



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 и от чего это зависит? Почему растения при недостатке воды увядают?

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

6. Какие функции выполняет вода в живых организмах?

7*. Как физические и химические свойства воды связаны с ее биологическими функциями?

8*. Анионы фосфорной кислоты обеспечивают поддержание относительно постоянной концентрации ионов водорода внутри клеток. Во внеклеточной среде эту функцию выполняют угольная кислота и гидрокарбонат-ион. Почему эти соединения позволяют поддерживать определенную кислотность среды, в то время как азотная и соляная кислоты, а также их анионы, не обладают такими свойствами?



САМОДЕЛЬНЫЙ pH-ИНДИКАТОР



§ 3. Органические вещества. Аминокислоты. Белки

Низкомолекулярные и высокомолекулярные органические вещества.

Неотъемлемой составляющей всего живого являются *органические* вещества, название которых происходит от слова «организм». Эти соединения обеспечивают протекание важнейших процессов жизнедеятельности, и жизнь на Земле без их участия невозможна. Органические вещества составляют в среднем 20—30 % массы живых организмов. Их молекулы состоят, главным образом, из атомов углерода, водорода и кислорода. В состав многих биологически важных органических соединений входят и другие элементы. Например, молекулы белков также содержат азот и серу, нуклеиновые кислоты — азот и фосфор.

Низкомолекулярные органические вещества характеризуются сравнительно небольшой молекулярной массой и относительно простым строением. Это аминокислоты, моносахариды, нуклеотиды, карбоновые кислоты, спирты и т. п. Сложные по структуре соединения, молекулярная масса которых составляет от нескольких тысяч до миллионов, называют **высокомолекулярными**. К ним относятся белки, полисахариды и нуклеиновые кислоты. Молекулы этих веществ состоят из множества повторяющихся звеньев — **мономеров**, которые могут быть одинаковыми или различаться по составу. Из курса химии вы знаете, что такие соединения называются **полимерами**. Мономерами белков являются аминокислоты, мономерами полисахаридов — моносахариды, молекулы нуклеиновых кислот построены из нуклеотидов (рис. 5, с. 18).



Рис. 5. Органические вещества, входящие в состав живых организмов

определенной группе, у всех живых организмов выполняют сходные функции. При этом наибольшее разнообразие биологических функций характерно для белков.

Аминокислоты — мономеры белковых молекул. Аминокислоты — органические соединения, содержащие одновременно аминогруппу ($-\text{NH}_2$), обладающую основными свойствами, и карбоксильную группу ($-\text{COOH}$), проявляющую кислотные свойства. В составе живых организмов обнаружены сотни аминокислот, но в образовании белков участвует лишь 20 из них. Такие аминокислоты называют *белкообразующими*, их полные и сокращенные названия представлены в таблице 3 (не для запоминания).

Таблица 3. Белкообразующие аминокислоты

Аминокислота	Сокращенное название	Аминокислота	Сокращенное название
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

Белки, полисахариды и нуклеиновые кислоты содержатся в клетках всех живых организмов и выполняют исключительно важные биологические функции, поэтому их называют **биологическими полимерами (биополимерами)**.

Из всех групп органических веществ в клетках растений преобладают полисахариды, а в клетках животных — белки. Но несмотря на некоторые различия в количественном соотношении тех или иных органических соединений, вещества, принадлежащие к опре-

В молекулах белокобразующих аминокислот аминогруппа и карбоксильная группа присоединены к одному и тому же атому углерода (т. е. все они являются α -аминокислотами). С этим же атомом углерода связан радикал (R), который у каждой аминокислоты имеет особое строение и определяет ее специфические свойства (рис. 6).

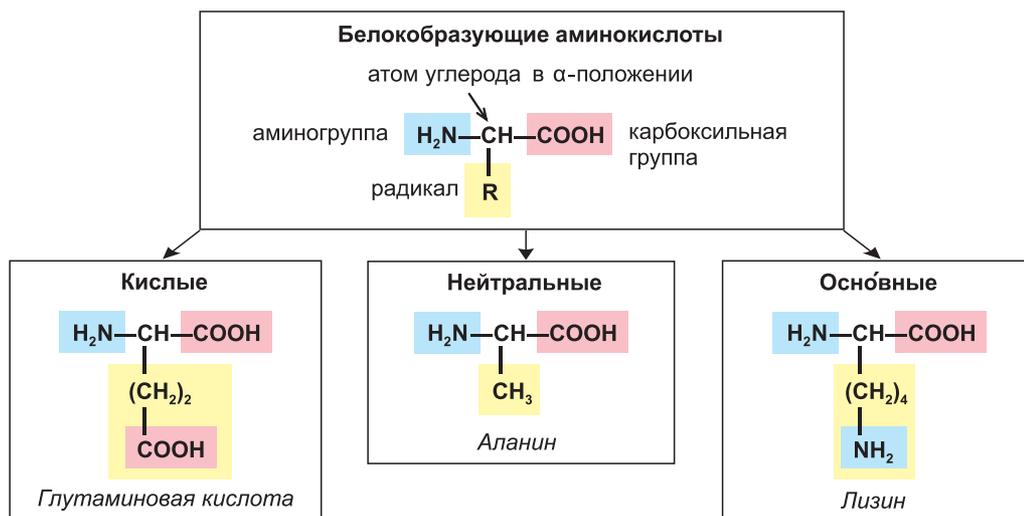


Рис. 6. Строение молекул белокобразующих аминокислот

Радикалы аминокислот могут быть неполярными (гидрофобными) или полярными (гидрофильными), содержать различные функциональные группы. Например, радикал серина содержит гидроксильную группу (—OH), радикал цистеина — серосодержащую группу (—SH). Некоторые аминокислоты имеют циклические радикалы. Все это играет важную роль в формировании пространственной структуры белков.

Молекулы большинства белокобразующих аминокислот содержат одну аминогруппу и одну карбоксильную группу — это *нейтральные* аминокислоты. Некоторые аминокислоты имеют дополнительные амино- или карбоксильные группы в составе радикала. Такие аминокислоты соответственно называются *оснóвными* или *кислыми* (см. рис. 6).

Автотрофные организмы синтезируют все необходимые им аминокислоты из 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.

Для человека *незаменимыми* аминокислотами являются: триптофан, валин, лизин, изолейцин, треонин, фенилаланин, метионин и лейцин. Запоминать их перечень необязательно, но при желании можете воспользоваться мнемоническими правилами. Например: «Три Подруги — ВАЛЯ, ЛИЗА И ЛЕНКА ТРЕБОВАЛИ ФЕН и МЕТАЛлическую ЛЕЙку».

Наличие одновременно аминогруппы и карбоксильной группы обуславливает амфотерность аминокислот и их высокую реакционную способность. Как вы помните из курса химии, карбоксильная группа ($-\text{COOH}$) одной аминокислоты может взаимодействовать с аминогруппой ($-\text{NH}_2$) другой аминокислоты. При этом от карбоксильной группы отщепляется группа $-\text{OH}$, а от аминогруппы — атом водорода. В результате выделяется молекула воды, а между атомом углерода карбоксильной группы и атомом азота аминогруппы возникает ковалентная связь, которая называется *пептидной связью* (рис. 7).

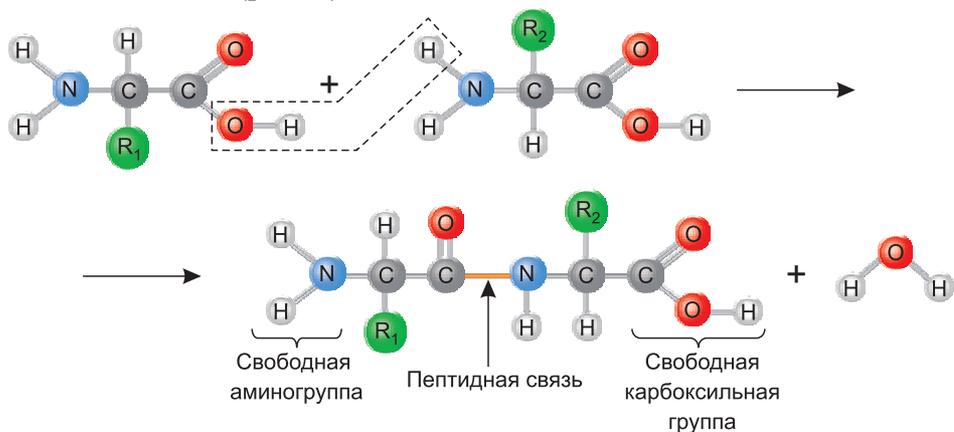


Рис. 7. Синтез дипептида

Так образуется **дипептид**, который имеет на одном конце свободную аминогруппу, а на другом — свободную карбоксильную группу. Благодаря любой из них дипептид может взаимодействовать со следующей аминокислотой, образуя **трипептид** и т. д. Если таким образом соединяется более 10 остатков аминокислот, то образуется **полипептид**.



Белки — это полипептиды, в состав молекул которых входит множество остатков аминокислот (до нескольких тысяч). Белки различаются количеством аминокислотных звеньев, их составом и последовательностью

расположения. При этом каждый белок имеет особый, присущий только ему порядок чередования аминокислот.

Уровни структурной организации белковых молекул. Для того чтобы белок мог выполнять свою биологическую функцию, его молекула должна иметь определенную пространственную конфигурацию. Различают четыре основных уровня организации белковых молекул — первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры (рис. 8).

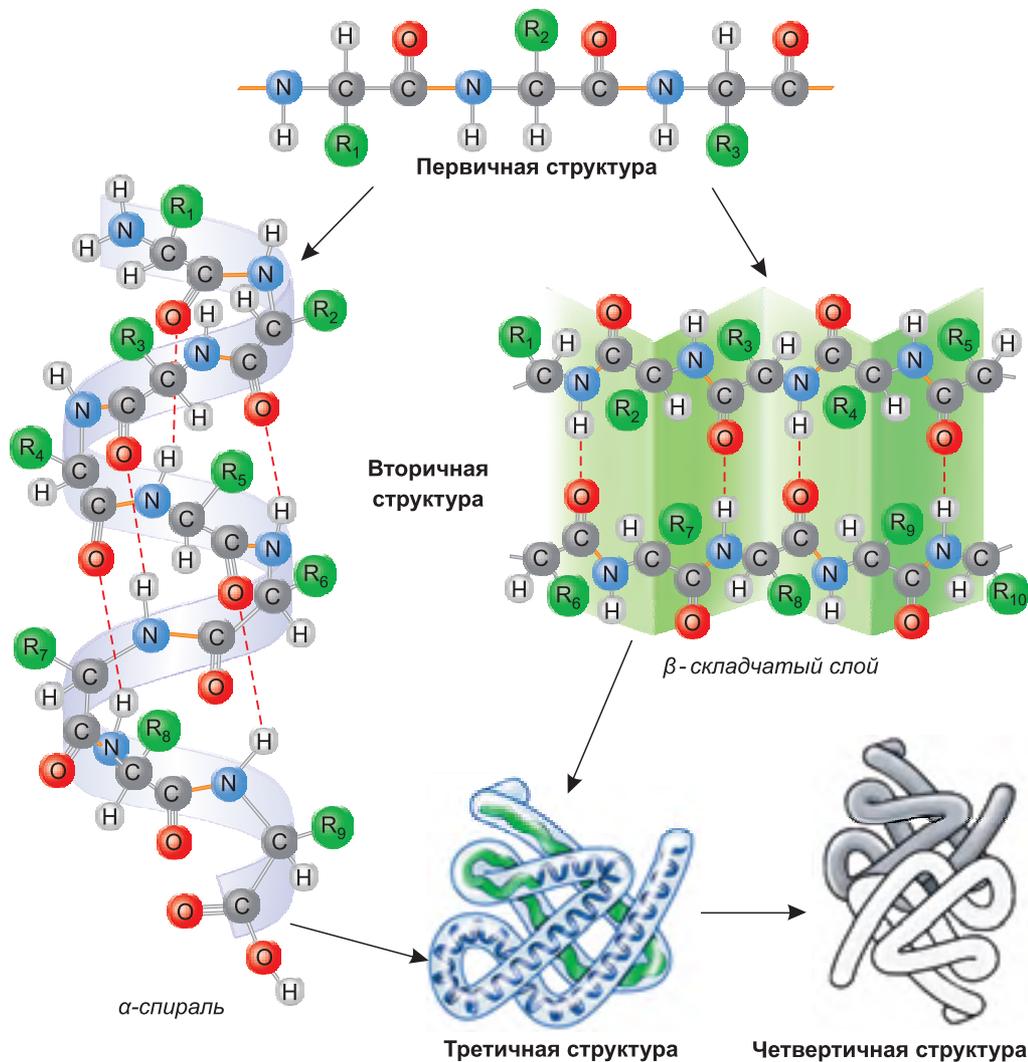


Рис. 8. Уровни структурной организации молекул белков

Первичная структура белка — это строго определенная последовательность аминокислотных остатков в линейной полипептидной цепи. Каждый белок обладает уникальной первичной структурой. Ее существование обусловлено наличием прочных *пептидных* связей между остатками аминокислот. Все последующие, более сложные структуры формируются на основе первичной. Поэтому изменение первичной структуры (например, замена одних аминокислотных остатков на другие) приводит к изменению формы молекулы, свойств и функций белка.

Вторичная структура белка формируется за счет образования многочисленных *водородных* связей между атомами водорода NH-групп и атомами кислорода CO-групп разных аминокислотных остатков. Несмотря на то что эти связи слабее ковалентных, их количество обеспечивает стабильность вторичной структуры.

Чаще всего водородные связи возникают внутри одной полипептидной цепи между близко расположенными остатками аминокислот, что приводит к закручиванию этой цепи в так называемую *α-спираль*.

Иногда водородные связи возникают между относительно удаленными друг от друга участками полипептидной цепи (или нескольких разных цепей). При этом данные участки располагаются параллельно друг другу и складываются наподобие гармошки. Такой тип вторичной структуры получил название *β-складчатый слой* (см. рис. 8).

Лишь некоторые белки имеют вторичную структуру, представленную только *α-спиралью* или *β-складчатым* слоем. Например, полностью *α-спиральную* конфигурацию имеет *кератин* — основной белок волос и ногтей человека, а вторичная структура *фиброина* (белка натурального шелка) представлена исключительно *β-складчатым* слоем. В структуре многих белков одни участки имеют вид *α-спирали*, а другие — *β-складчатого* слоя.

Формирование **третичной структуры** обеспечивают *водородные, ионные* и другие связи, возникающие между разными группами атомов белковой молекулы. В водной среде молекула белка особым образом укладывается в пространстве, приобретая компактную форму. При этом гидрофобные аминокислотные радикалы погружаются внутрь белковой молекулы и притягиваются друг к другу — такое притяжение называется *гидрофобным взаимодействием*. Гидрофильные участки полипептида, наоборот, располагаются на поверхности и взаимодействуют с молекулами воды. У многих белков в образовании третичной структуры участвуют ковалентные *дисульфидные* связи (S—S связи), которые возникают между остатками аминокислоты цистеина (рис. 9). Третичная структура каждого белка имеет особую, неповторимую пространственную конфигурацию.

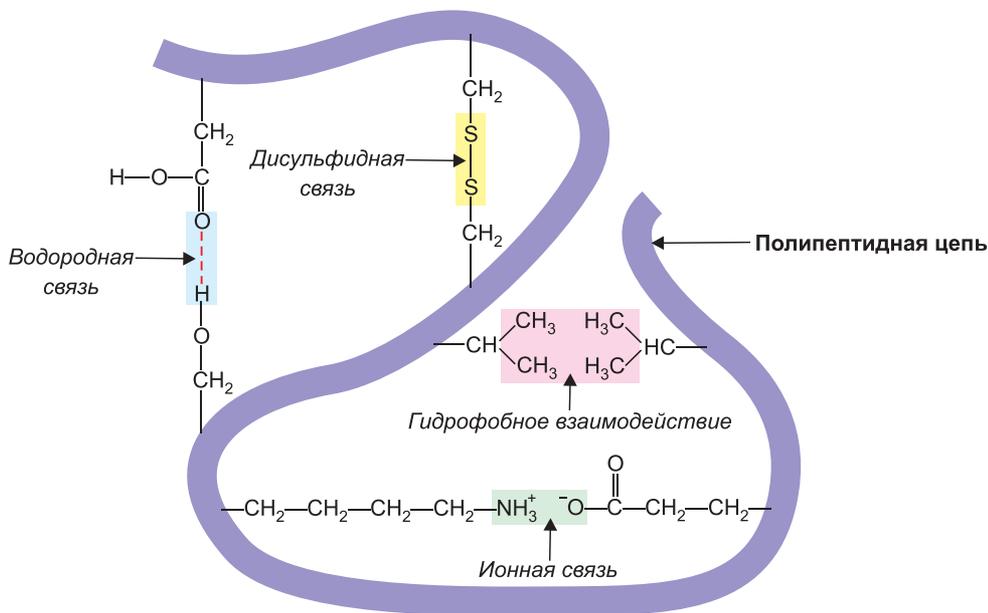


Рис. 9. Связи, стабилизирующие третичную структуру белка

Многие белки способны выполнять свои биологические функции, обладая третичной структурой. Но некоторым белкам для этого необходимо объединение в единый комплекс двух или более молекул, имеющих третичную структуру. Так возникает **четвертичная структура** белка. Молекулы, входящие в ее состав, могут быть одинаковыми или разными. Они удерживаются вместе благодаря различным видам нековалентных связей —

водородным, ионным, гидрофобным взаимодействиям и др. В некоторых белках, например иммуноглобулинах, к множеству таких связей добавляются несколько ковалентных *дисульфидных*. Примером белка, имеющего четвертичную структуру, может служить *гемоглобин* (рис. 10).

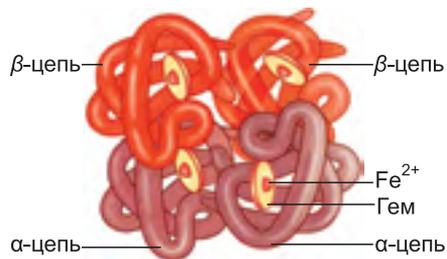


Рис. 10. Четвертичная структура гемоглобина

В состав гемоглобина человека входят четыре полипептидные цепи двух разных типов: две α -цепи (содержащие по 141 аминокислотному остатку) и две β -цепи (по 146 остатков). Каждая цепь формирует специальный гидрофобный карман, в котором располагается компонент небелковой природы — гем. Центральную часть гема занимает ион Fe^{2+} .



Органические вещества живых организмов представлены как низкомолекулярными соединениями, так и высокомолекулярными — биополимерами. Белки — биополимеры, образованные остатками аминокислот. Аминокислоты, соединяясь пептидными связями, образуют полипептидную цепь — первичную структуру белка. На ее основе формируются более сложные пространственные структуры — вторичная, третичная, четвертичная.



1. Какие из представленных веществ являются биологическими полимерами? Какие вещества являются мономерами для построения молекул биополимеров? Аминокислоты, нуклеиновые кислоты, полисахариды, нуклеотиды, белки, моносахариды.

2. Какие функциональные группы характерны для всех аминокислот? Какими свойствами обладают эти группы?

3. Сколько аминокислот участвует в образовании природных белков? Назовите общие черты строения этих аминокислот. Чем они различаются?

4. Как происходит соединение аминокислот в полипептидную цепь?

5. Охарактеризуйте уровни структурной организации белков. Какие химические связи обуславливают существование и стабильность первичной, вторичной, третичной и четвертичной структур белков?

6*. Постройте дипептид, имеющий структуру Лиз—Ала, и трипептид Глу—Ала—Лиз. Рассчитайте молекулярные массы этих пептидов. Для выполнения задания используйте структурные формулы аминокислот, показанные на рисунке 6.

7*. Для разделения смеси белков на компоненты используется метод электрофореза: в геле определенной плотности под действием электрического поля различные белковые молекулы перемещаются с разными скоростями. В результате этого одинаковые молекулы концентрируются в определенном участке геля. Как вы думаете, почему так происходит?



Биуретовая реакция — качественная реакция на пептидные связи



§ 4. Свойства и функции белков

Многообразие и свойства белков. В зависимости от состава различают простые и сложные белки. Молекулы **простых** белков построены только из аминокислотных остатков. В состав **сложных** белков, кроме того, входит какой-либо компонент неаминокислотной природы. Например, в **гликопротеинах** он представлен углеводом, в **липопротеинах** — липидом и т. д.



По форме молекул выделяют две группы белков — фибриллярные и глобулярные. **Фибриллярными** называют белки, молекулы которых имеют вытянутую, нитевидную форму (рис. 11). Это, например, *коллаген*, *кератин*, *миозин*. Молекулы **глобулярных** белков имеют округлую форму.