7 дней.



Как вы уже знаете из курса химии, молекула воды ( $H_2O$ ) состоит из двух атомов водорода, соединенных ковалентными полярными связями с атомом кислорода.

Связи  $H-O-H$  расположены под углом  $104,5^\circ$  друг к другу. Кислород обладает большей электроотрицательностью, чем водород, поэтому атом кислорода притягивает к себе общие электронные пары и приобретает частично отрицательный заряд. Атомы водорода приобретают частично положительный заряд, т. е. молекула воды является **полярной**.

Между атомом кислорода одной молекулы воды и атомом водорода другой молекулы возникает электростатическое притяжение. Такое взаимодействие,

более слабое, чем ионная связь, называется **водородной связью**. Каждая молекула воды, подобно маленькому магниту, притягивает к себе за счет образования водородных связей еще четыре молекулы (рис. 2). Благодаря образованию водородных связей молекулы воды связаны друг с другом. Поэтому вода при температурах от 0 °С до 100 °С может сохранять жидкое агрегатное состояние, тогда как подобные ей водородные соединения (например, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HF) являются газами.

Биологическая роль воды в живых организмах связана с ее свойствами, прежде всего с малыми размерами молекул, их полярностью и способностью образовывать водородные связи между собой и с другими соединениями.

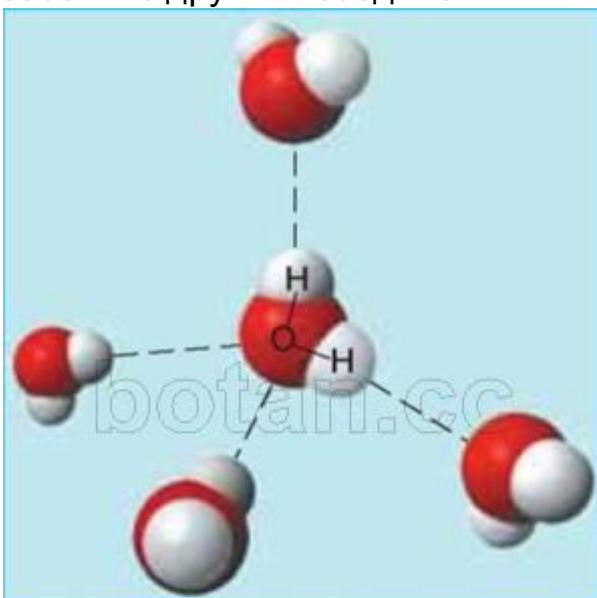


Рис. 2. Водородные связи между молекулами воды

Именно вода определяет объем клеток и внутриклеточное (**тургорное**) давление. Благодаря полярности молекулы воды способны формировать так называемые гидратные оболочки вокруг ионов и полярных молекул. Это способствует обособлению частиц и препятствует их склеиванию друг с другом, что особенно важно, например, для белковых молекул.

Полярность молекул и способность образовывать водородные связи делает воду **универсальным растворителем для полярных веществ**, лучшим, чем большинство известных жидкостей. В зависимости от растворимости в воде соединения условно делят на растворимые, или **гидрофильные** (от греч. **гидор** — вода, *фишия* — люблю), и нерастворимые, или **гидрофобные** (от греч. *фобос* — страх). Гидрофильными веществами являются моно- и дисахариды, многие минеральные соли и кислоты, низшие спирты, низшие карбоновые

кислоты и др. Гидрофобны высшие карбоновые кислоты, жиры и некоторые другие вещества.

Вода — это среда протекания множества обменных процессов. Большинство химических реакций в организме происходит именно в водных растворах. Поступление и выведение веществ из клетки осуществляется, как правило, в растворенном виде. Вода принимает непосредственное участие во многих химических реакциях, происходящих в клетках, в том числе в процессах расщепления органических соединений. Она является одним из исходных веществ в реакциях фотосинтеза. Кислород, образующийся в ходе фотосинтеза, выделяется при расщеплении молекул воды.

Вода как растворитель принимает участие в явлениях осмоса, играющих важную роль в жизнедеятельности клеток организма. **Осмоз** — это перемещение молекул воды через полупроницаемую мембрану (например, через цитоплазматическую мембрану клетки) из области с меньшей концентрацией растворенных веществ (например, солей, сахаров или мочевины) в область с более высокой концентрацией этих веществ (рис. 3). За счет осмоса происходит выравнивание концентраций растворенных веществ в клетке и внеклеточной среде.

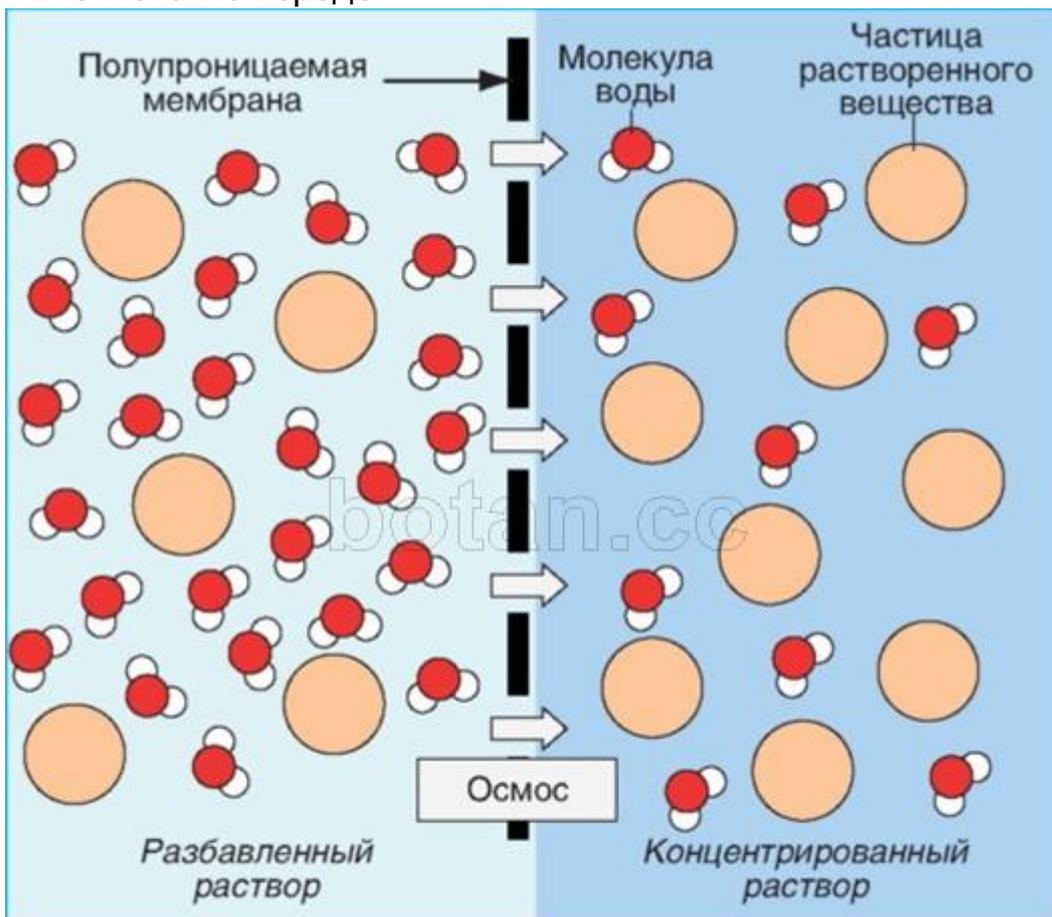


Рис. 3. Схема процесса осмоса

Если раствор и растворитель (например, воду) разделить избирательно проницаемой мембраной, наблюдается перемещение

молекул растворителя через мембрану в раствор. Для того чтобы воспрепятствовать поступлению растворителя, к раствору необходимо приложить определенное давление, которое называется осмотическим давлением. Чем более концентрированным является раствор, тем выше его осмотическое давление.

Растворы, осмотическое давление которых такое же, как в клетках, получили название изотонических. Объем клеток, погруженных в изотонические растворы, остается неизменным (рис. 4, а). Изотонические растворы, в частности физиологический раствор (водный раствор NaCl массовой долей 0,9 %), используются в медицине. Их применяют при сильном обезвоживании и потере крови больными, для растворения лекарственных препаратов, вводимых путем инъекций.

Раствор, осмотическое давление которого выше, чем в клетках, называется гипертоническим. Клетки, погруженные в гипертонический раствор, теряют воду и уменьшаются в объеме, т. е. сморщиваются (рис. 4, б). Гипертонический раствор находит применение в лечении ран. Марлевая повязка, смоченная таким раствором, хорошо впитывает гной, что способствует очищению и заживлению раны.

Противоположная картина наблюдается при погружении клеток в гипотонический раствор, в котором концентрация растворенных веществ ниже, чем в клетках. В этом случае вода устремляется в клетку, клетка разбухает и может лизироваться, т. е. лопнуть (рис. 4, в).

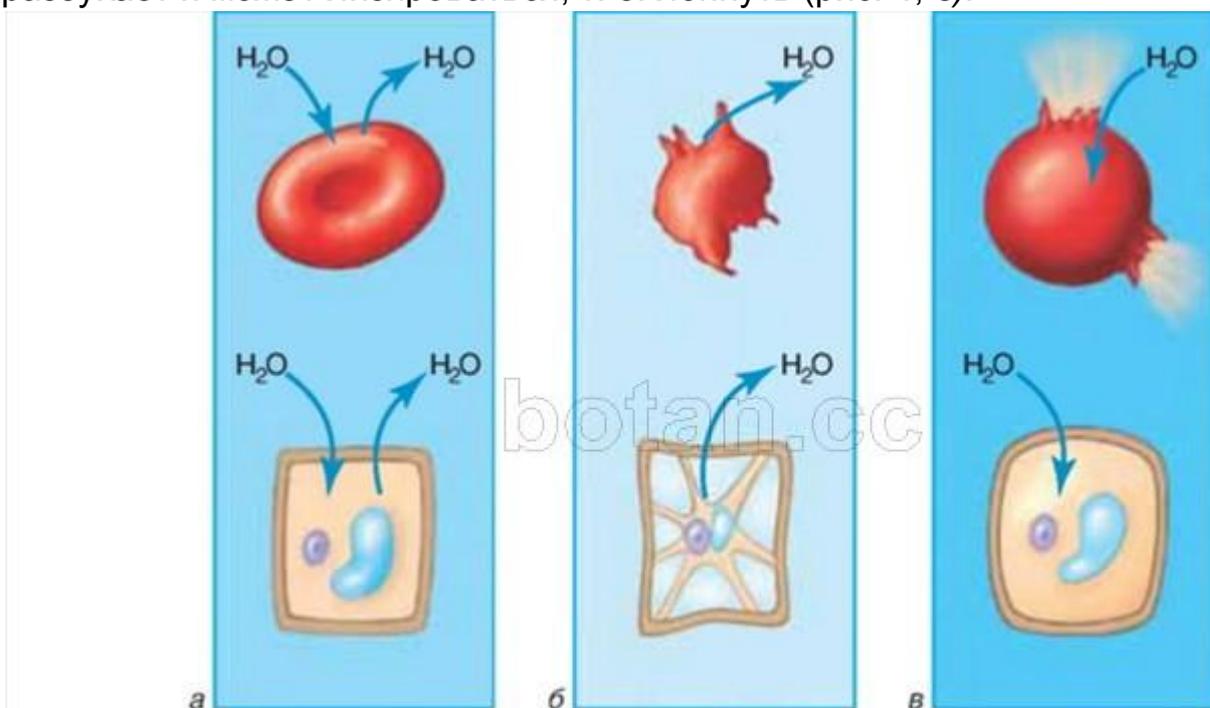


Рис. 4. Осмос при погружении эритроцита и клетки растения в изотонический (а), гипертонический (б) и гипотонический (в) растворы

С водой связана также **регуляция теплового режима** организмов. В воде свойственна высокая теплоемкость — способность поглощать большое количество теплоты при незначительных изменениях собственной температуры. Благодаря этому вода предотвращает резкие

изменения температуры в клетках и организме в целом, даже когда температурные колебания в окружающей среде достаточно велики.

Общее количество водородных связей между молекулами воды изменяется в зависимости от температуры. При таянии льда разрушается примерно 15 % водородных связей, а при 40 °С — половина. При переходе в состояние пара разрушаются все водородные связи. При изменении температуры внешней среды вода поглощает (или выделяет) теплоту вследствие разрыва (или образования) многочисленных водородных связей. Этим объясняется высокая удельная теплоемкость воды.

При испарении воды организмами (транспирация у растений, потоотделение у млекопитающих) тратится много теплоты, что защищает их от перегрева.

Благодаря высокой теплопроводности вода обеспечивает равномерное распределение теплоты между тканями организма (например, через систему кровообращения). Таким образом, вода участвует в регуляции теплового режима организма.

**Минеральные соли и кислоты.** Для поддержания жизнедеятельности клеток и организма в целом необходимы минеральные соли. В живых организмах они находятся либо в растворенном виде (диссоциированы на ионы), либо в твердом состоянии. С биологической точки зрения наиболее важными среди ионов являются катионы  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и анионы  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ .

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

Некоторые ионы необходимы для синтеза органических веществ. Например, остатки фосфорной кислоты входят в состав нуклеотидов и АТФ, ион  $Fe^{2+}$  — в состав гемоглобина,  $Mg^{2+}$  — в состав хлорофилла и т.д. Ионы  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  являются источниками атомов азота, ион  $SO_4^{2-}$  — атомов серы, которые необходимы автотрофным организмам для синтеза аминокислот. Регуляторную функцию и активизацию многих ферментов осуществляют ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ . Кроме того, ионы  $Mg^{2+}$  активизируют энергетический обмен и синтез АТФ.

Соединения кальция (например,  $CaCO_3$ ) входят в состав раковин моллюсков, панцирей ракообразных и других животных. У некоторых протестов внутриклеточный скелет построен из оксида кремния (IV)  $SiO_2$  или сульфата стронция  $SrSO_4$ .

Неорганические кислоты также выполняют важные функции в организме. Так, в желудке позвоночных соляная кислота создает кислую

среду, способствуя уничтожению болезнетворных микроорганизмов и активации ферментов желудочного сока, стимулирует сокращения стенок желудка. Угольная кислота и ее анионы формируют бикарбонатную буферную систему, а анионы фосфорной кислоты — фосфатную буферную систему.

**Кислотность среды.** На протекание биохимических реакций в живых организмах существенное влияние оказывает концентрация ионов водорода ( $H^+$ ) — **кислотность среды**. В нейтральных растворах эта концентрация составляет  $10^{-7}$  моль/л. Для характеристики кислотности среды удобно пользоваться **водородным показателем pH** (пэ-аш) и **шкалой pH** (рис. 5).

В водных растворах величина pH обычно принимает значения от 0 до 14. Нейтральная среда характеризуется значением  $pH = 7$ , в щелочной среде  $pH$  больше 7, в кислой — меньше 7. Чем больше величина  $pH$  отличается от 7, тем более кислым или щелочным является раствор.

Внутри клеток среда нейтральная или слабощелочная ( $pH = 7,0—7,3$ ), в крови величина  $pH$  несколько выше, чем в клетках и обычно колеблется в пределах  $7,35—7,45$ . В пищеварительном тракте  $pH$  сильно варьирует. Экстремальные величины  $pH$  характерны для желудка (1 —2) и тонкого кишечника (более 8). Значительные колебания  $pH$  (4,8—7,4) наблюдаются в моче.

**Понятие о буферных растворах.** Живые организмы в целом и их отдельные клетки обладают способностью поддерживать кислотность среды на определенном уровне. В поддержании слабощелочной реакции внеклеточной среды

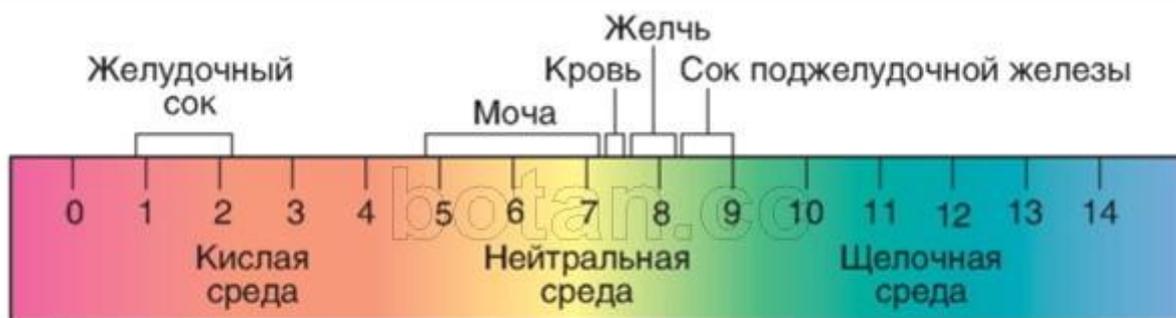
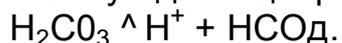


Рис. 5. Шкала значений pH

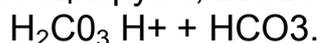
участвуют угольная кислота  $H_2CO_3$  и гидрокарбонат-ион  $HCO_3^-$ . Угольная кислота — слабый электролит, в растворе определенная часть ее молекул диссоциирована и наблюдается баланс:



Если по какой-либо причине концентрация ионов  $H^+$  в растворе увеличивается (среда становится более кислой), анионы  $HCO_3^-$  связывают их:



Если кислотность среды снижается, молекулы угольной кислоты диссоциируют, высвобождая дополнительные ионы водорода:



Так в растворе сохраняется относительно постоянная концентрация ионов  $H^+$ . Сходным образом анионы фосфорной кислоты  $HOPO^-$  и  $HPO_4^{2-}$  обеспечивают поддержание нейтральной или слабощелочной среды внутри клеток. Растворы, в которых при изменении состава среды обеспечивается относительное постоянство концентрации ионов водорода ( $H^+$ ), называются **буферными**.

1. Какие неорганические вещества входят в состав живых организмов?

2. Какие вещества называют гидрофильными? Гидрофобными? Приведите примеры.

3. Охарактеризуйте биологическую роль минеральных солей и кислот.

4. Сколько воды содержится в живых организмах? От чего это зависит? Почему растения при недостатке воды увядают?

5. Два раствора глюкозы разделены мембраной, не пропускающей молекулы глюкозы, но пропускающей воду. Концентрация глюкозы в первом растворе — 1 %, во втором — 0,1 %. Что происходит с молекулами воды? Как называется это явление?

6. Каковы основные функции воды в живых организмах? Как физические и химические свойства воды связаны с ее биологическими функциями?

7. Как вы думаете, почему большинство полярных веществ хорошо растворяются в воде, а неполярные, как правило, нерастворимы в ней?

8. Буферные свойства внеклеточной среды обеспечивают угольная кислота и гидрокарбонат-ион, внутри клеток эту функцию выполняют анионы фосфорной кислоты. Почему эти соединения позволяют поддерживать в растворах определенную концентрацию ионов водорода, в то время как азотная и соляная кислоты, а также их анионы, не обладают такими свойствами?

**Органические вещества. Понятие о биополимерах.** Как уже отмечалось, в состав живых организмов, кроме неорганических, входят различные органические вещества: белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и др. Они образованы, прежде всего, четырьмя химическими элементами: углеродом, водородом, кислородом и азотом. В составе белков к этим элементам добавляется сера, а в нуклеиновых кислотах — фосфор.

В живых организмах органические вещества представлены как небольшими, с относительно низкой молекулярной массой, молекулами, так и макромолекулами. **Низкомолекулярным** соединениям относятся аминокислоты, моносахариды, нуклеотиды, карбоновые кислоты, спирты и некоторые другие. **Макромолекулы** (от греч. **макрос** — большой) представлены белками, полисахаридами и нуклеиновыми кислотами. Это сложные по структуре соединения с большой молекулярной массой. Так, относительная молекулярная масса большинства белков составляет от 5000 до 1 000 000. Как вы знаете из курса химии, относительная

молекулярная масса ( $M_r$ ) равна отношению массы одной молекулы вещества к части массы атома углерода и, следовательно, является величиной безразмерной. Значение  $M_r$  показывает, во сколько раз масса молекулы данного вещества больше атомной единицы массы.

Молекулы белков, полисахаридов и нуклеиновых кислот состоят из большого числа одинаковых или различных по составу повторяющихся звеньев. Как вы знаете из курса химии, подобные соединения называются **полимерами**. Простые молекулы, из остатков которых состоят полимеры, называются **мономерами**. Мономерами белков являются аминокислоты, мономерами полисахаридов — моносахариды, молекулы нуклеиновых кислот построены из нуклеотидов. Белки, полисахариды и нуклеиновые кислоты содержатся в клетках всех живых организмов и выполняют исключительно важные биологические функции, поэтому их называют **биологическими полимерами (биополимерами)**.

В клетках различных живых организмов содержание тех или иных органических соединений разное. Например, в клетках животных преобладают белки и липиды, а в клетках растений — углеводы. Однако в различных клетках определенные органические соединения выполняют схожие функции.

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

**Аминокислоты — «кирпичики» белковых молекул.** Аминокислоты — органические соединения, содержащие одновременно аминогруппу ( $-\text{NH}_2$ ), для которой характерны основные свойства, и карбоксильную группу ( $-\text{COOH}$ ) с кислотными свойствами. Известно около 200 аминокислот, но в образовании природных белков участвует только 20. Такие аминокислоты называются белок-образующими. В таблице 2 приведены полные и сокращенные названия этих аминокислот (не для запоминания).

**Таблица 2. Белокообразующие аминокислоты и их сокращенные обозначения**

Название аминокислоты	Обозначение	Название аминокислоты	Обозначение
Аланин	Ала	Лейцин	Лей
Аргинин	Арг	Лизин	Лиз
Аспарагин	Асп	Метионин	Мет
Аспарагиновая кислота	Асп	Пролин	Про
Валин	Вал	Серин	Сер
Гистидин	Гис	Тирозин	Тир

Глицин	Гли	Треонин	Тре
Глутамин	Глн	Триптофан	Трп
Глутаминовая кислота	Глу	Фенилаланин	Фен
Изолейцин	Иле	Цистеин	Цис

В молекулах белокобразующих аминокислот карбоксильная группа и аминогруппа связаны с одним и тем же атомом углерода. По этому признаку 20 аминокислот сходны между собой. Другая часть молекулы, называемая радикалом (R), у разных аминокислот имеет различное строение (рис. 6). Радикал может быть неполярным или полярным, гидрофобным или гидрофильным, что и придает разным аминокислотам особые свойства.

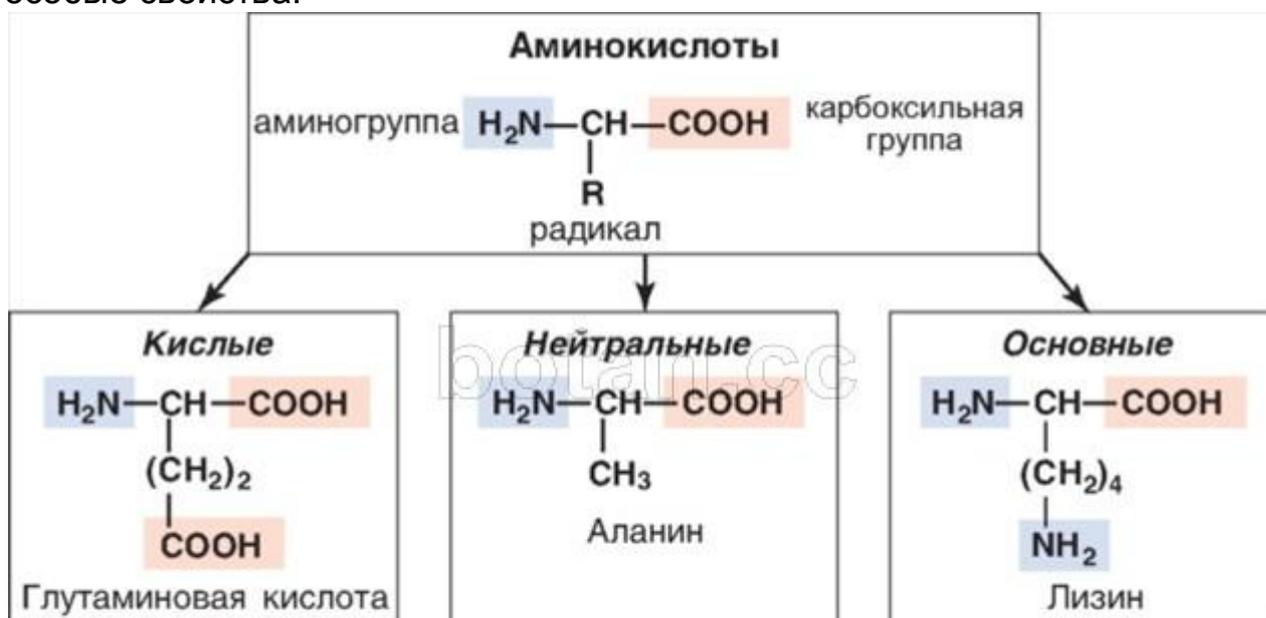


Рис. 6. Разнообразие аминокислот

У большей части белокобразующих аминокислот имеется одна карбоксильная группа и одна аминогруппа — такие аминокислоты называются нейтральными (см. рис. 6). Существуют также основные аминокислоты, с более чем одной аминогруппой, и кислые аминокислоты, с более чем одной карбоксильной группой. Наличие дополнительной амино- или карбоксильной группы оказывает влияние на свойства аминокислоты, которые играют определяющую роль в формировании пространственной структуры белка. В состав радикала некоторых аминокислот (например, цистеина) входят атомы серы.

Автотрофные организмы синтезируют все необходимые им аминокислоты из первичных продуктов фотосинтеза и азотсодержащих неорганических соединений. Для гетеротрофных организмов источником аминокислот является пища. В организме человека и животных некоторые аминокислоты могут синтезироваться из продуктов обмена веществ (в первую очередь — из других аминокислот). Такие аминокислоты называются заменимыми. Другие же, так называемые

незаменимые аминокислоты, не могут быть синтезированы в организме и поэтому должны постоянно поступать в него в составе белков пищи. Белки пищи, содержащие остатки всех незаменимых аминокислот, называются полноценными, в отличие от неполноценных, в составе которых отсутствуют остатки тех или иных незаменимых аминокислот.

Незаменимыми аминокислотами для человека являются: триптофан, лизин, валин, изолейцин, треонин, фенилаланин, метионин и лейцин. Для детей незаменимыми являются также аргинин и гистидин.

Наличие как основной, так и кислотной групп обуславливает амфотерность и высокую реакционную способность аминокислот. Аминогруппа ( $\text{—NH}_2$ ) одной аминокислоты способна взаимодействовать с карбоксильной группой ( $\text{—COOH}$ ) другой аминокислоты. При этом выделяется молекула воды, а между атомом азота аминогруппы и атомом углерода карбоксильной группы возникает ковалентная связь, которая называется **пептидной связью**. Образующаяся молекула представляет собой **дипептид** (рис. 7). На одном конце молекулы дипептида находится свободная аминогруппа, а на другом — свободная карбоксильная группа. Благодаря этому дипептид может присоединять к себе другие аминокислоты, образуя **олигопептиды**. Если таким образом соединяется более **10** остатков аминокислот, то образуется **полипептид**.

Пептиды играют важную роль в организме человека. Многие гормоны (глюкагон, ва-зопрессин, окситоцин и др.), антибиотики (например, грамицидин), токсины (например, дифтерийный токсин) по химической природе являются олиго- и полипептидами.

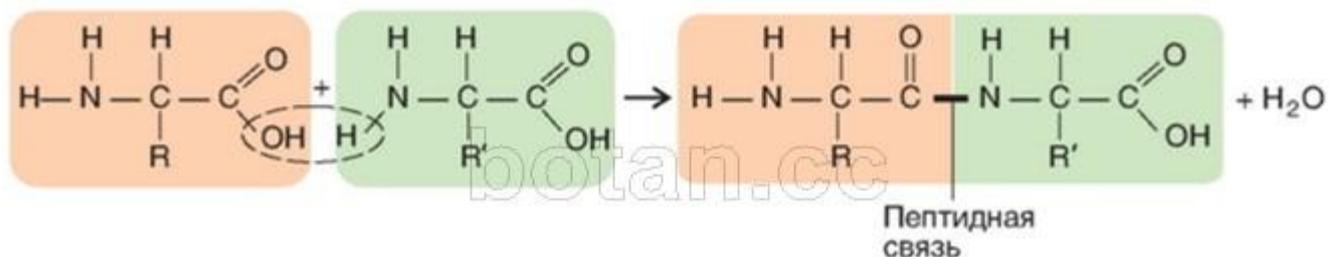


Рис. 7. Схема образования дипептида

**Белки. Уровни организации белковой молекулы.** Полипептидные цепи могут быть очень длинными и включать самые разные комбинации аминокислотных остатков. Полипептиды, в состав молекул которых входит от 50 до нескольких тысяч остатков аминокислот, называются **белками**. Каждый конкретный белок характеризуется строго постоянным составом и последовательностью аминокислотных остатков.

Белки, образованные только остатками аминокислот, называются простыми. Сложными являются белки, имеющие в своем составе компонент неаминокислотной природы. Это могут быть ионы металлов ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), липиды, нуклеотиды, сахара и др. Простыми белками являются альбумины крови, фибрин, некоторые ферменты (трипсин) и др. Сложные белки — это большинство ферментов, иммуноглобулины (антитела).

Молекулы белков могут принимать различные пространственные формы, которые представляют собой четыре уровня их структурной организации (рис. 8).

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

**Вторичная структура** белка возникает в результате образования водородных связей между атомами водорода NH-групп и атомами кислорода CO-групп разных аминокислотных остатков полипептидной цепи. Полипептидная цепь при этом закручивается в спираль. Водородные связи слабые, но благодаря значительному количеству они обеспечивают стабильность этой структуры. Полностью спиральную конфигурацию имеют, например, молекулы кератина — основного белка волос и ногтей человека. Спиральная вторичная структура характерна и для некоторых других белков, например для миозина

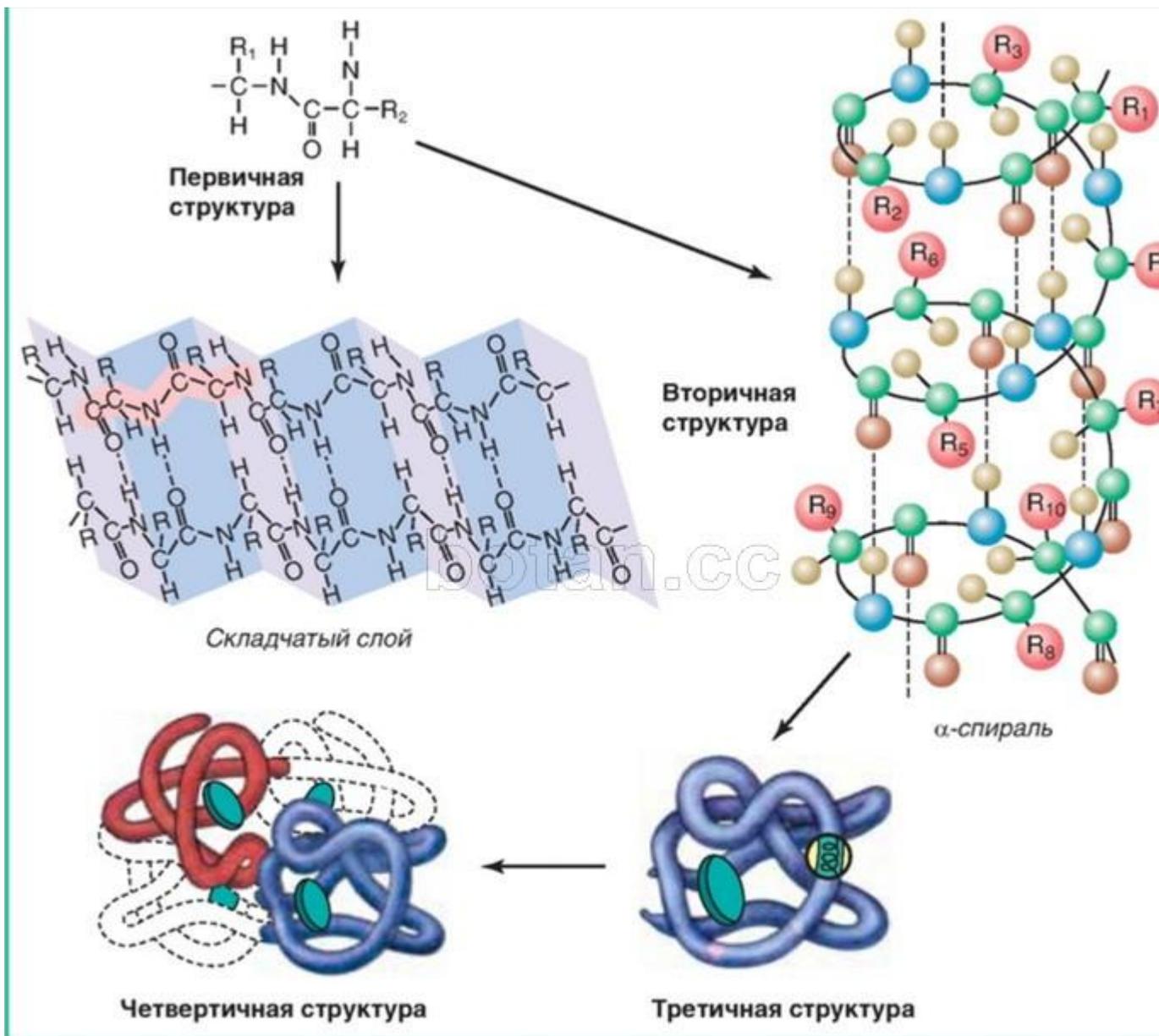


Рис. 8. Уровни организации белковой молекулы

Вторичная структура белка, помимо спирали, может быть представлена складчатым слоем. В этом случае несколько полипептидных цепей (или участков одной полипептидной цепи) размещаются параллельно, образуя структуру, сложенную наподобие гармошки (см. рис. 8). Такую конфигурацию имеет, например, белок фиброин, составляющий основу волокон натурального шелка.

**Третичная структура** формируется за счет образования водородных, ионных и других связей, возникающих между разными группами атомов белковой молекулы в водной среде. У некоторых белков важную роль в образовании третичной структуры играют S — S связи (дисульфидные связи) между остатками цистеина (аминокислота, содержащей серу). При этом полипептидная спираль укладывается в своеобразный клубок (глобулу) таким образом, что гидрофобные аминокислотные радикалы погружаются внутрь глобулы, а

гидрофильные располагаются на поверхности и взаимодействуют с молекулами воды. Третичной структурой определяются специфичность белковых молекул, их биологическая активность. Третичную структуру имеют многие белки, например миоглобин (белок, который участвует в создании запаса кислорода в мышцах) и трипсин (фермент, расщепляющий белки пищи в кишечнике).

В состав молекул некоторых белков входит не один, а несколько полипептидов, образующих единый комплекс. Так формируется **четвертичная структура**. Полипептиды (они могут иметь одинаковое или разное строение) не связываются ковалентными связями. Прочность четвертичной структуры обеспечивается взаимодействием слабых межмолекулярных сил. Например, четвертичная структура характерна для белка гемоглобина. Его молекула состоит из четырех структурных элементов — субъединиц, в состав каждой субъединицы входит полипептидная цепь и небелковый компонент — гем. Школьные [учебники](#).

**Многообразие и свойства белков.** По форме молекул белки можно разделить на две группы. Молекулы **глобулярных** белков имеют округлую форму, **фибриллярные** белки характеризуются вытянутой, нитевидной формой молекул. Так, глобулярными белками являются глобулины и альбумины крови, фибриноген, гемоглобин. Фибриллярные белки — кератин, коллаген, миозин, эластин и др. (рис. 9).

Белки — преимущественно водорастворимые вещества, именно в водных растворах они проявляют свою функциональную активность. Белковые молекулы несут большой поверхностный заряд. Это сказывается на каталитической активности белков, на проницаемости биологических мембран (белки входят в их состав) и других функциях. Еще одной важной особенностью белков является то, что они проявляют свою активность лишь в узких температурных рамках и в определенном диапазоне кислотности среды.

**Денатурация и ренатурация белков.** Одно из основных свойств белков — способность изменять структуру и свойства под влиянием различных факторов (высокая температура, действие концентрированных кислот и щелочей, тяжелых металлов и др.). Процесс нарушения природной структуры белков под влиянием каких-либо факторов без разрушения первичной структуры называется **денатурацией** (от лат. **де** — приставка, означающая утрату, **натура** — природные свойства). Денатурация происходит вследствие разрыва водородных, ионных, дисульфидных и других связей, стабилизирующих пространственную структуру белковых молекул. При этом может утрачиваться их четвертичная, третичная и даже вторичная структура (рис. 10). Денатурация сопровождается потерей биологической активности белка. При этом наблюдается уменьшение его растворимости, изменение формы и размеров молекул.

Так, соли тяжелых металлов при взаимодействии с белками образуют нерастворимые соединения, и белки выпадают в осадок.

Денатурация часто имеет необратимый характер. Однако в ряде случаев после непродолжительного воздействия повреждающего фактора белок может восстановить свое первоначальное состояние. Это явление называется **ренатурацией** (от лат. **re** — приставка, означающая возобновление). Развернутая полипептид-ная цепь способна самопроизвольно закрутиться в спираль, а затем уложиться в третичную структуру. Это означает, что пространственная структура белка определяется его первичной структурой, т. е. последовательностью аминокислотных остатков.

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

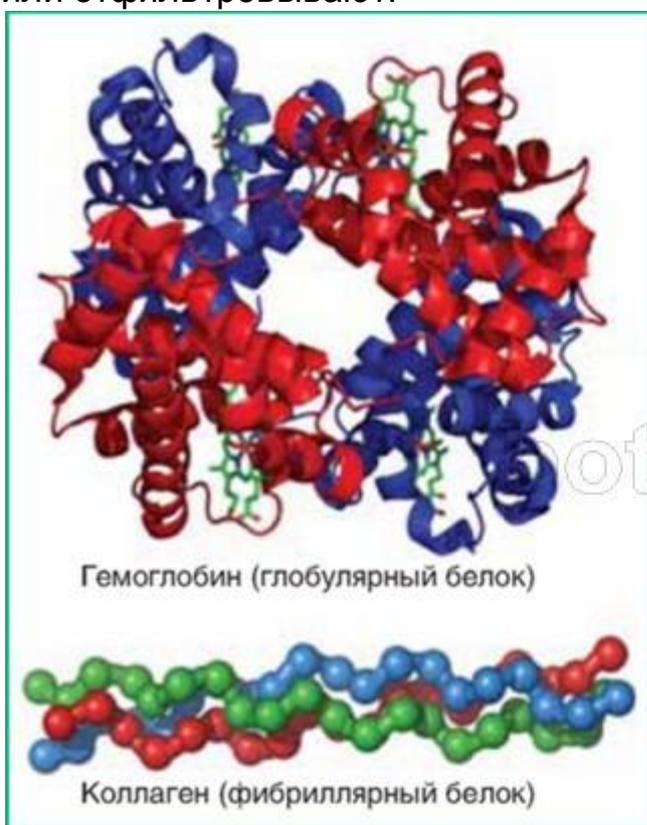


Рис. 9. Белки с разной формой молекул

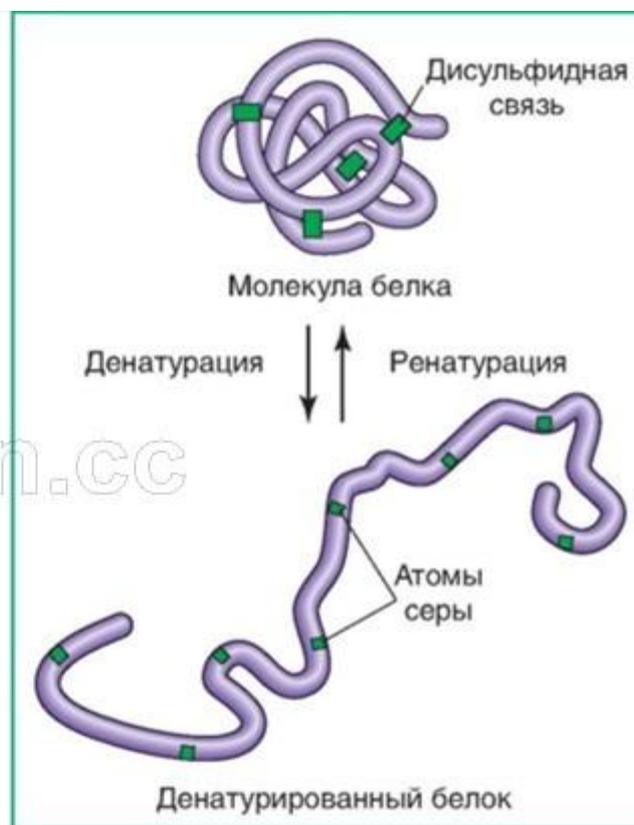


Рис. 10. Денатурация и ренатурация белков

В медицине денатурацию применяют для стерилизации инструментов и материалов (здесь денатурирующим агентом является высокая температура). Такие денатурирующие агенты, как этиловый спирт, фенол и хлорамин, используют в качестве антисептиков для дезинфекции загрязненных материалов и поверхностей. Аналогичные процессы происходят при обеззараживании ран, ссадин, царапин раствором йода или спиртом.

**Функции белков.** Большое разнообразие белков позволяет им выполнять в живом организме множество различных функций.

**Структурная функция.** Белки входят в состав всех клеток и тканей живых организмов. Белки являются обязательным компонентом всех клеточных мембран и органоидов клетки. Из белков построены элементы цитоскелета, сократительные элементы мышечных волокон. Преимущественно из белков состоят хрящи и сухожилия. В их состав входит белок коллаген. Важнейшим структурным компонентом перьев, волос, ногтей, когтей, рогов, копыт у животных является белок кератин. В состав связок, стенок артерий и лёгких входит структурный белок эластин.

**Ферментативная (каталитическая) функция.** Многие белки являются ферментами. **Ферменты** — это биологические катализаторы, т. е. вещества, ускоряющие протекание химических реакций в живых организмах. Ферменты участвуют в процессах синтеза и расщепления различных веществ. Они обеспечивают фиксацию углерода в процессе фотосинтеза, расщепление питательных веществ в пищеварительном тракте и т. д.

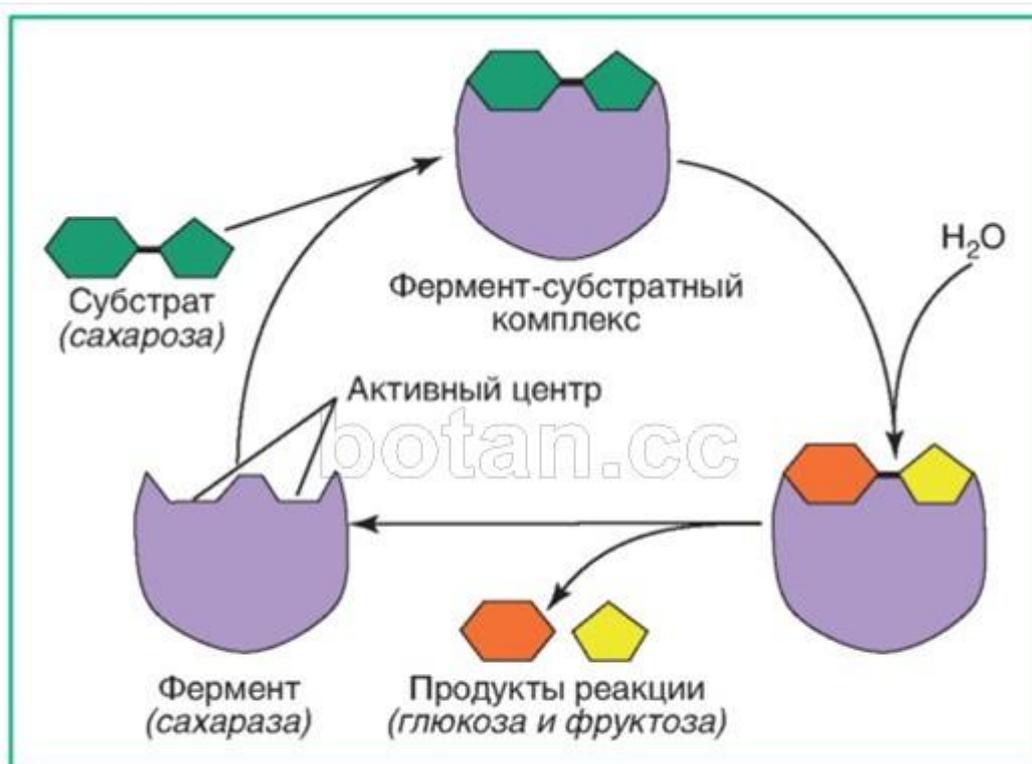


Рис. 11. Схема работы фермента

Практически все процессы жизнедеятельности, протекающие в организме, обусловлены ферментативными реакциями.

Ферменты ускоряют химические реакции за счет тесного взаимодействия с молекулами субстратов — исходных реагирующих веществ (рис. 11). С субстратом (или субстратами) взаимодействует не вся молекула фермента, а лишь небольшой ее участок — активный центр. Чаще всего он образован несколькими аминокислотными

остатками. Форма и химическое строение активного центра таковы, что с ним могут связываться только определенные субстраты из-за соответствия их пространственных структур. Иными словами, субстрат по форме подходит к активному центру, как ключ к замку. Присоединение к активному центру приводит к тому, что молекулы субстрата определенным образом располагаются в пространстве и деформируются, в их структуре ослабляются определенные химические связи. Все это приводит к ускорению реакции.

На заключительном этапе химической реакции фермент-субстратный комплекс распадается с высвобождением конечных продуктов и свободного фермента. Освободившийся активный центр может принимать новые молекулы субстрата по данным botan.cc

Сходство ферментов с обычными химическими катализаторами проявляется в том, что и те и другие увеличивают скорость реакции, но при этом не расходуются и могут использоваться многократно.

В отличие от обычных химических катализаторов ферменты обладают специфичностью, т. е. каждый фермент ускоряет только одну определенную реакцию или действует только на определенный тип связи. Эта особенность объясняется соответствием активного центра фермента определенным субстратам. Ферменты работают гораздо быстрее (ускоряют реакции в миллионы и миллиарды раз, а неорганические катализаторы — в сотни и тысячи раз), поэтому даже в очень малых концентрациях обеспечивают интенсивное протекание катализируемых реакций.

Ферменты являются белками, поэтому активно работают лишь в определенном диапазоне pH, температуры и других факторов. Например, фермент желудочного сока пепсин активен только в кислой среде, а ферменты слюны амилаза и мальтаза — в слабощелочной. При повышении температуры все химические реакции ускоряются, а реакции, катализируемые ферментами, замедляются, а затем вовсе прекращаются. Повышение температуры, изменение кислотности среды и других факторов приводит к денатурации ферментов, в результате чего они теряют способность связываться со своими субстратами.

Некоторые ферменты, помимо активного центра, имеют один или несколько регуляторных центров. Как с активным, так и с регуляторным центрами могут связываться определенные вещества, влияющие на активность фермента. Вещества, повышающие скорость ферментативных реакций, называются активаторами (от лат. *активус* — деятельностный).

Вещества, снижающие или блокирующие активность ферментов, называются ингибиторами (от лат. *ингибео* — сдерживаю, останавливаю).

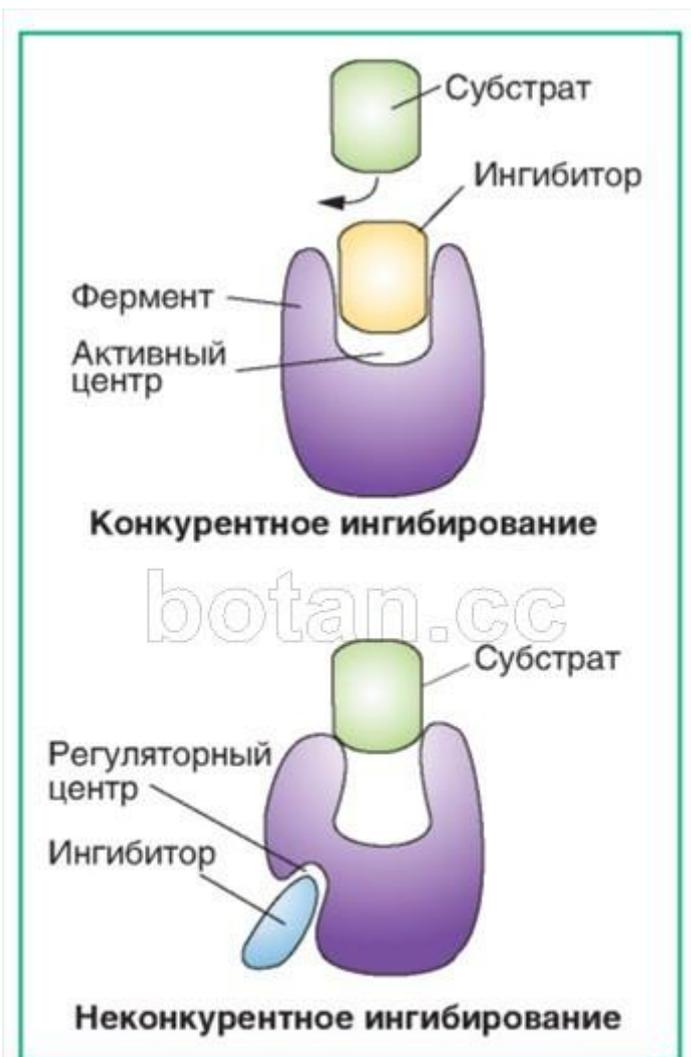


Рис. 12. Схема ингибирования фермента

Различают несколько типов ингибирования, в частности, конкурентное и неконкурентное (рис.12).

Конкурентное ингибирование вызывается веществами, которые по структуре сходны с субстратом и способны связываться с активным центром фермента. При этом молекулы субстрата и ингибитора конкурируют за активный центр. Конкурентные ингибиторы нередко используются в качестве лекарственных средств (антибиотики, противоопухолевые препараты и др.).

Неконкурентные ингибиторы не имеют структурного сходства с субстратом и присоединяются не к активному центру, а к другим участкам фермента (в частности, к регуляторному центру).

Ферменты широко используются в пищевой промышленности (при производстве сыров, соков, овощных и фруктовых пюре, в хлебопечении, пивоварении, виноделии, для обработки мяса и т. д.). Их также применяют в сельском хозяйстве для получения кормов, в медицине для диагностики и лечения заболеваний, в текстильной и кожевенной

промышленности для обработки тканей, кожи и меха, в производстве синтетических моющих средств и др.

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

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

**Регуляторная функция.** Некоторые пептиды и белки являются гормонами. Они влияют на различные физиологические процессы. Например, инсулин и глюкагон регулируют содержание глюкозы в крови, а соматотропин (гормон роста) — процессы роста и физического развития.

**Сигнальная функция.** Некоторые белки клеточных мембран способны изменять свою структуру в ответ на действие внешних факторов. С помощью этих белков происходит прием сигналов из внешней среды и передача информации в клетку. Примером может служить опсин — составная часть зрительного пигмента родопсина, содержащегося в клетках сетчатки глаза.

**Защитная функция.** Белки предохраняют организм от вторжения чужеродных организмов и от повреждений. Так, в ответ на проникновение чужеродных объектов (антигенов) определенные лейкоциты вырабатывают специфические белки — иммуноглобулины (антитела), участвующие в иммунном ответе организма. Белок интерферон защищает организм от вирусной инфекции. Фибриноген, тромбопластин и тромбин обеспечивают свертывание крови, предотвращая кровопотерю.

**Токсическая функция.** Многие живые организмы выделяют белки-токсины, которые являются ядами для других организмов. Токсины синтезируются в организме ряда животных, грибов, растений, микроорганизмов. В свою очередь, некоторые организмы способны вырабатывать антитоксины, которые подавляют действие этих ядов.

**Энергетическая функция.** После расщепления до аминокислот белки могут служить источником энергии в клетке. При полном окислении 1 г белка выделяется 17,6кДж энергии. Однако белки расходуются на энергетические нужды лишь в крайних случаях, когда исчерпаны запасы углеводов и жиров.

**Запасающая функция.** В семенах растений запасаются резервные белки, которые используются при прорастании зародышем, а затем и проростком как источник азота.

1. Как называется процесс нарушения природной структуры белка, при котором сохраняется его первичная структура? Действие каких факторов может приводить к нарушению структуры белковых молекул?
2. Чем фибриллярные белки отличаются от глобулярных? Приведите примеры фибриллярных и глобулярных белков.
3. Назовите основные биологические функции белков, приведите соответствующие примеры.
4. Что такое ферменты? Почему без их участия протекание большинства биохимических процессов в клетке было бы невозможным?
5. В чем заключается специфичность ферментов? Какова ее причина? Почему ферменты активно функционируют лишь в определенном диапазоне температуры, pH и других факторов?
6. Почему белки, как правило, используются в качестве источников энергии лишь в крайних случаях, когда в клетках исчерпаны запасы углеводов и жиров?
7. У многих бактерий в процессах синтеза веществ, необходимых для нормального роста и размножения, участвует парааминобензойная кислота (ПАБК). В то же время в медицине для лечения ряда бактериальных инфекций используются сульфаниламиды — вещества, по структуре сходные с ПАБК. Как вы думаете, на чем основано лечебное действие сульфаниламидов?



botan.cc

