

# Свойства и функции белков

## Общая характеристика белков



«Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка». Ф. Энгельс

«Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенными из биополимеров – белков и нуклеиновых кислот». М. В. Волькенштейн

<b>Содержание в клетках химических соединений</b> <i>(в % от сырой массы)</i>			
<b>Неорганические соединения</b>		<b>Органические соединения</b>	
<b>Вода</b>	<b>75 - 85 %</b>	<b>Белки</b>	<b>10 - 15 %</b>
<b>Неорганические вещества</b>	<b>1,0 - 1,5 %</b>	<b>Жиры</b>	<b>1 - 5 %</b>
		<b>Углеводы</b>	<b>0,2 - 2,0 %</b>
		<b>Нуклеиновые кислоты</b>	<b>1 - 2 %</b>
		<b>Низкомолекулярные органические соединения</b>	<b>0,1 - 0,5 %</b>

## Общая характеристика белков

Из органических веществ клетки по количеству и значению на первом месте стоят белки (10-20% от массы клетки).

В состав простых белков входят: **C, H, O, N, S**. Часть белков образует комплексы с другими молекулами, содержащими фосфор, железо, цинк и медь. **Гемоглобин** -  $C_{3032}H_{4816}O_{872}N_{780}S_8Fe_4$

Белки обладают **огромной молекулярной массой**: молекулярная масса альбумина (одного из белков яйца) — 36000, гемоглобина — 152000, миозина (одного из белков мышц) — 500000. Для сравнения: молекулярная масса спирта — 46, уксусной кислоты — 60, бензола — 78.

Белки — высокомолекулярные органические вещества, **состоящие из остатков  $\alpha$ -аминокислот**.

Белки являются **непериодическими гетерополимерами**, мономерами которых являются аминокислоты. В клетках и тканях обнаружено свыше 170 различных аминокислот, но в состав белков входит лишь 20.

## Общая характеристика белков

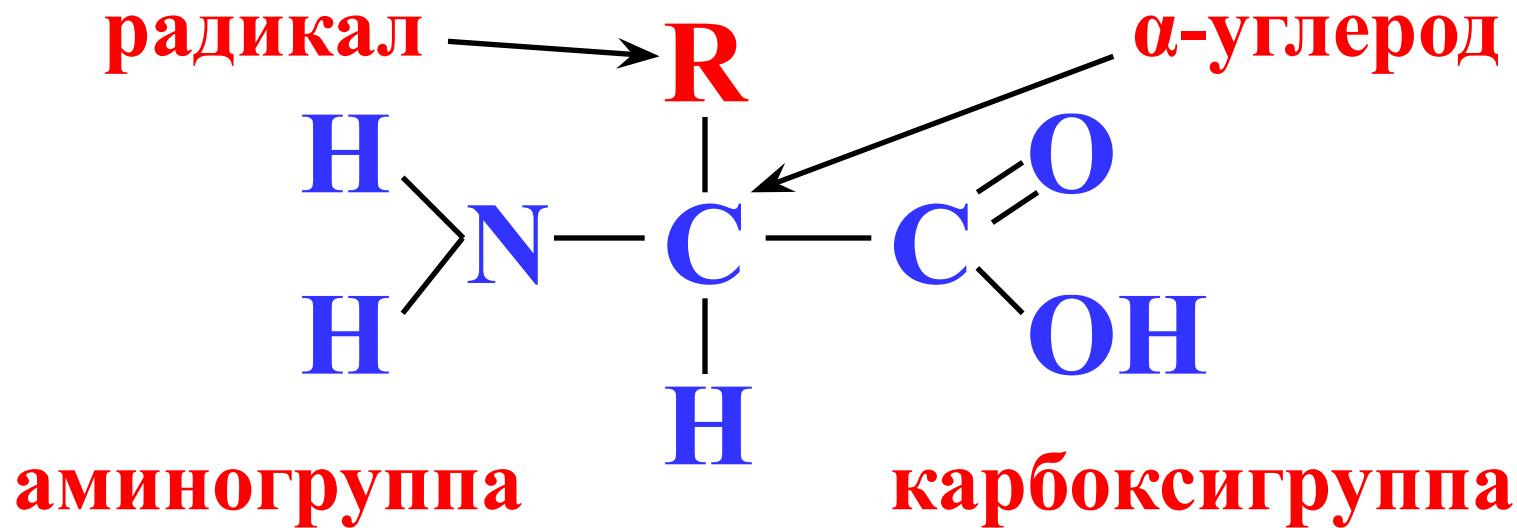
Обычными компонентами белков являются лишь 20 видов альфа-аминокислот.

В зависимости от того, могут ли аминокислоты синтезироваться в организме, различают: **заменяемые аминокислоты** — десять аминокислот, синтезируемых в организме; **незаменимые аминокислоты**, которые в организме не синтезируются. Незаменимые аминокислоты должны поступать в организм вместе с пищей.

В зависимости от аминокислотного состава, белки бывают: **полноценными**, если содержат весь набор незаменимых аминокислот; **неполноценными**, если хотя бы одна незаменимая аминокислота в их составе отсутствует.

Различают **простые белки** — белки, состоящие только из аминокислот (**фибрин, трипсин**) и **сложные** — белки, содержащие помимо аминокислот еще и небелковую — **простетическую группу**. Она может быть представлена ионами металлов (**металлопротеины** — гемоглобин), углеводами (**гликопротеины**), липидами (**липопротеины**), нуклеиновыми кислотами (**нуклеопротеины**).

# Строение аминокислоты



Радикал **-R** может быть как простым атомом водорода **H** (аминокислота *глицин*), так и другими заместителями, например, метильной группой **-CH<sub>3</sub>** (аминокислота *аланин*), или циклическими соединениями (*тирозин*, *фенилаланин*, *триптофан*)

# Особенности аминокислот, входящих в состав белков

- Аминокислоты – **оптически активные вещества**: они способны вращать плоскость поляризации либо **вправо (d-формы)**, либо **влево (l-формы)**.
- В состав белков входят только **l-формы**. Предпочтение организмами только одной оптической формы носит название **хиральность**.
- По этому показателю белки – **хирально чистые** вещества.

**Боковые группы определяют, имеют ли аминокислоты заряд, или нет, полярны они, или неполярны.**

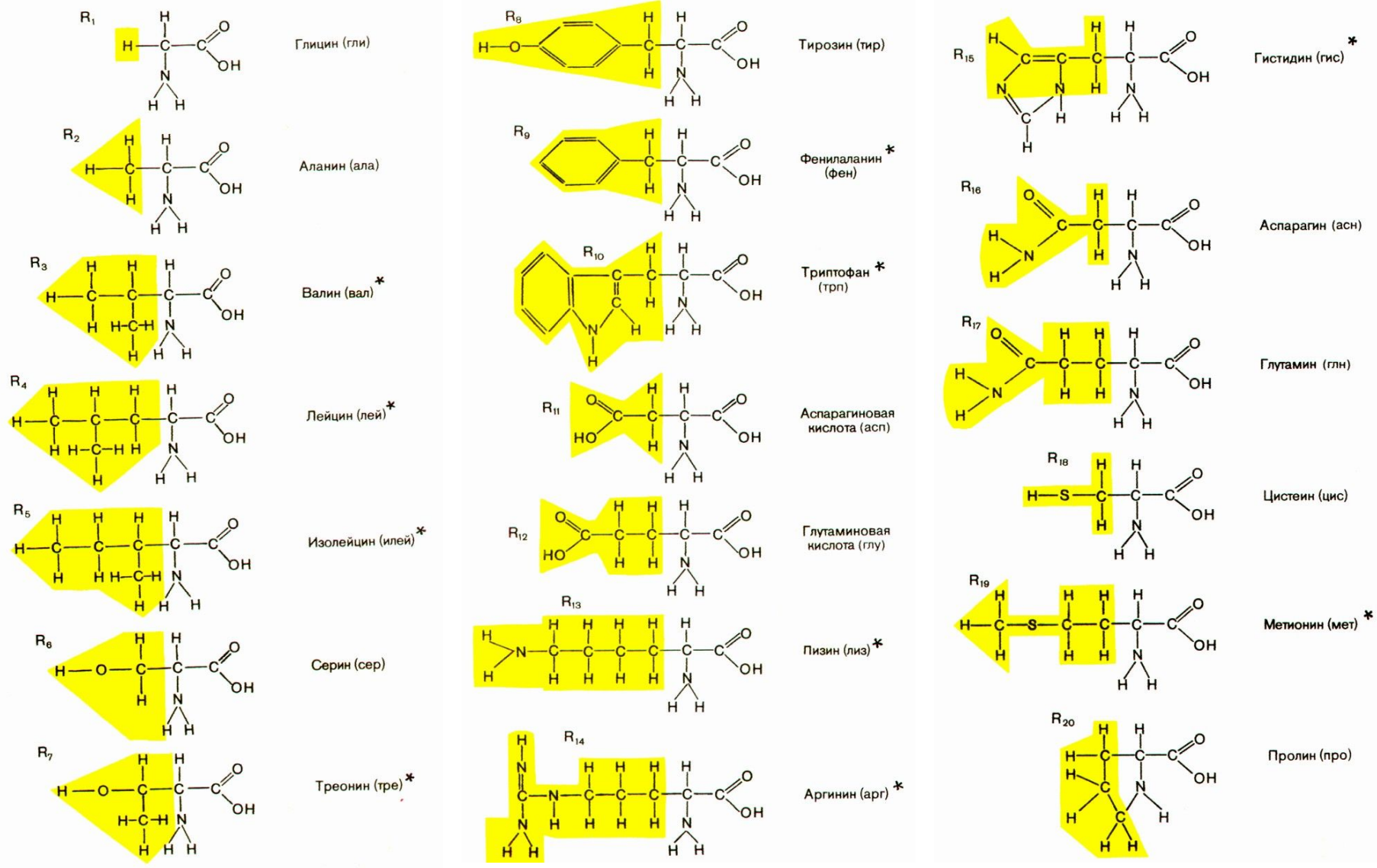
**Неполярные аминокислоты: аланин, валин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, триптофан, метионин и пролин.**

**Полярные незаряженные: глицин, серин, треонин, цистеин, тирозин, аспарагин и глутамин.**

**Отрицательно заряженные (кислотные): аспарагиновая кислота и глутаминовая кислота (дополнительная карбоксильная группа).**

**Положительно заряженные (основные): гистидин, лизин, аргинин (дополнительная аминогруппа).**

# Общая характеристика белков

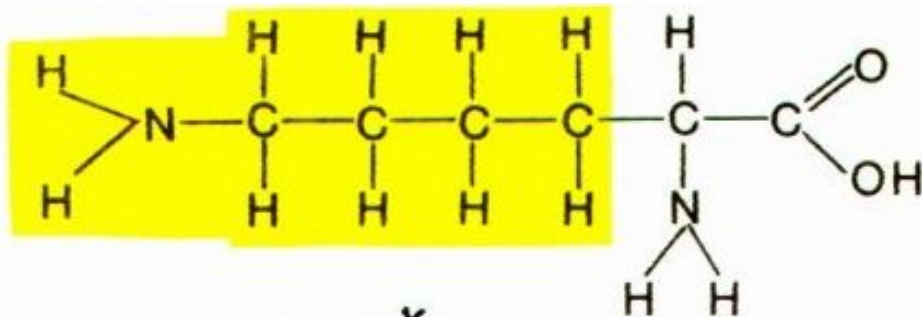
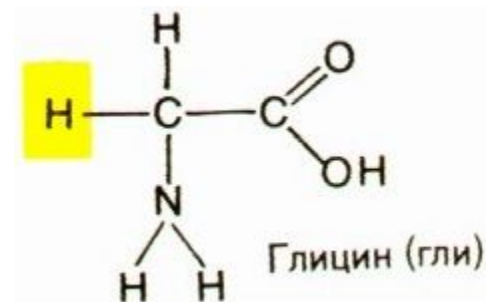
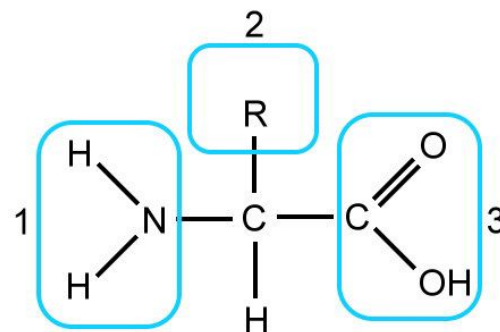




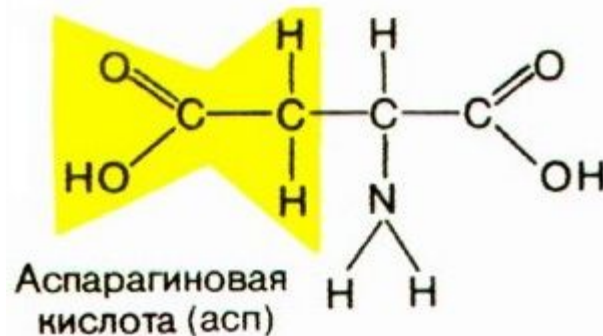
# Общая характеристика белков

Все аминокислоты содержат хотя бы одну карбоксильную группу (-COOH) и одну аминогруппу (-NH<sub>2</sub>). Остальная часть молекулы представлена радикалом.

В зависимости от количества аминогрупп и карбоксильных групп, входящих в состав аминокислот, различают: **нейтральные аминокислоты**, имеющие одну карбоксильную группу и одну аминогруппу; **основные аминокислоты**, имеющие более одной аминогруппы; **кислые аминокислоты**, имеющие более одной карбоксильной группы.



Лизин (лиз) \*

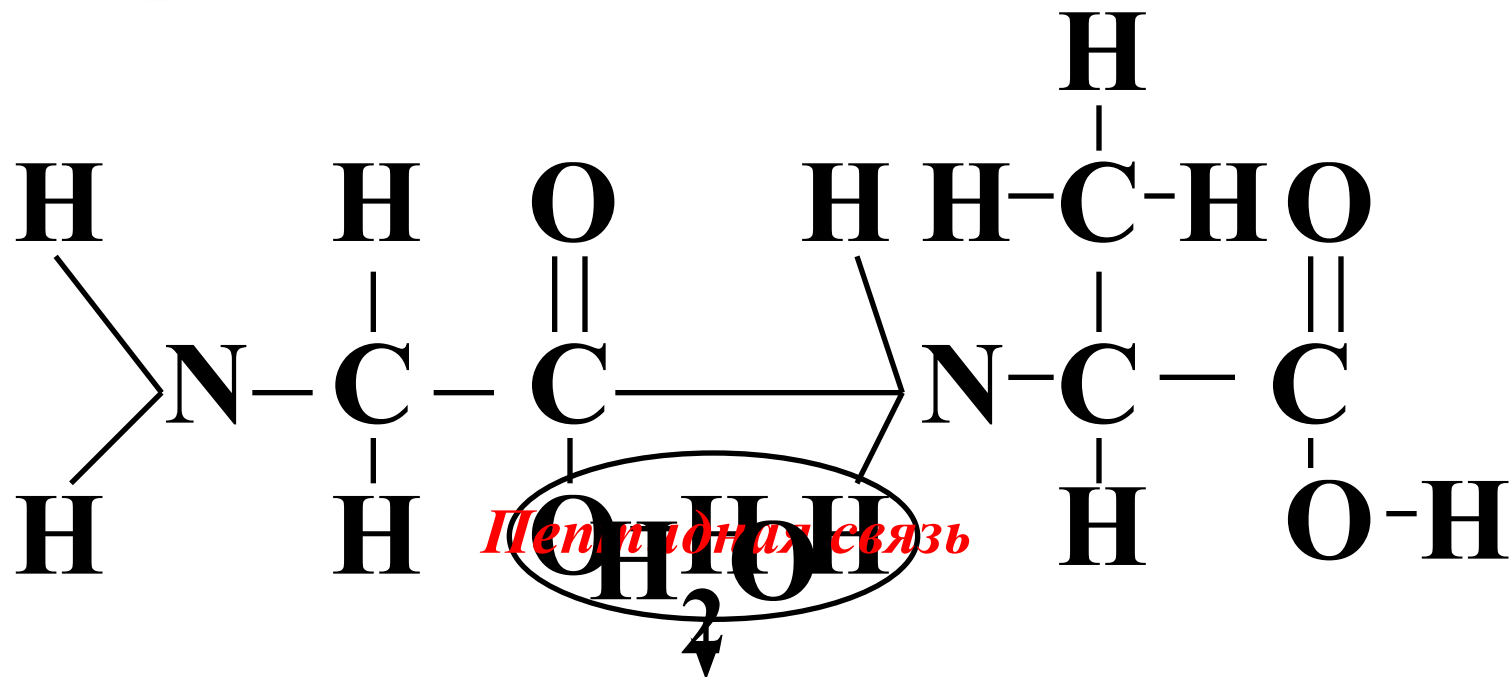


# Общая характеристика белков



Аминокислоты являются *амфотерными* соединениями, так как в растворе они могут выступать как в роли кислот, так и оснований. В водных растворах аминокислоты существуют в разных ионных формах. Это зависит от pH раствора и от того, какая аминокислота: нейтральная, кислая или основная.

# Образование пептидных связей



*Глицин*

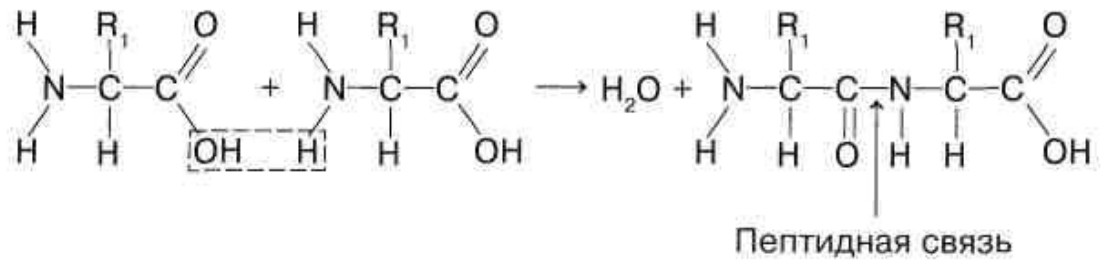
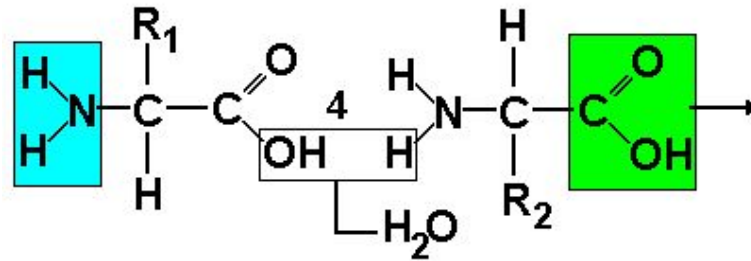
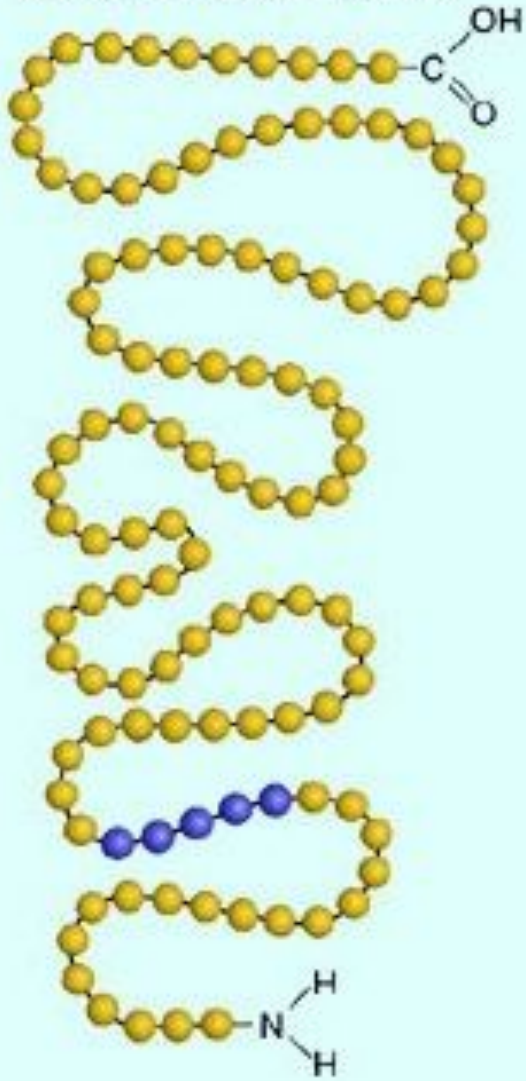
*Аланин*



Так же образуются остальные пептидные связи в молекуле белка.

# Структуры белковых молекул

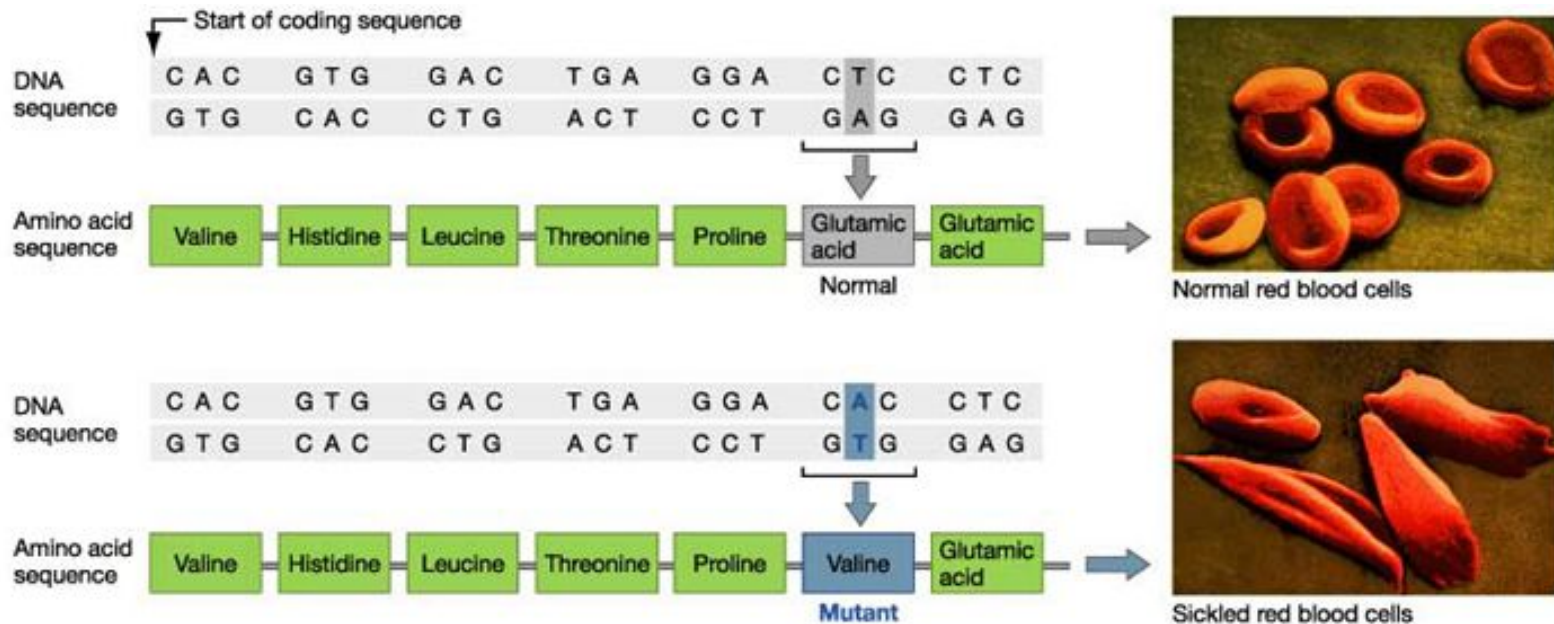
Первичная структура  
(цепочка аминокислот)



# Структуры белковых молекул

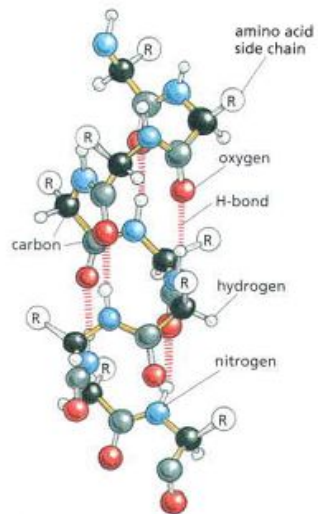
В организме человека обнаружено порядка 10 тыс. различных белков. Имея всего лишь 20 аминокислот, можно составить из них огромное количество самых разнообразных комбинаций. Так, если молекула белка состоит всего из 10 аминокислотных остатков, то число теоретически возможных вариантов белковых молекул, отличающихся порядком чередования аминокислот, —  $20^{10}$ . Белки же, выделенные из живых организмов, образованы сотнями, а иногда и тысячами аминокислотных остатков.

Первичная структура белковой молекулы определяет свойства молекул белка и ее пространственную конфигурацию. Замена всего лишь одной аминокислоты на другую в полипептидной цепочке может привести к изменению свойств и функций белка.

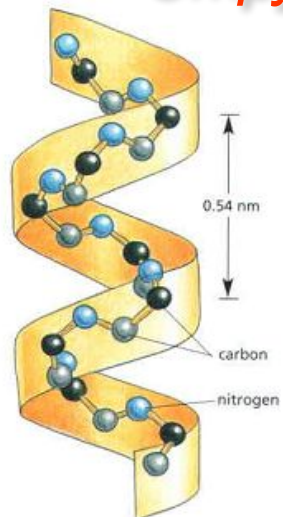




# Структуры белковых молекул



(A)



(B)

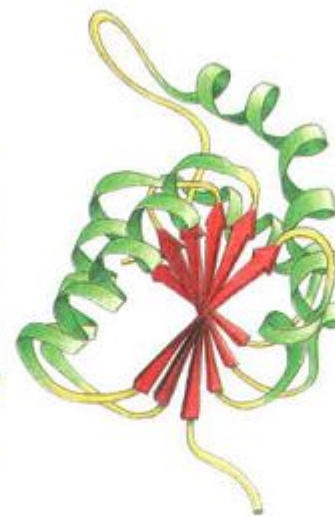
$\alpha$  helix



(C)



(A)



(B)

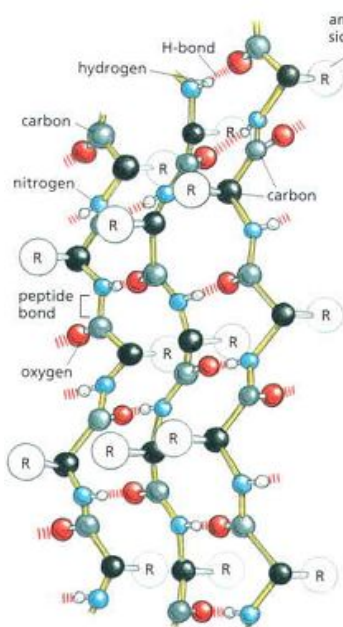


(C)

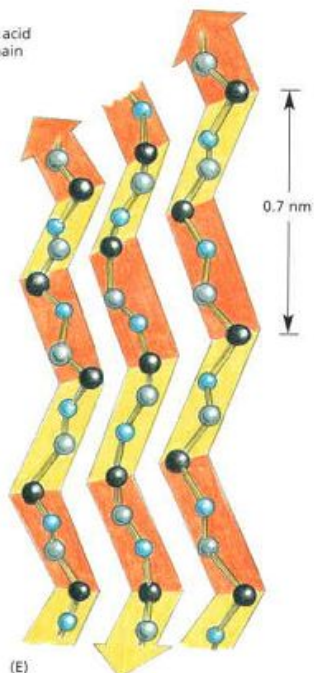
$\beta$  sheet



(F)

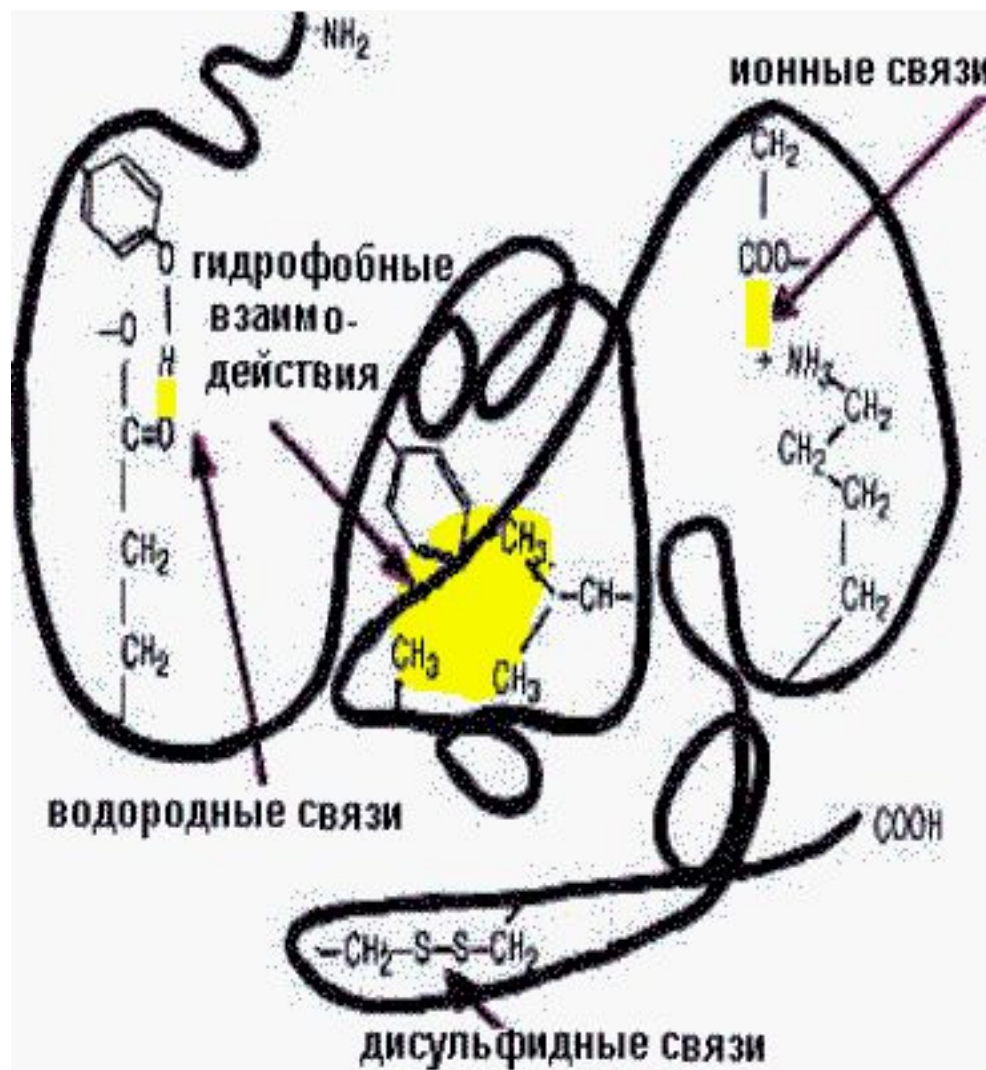


(D)



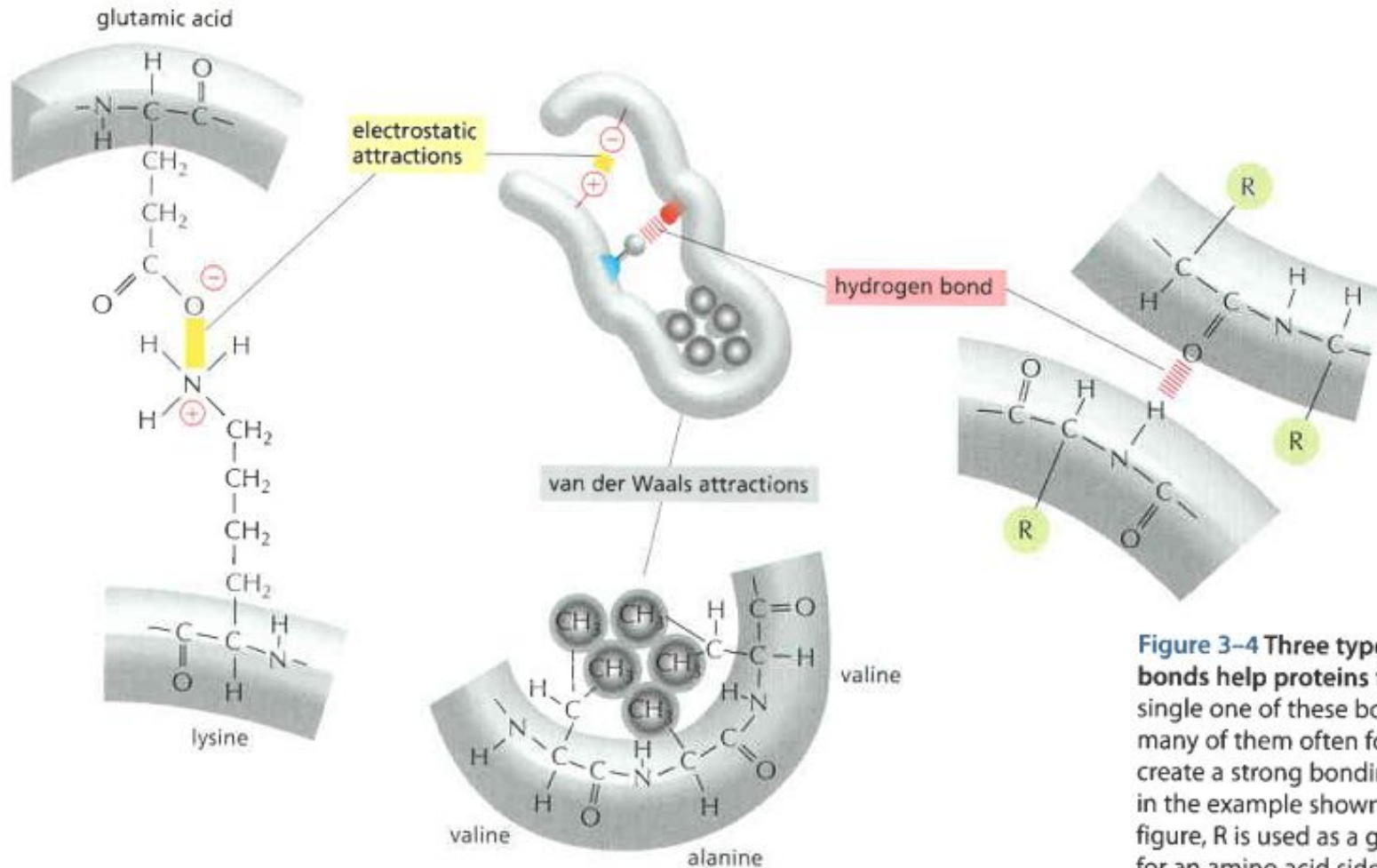
(E)

# Поддержание формы белка



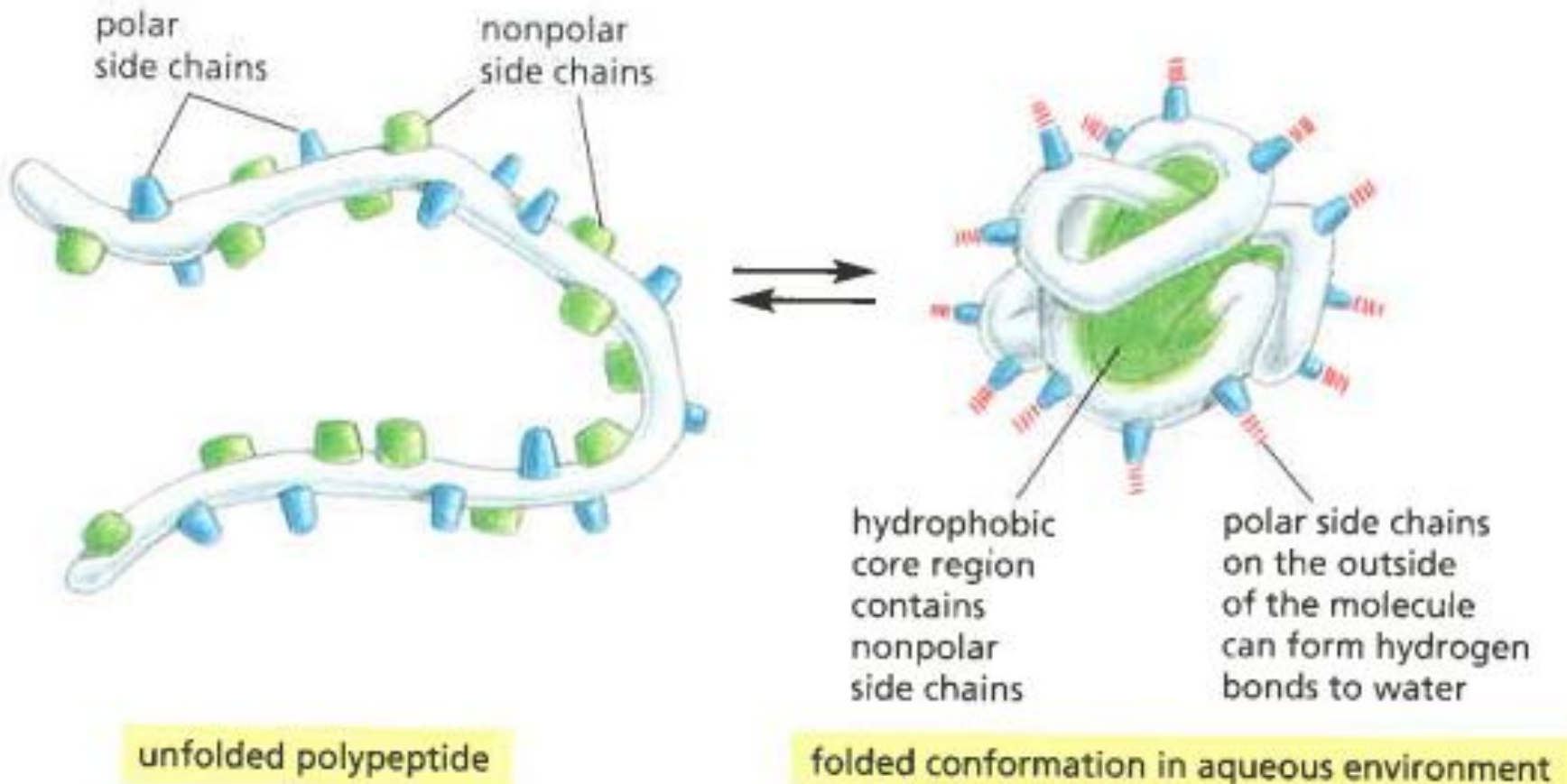


# Поддержание формы белка



**Figure 3-4** Three types of noncovalent bonds help proteins fold. Although a single one of these bonds is quite weak, many of them often form together to create a strong bonding arrangement, as in the example shown. As in the previous figure, R is used as a general designation for an amino acid side chain.

# Поддержание формы белка

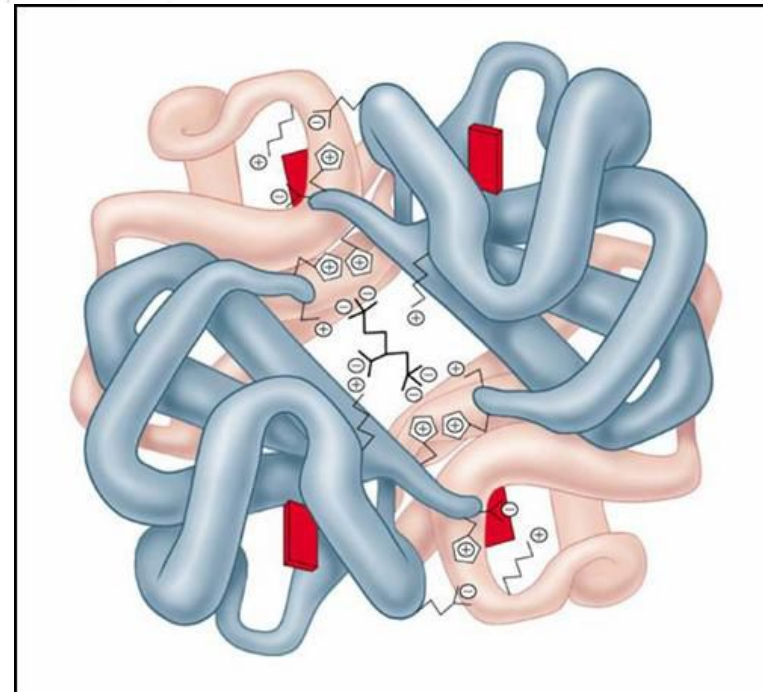
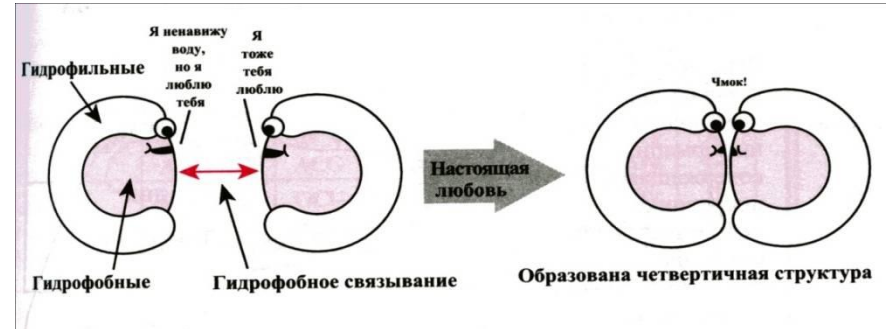


# Структуры белковых молекул

## Четвертичная структура.

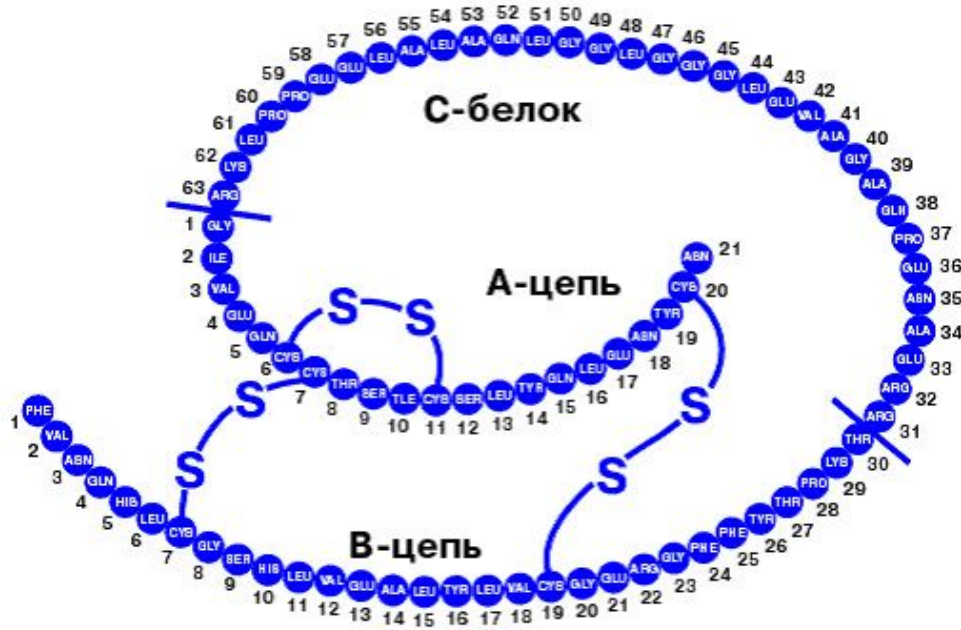
Характерна для сложных белков, молекулы которых образованы **двумя и более глобулами**. Субъединицы удерживаются в молекуле благодаря нековалентным связям, в первую очередь водородным и **гидрофобным**.

Наиболее изученным белком, имеющим четвертичную структуру, является **гемоглобин**. Он образован двумя  $\alpha$ -субъединицами (141 аминокислотный остаток) и двумя  $\beta$ -субъединицами (146 аминокислотных остатков). С каждой субъединицей связана молекула **гема**, содержащая железо.



# Структуры белковых молекул

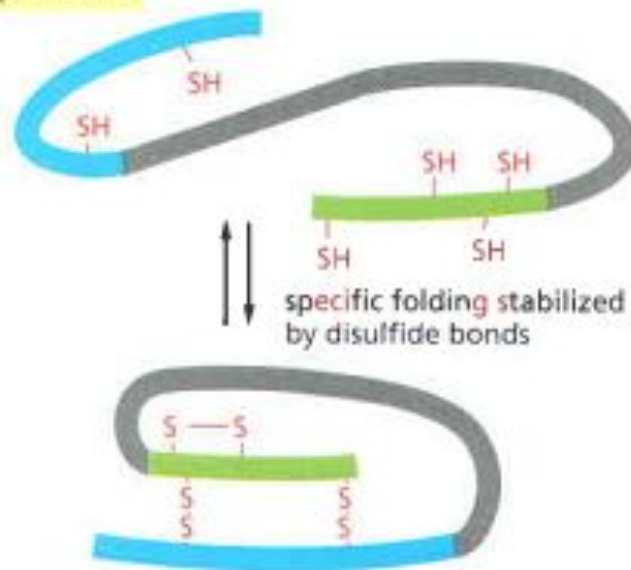
Выделяют 4 уровня пространственной организации белков. Под *первичной структурой* белка понимают последовательность расположения аминокислотных остатков в одной или нескольких полипептидных цепях, составляющих молекулу белка. Первым белком, у которого была выявлена аминокислотная последовательность, стал гормон **инсулин**.



Исследования проводились в Кембриджском университете Ф. Сэнгером с 1944 по 1954 год.

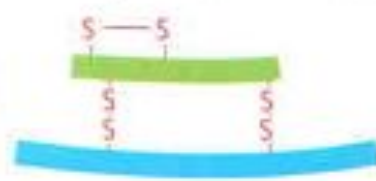
Было выявлено, что молекула инсулина состоит из двух полипептидных цепей (21 и 30 аминокислотных остатков), удерживаемых около друг друга дисульфидными мостиками. За свой кропотливый труд Ф.Сэнгер был удостоен Нобелевской премии.

proinsulin



connecting peptide removed, leaving complete two-chain insulin molecule

insulin



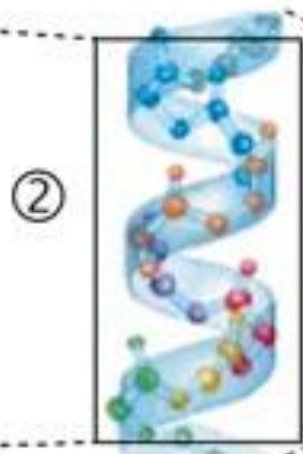
reduction irreversibly separates the two chains



# Уровни организации белковой молекулы в пространстве

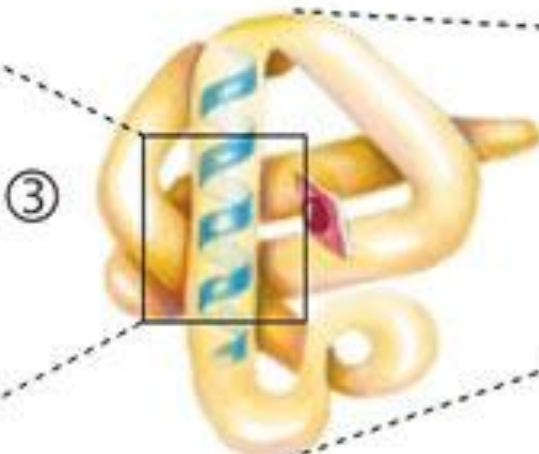
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ  
АМИНОКИСЛОТ —  
ПЕРВИЧНАЯ СТРУКТУРА

- ① Lys
- Lys
- Gly
- Gly
- Leu
- Val
- Ala
- His

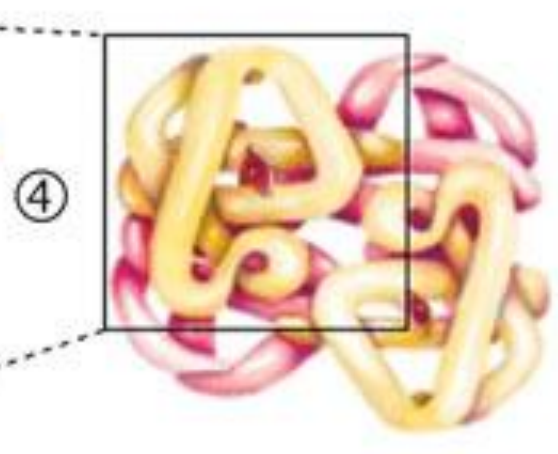


СПИРАЛЬ — ВТОРИЧНАЯ  
СТРУКТУРА

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛЫ БЕЛКА  
В ПРОСТРАНСТВЕ



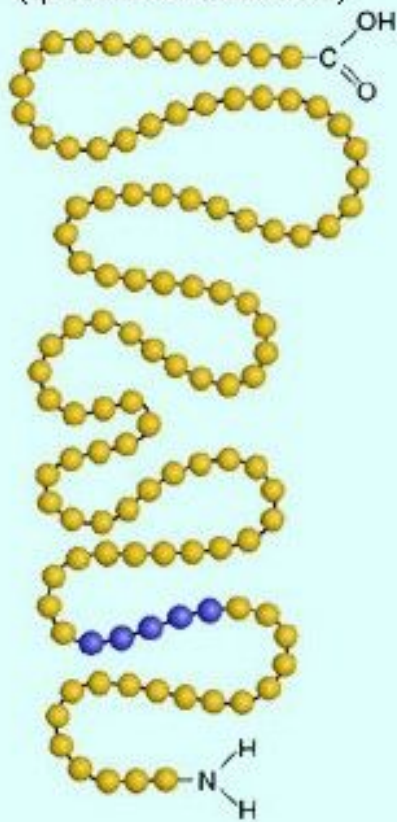
ГЛОБУЛА — ТРЕТИЧНАЯ  
СТРУКТУРА



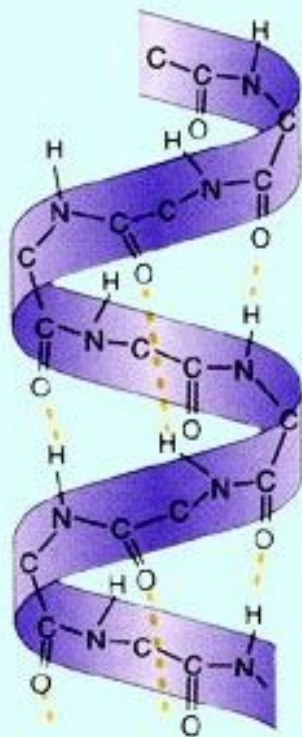
КОМПЛЕКС ИЗ СУБЪЕДИНИЦ —  
ЧЕТВЕРТИЧНАЯ СТРУКТУРА

# Структуры белковых молекул

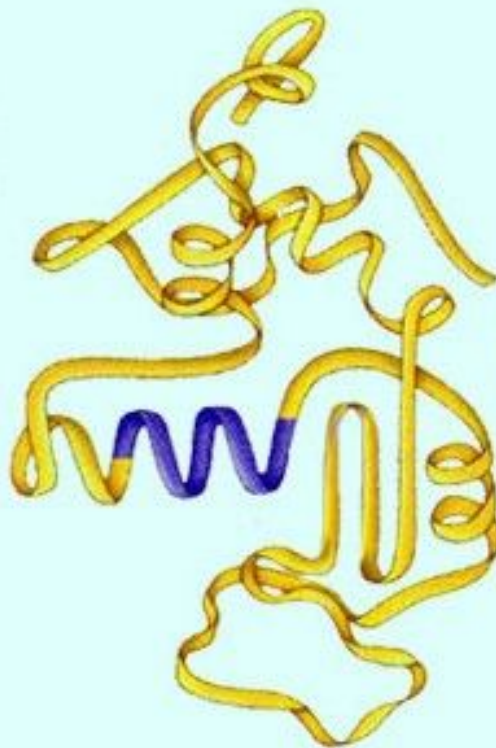
Первичная структура  
(цепочка аминокислот)



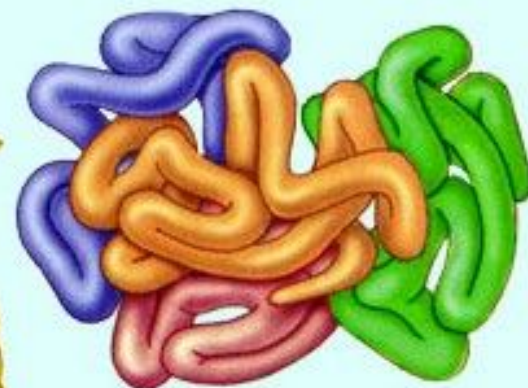
Вторичная структура  
( $\alpha$ -спираль)



Третичная структура



Четвертичная структура  
(клубок белков)

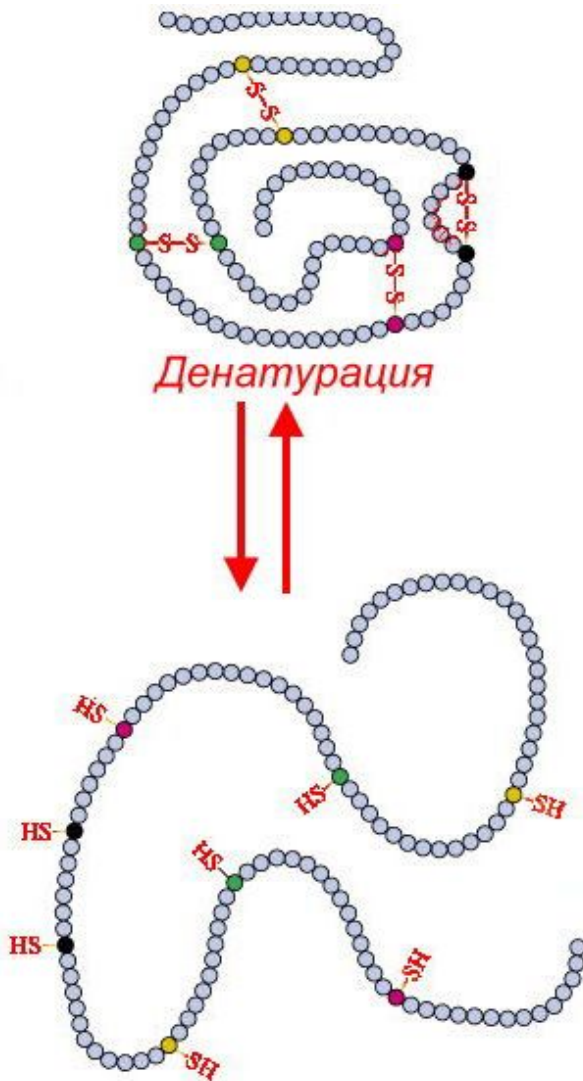


# Свойства белков

1. Белки являются **амфотерными соединениями**, сочетают в себе **основные** и **кислотные** свойства, определяемые радикалами аминокислот. Различают **кислые, основные** и **нейтральные** белки. Способность отдавать и присоединять  $H^+$  определяют **буферные свойства** белков, один из самых мощных буферов — гемоглобин в эритроцитах, поддерживающий pH крови на постоянном уровне.
2. Есть белки **растворимые**, есть **нерастворимые** белки, выполняющие механические функции (**фиброин, кератин, коллаген**).
3. Есть белки необычайно химически **активные** (ферменты), есть химически **неактивные**.
4. Есть **устойчивые** к воздействию различных условий внешней среды и крайне **неустойчивые**. Внешние факторы (**изменение температуры, солевого состава среды, pH, радиация**) могут вызывать нарушение структурной организации молекулы белка.



## Свойства белков



Процесс утраты трехмерной конформации, присущей данной молекуле белка, называют *денатурацией*. Причиной денатурации является разрыв связей, стабилизирующих определенную структуру белка. Вместе с тем, денатурация не сопровождается разрушением полипептидной цепи. Изменение пространственной конфигурации приводит к изменению свойств белка и, как следствие, делает невозможным выполнение белком собственных ему биологических функций. Денатурация может быть: *обратимой*, процесс восстановления структуры белка после денатурации называется *ренатурацией*. Если восстановление пространственной конфигурации белка невозможно, то денатурация называется *необратимой*.

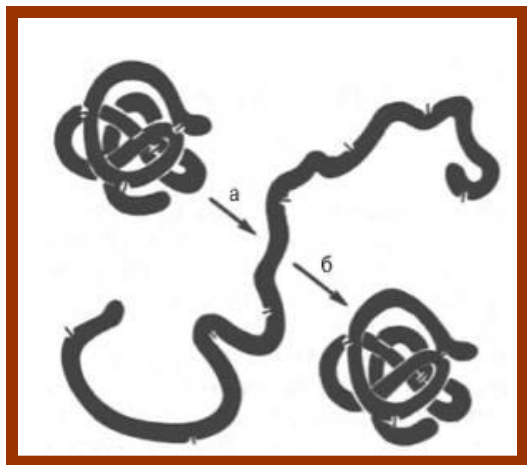
6. Разрушение первичной структуры белковой молекулы называется *деградацией*.

# Денатурация – нарушение природной структуры белка

Под влиянием различных химических и физических факторов

(обработка спиртом, ацетоном, кислотами, щелочами, высокой температурой, облучением, высоким давлением и т. д.)

происходит изменение структур молекулы белка.



Денатурация

обратимая

необратимая

# Цветные реакции на белки

## 1. Ксантопротеиновая –

взаимодействие с концентрированной азотной кислотой, которое сопровождается появлением желтой окраски.



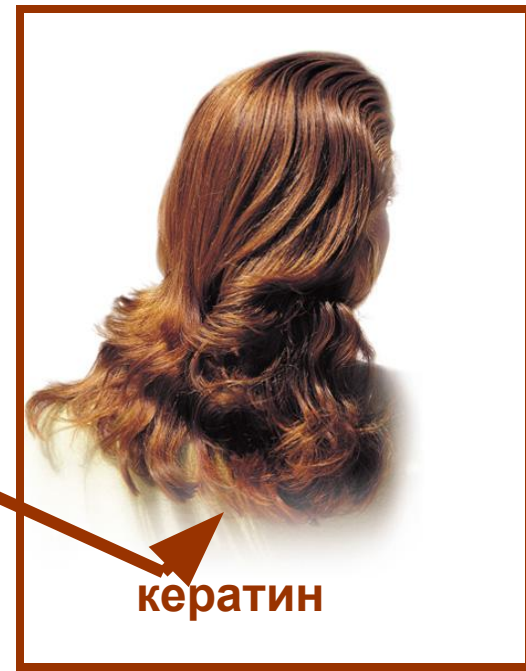
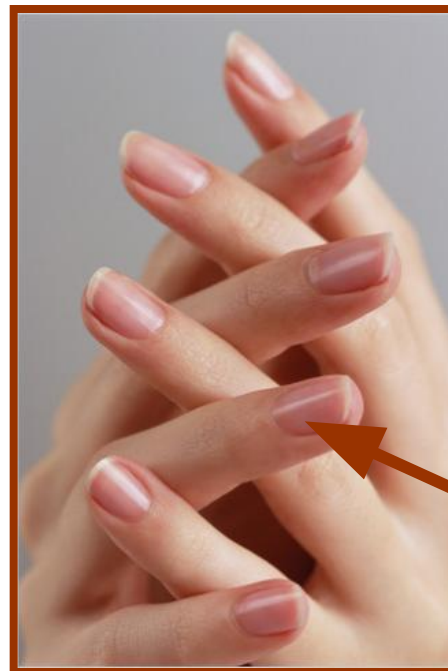
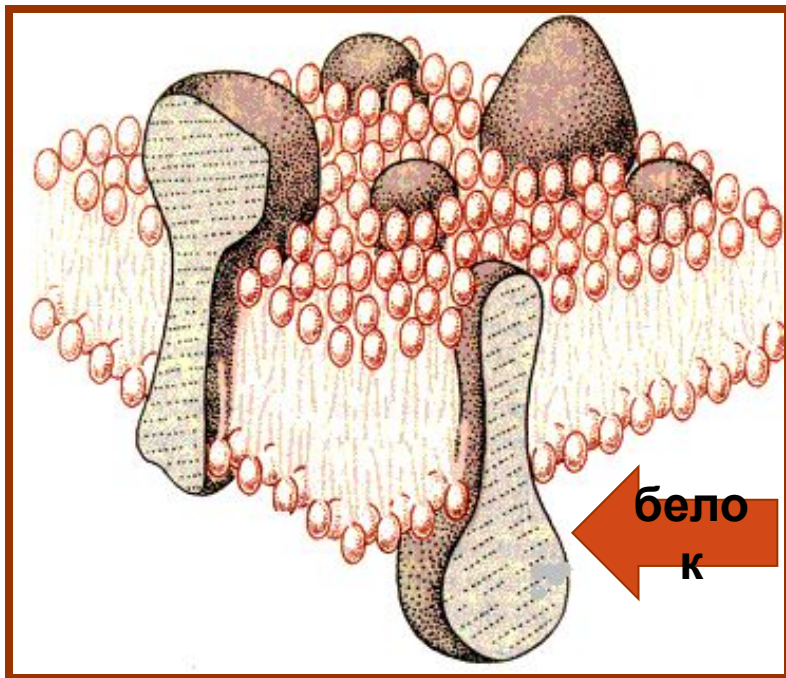
2. Биуретовая – взаимодействие слабощелочных растворов белков с раствором сульфата меди (II), в результате которой появляется фиолетово-синяя окраска.

# Функции белков

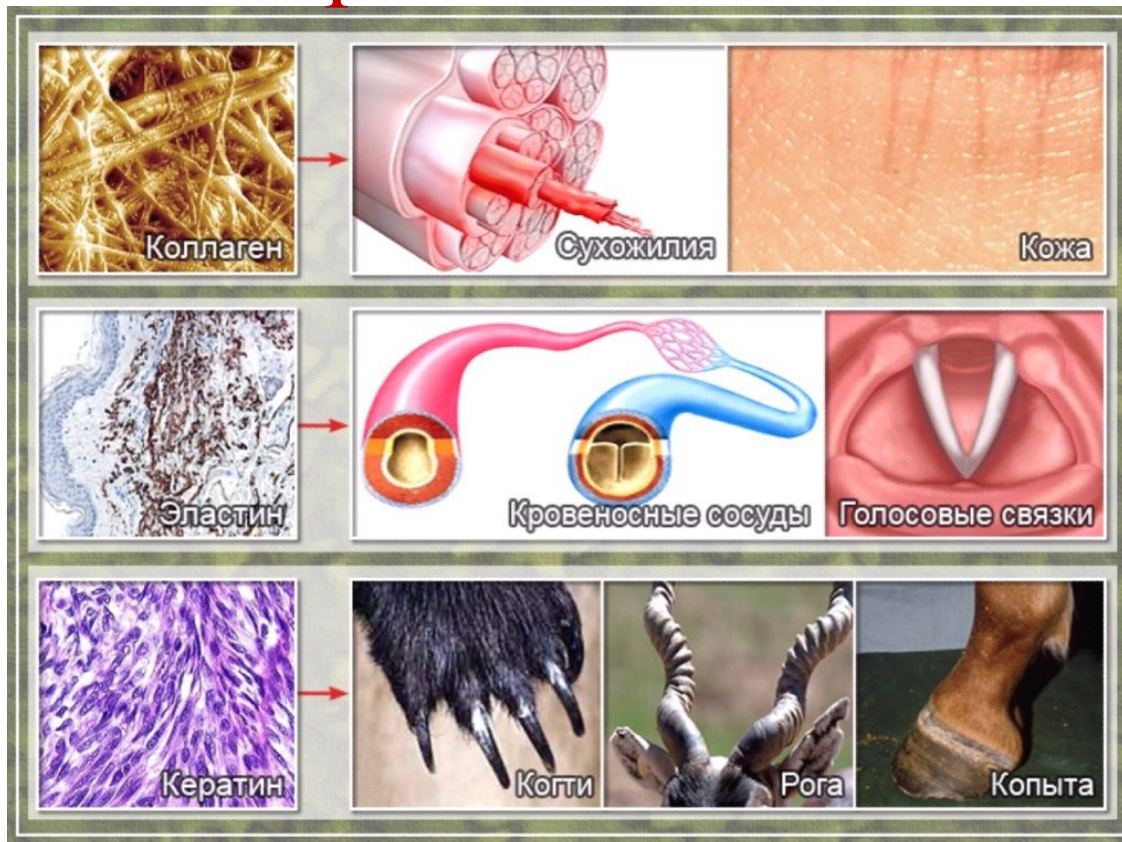


# Строительная

Белки участвуют в образовании всех мембран и органоидов клетки.



# Строительная

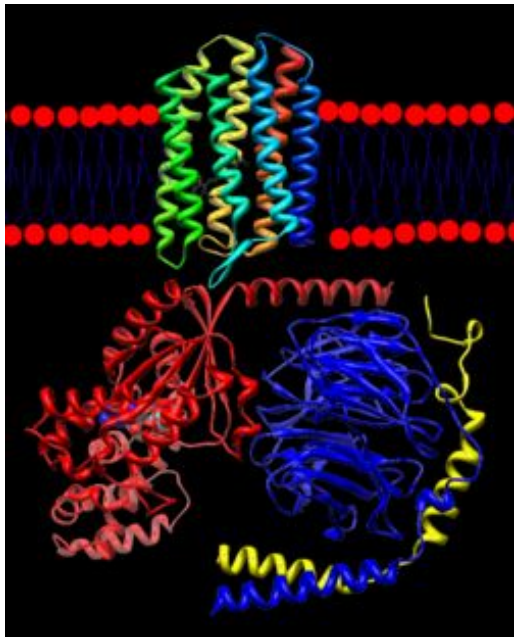


Структурные белки участвуют в образовании различных органов и тканей.

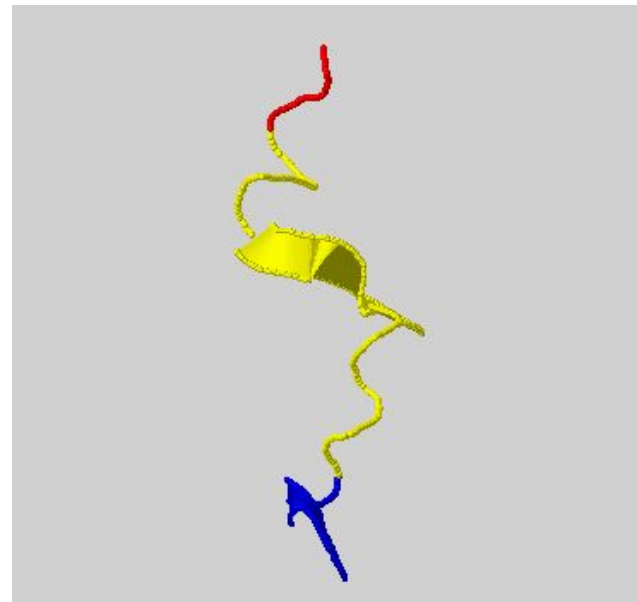
Благодаря сложности, разнообразию форм и состава, белки играют важную роль в жизнедеятельности клетки и организма в целом. Одна из важнейших — *строительная*. Белки участвуют в образовании клеточных и внеклеточных структур: входят в состав клеточных мембран, шерсти, волос, сухожилий, стенок сосудов и т.д.

# Рецепторная, сигнальная

## Белки – мембранные рецепторы

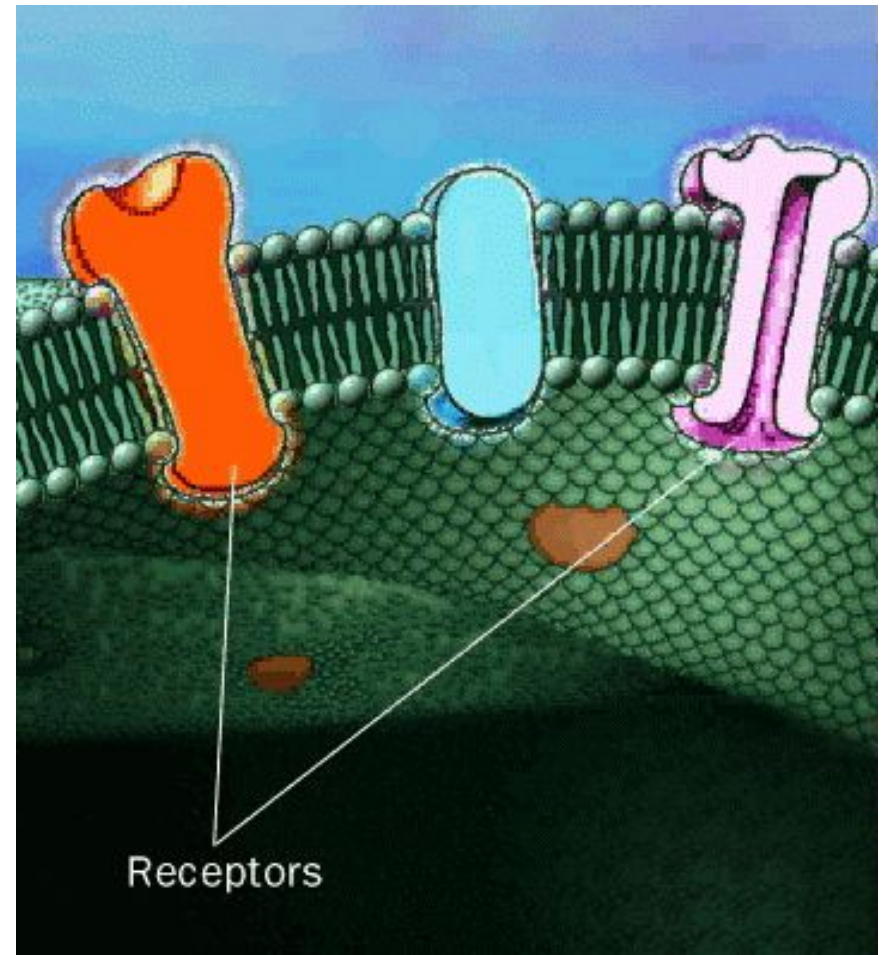


Родопсин в мембране



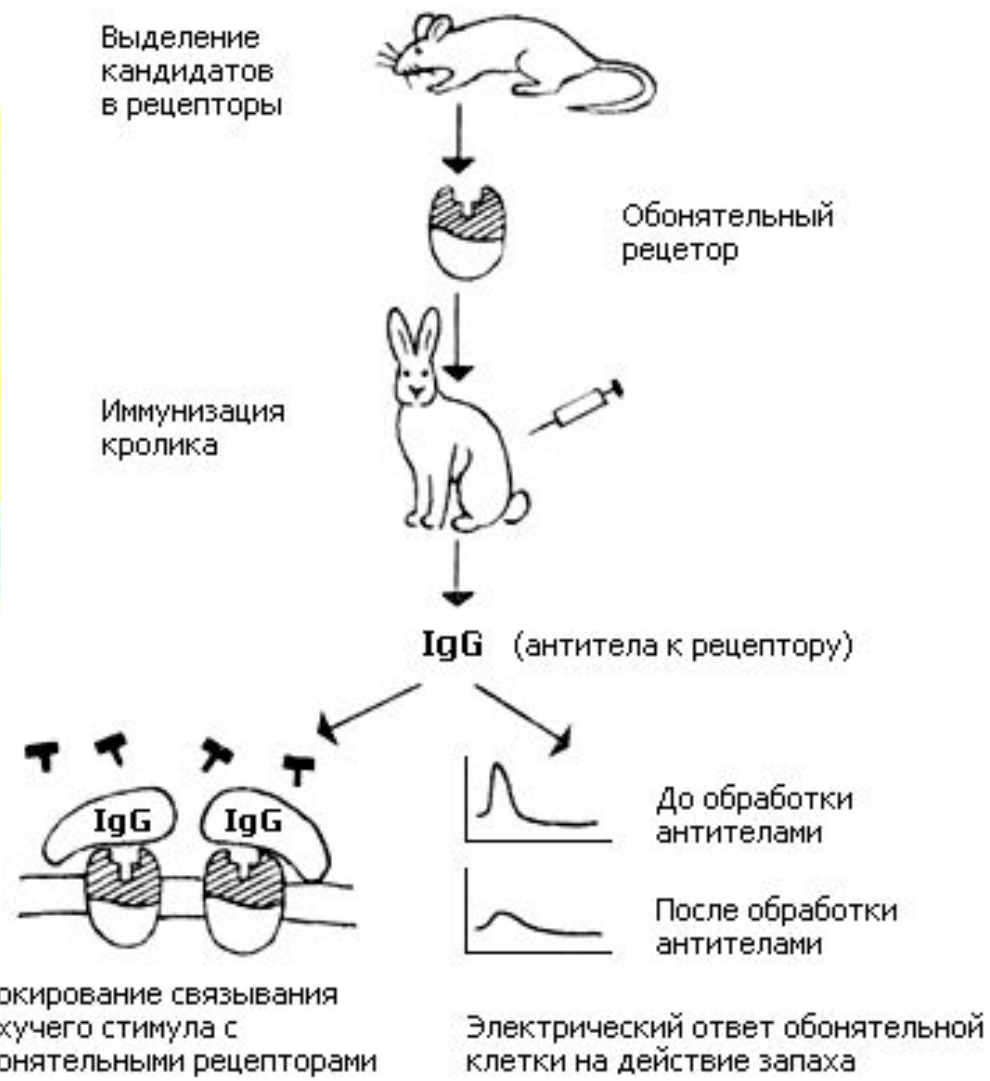
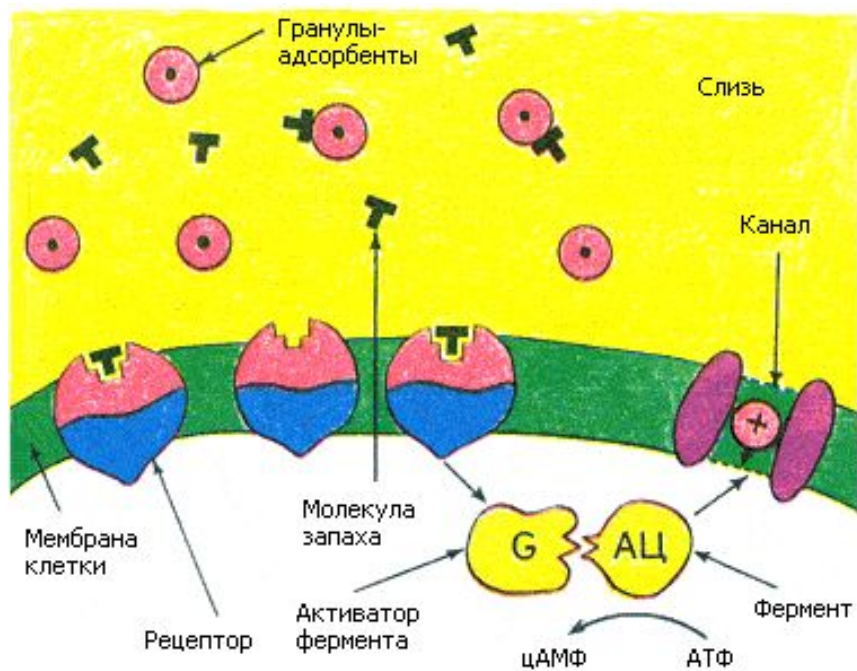
Спираль родопсина

Весьма важна для жизни клетки *сигнальная функция белков*. В поверхностную мембрану клетки встроены молекулы белков, способных изменять свою третичную структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача команд в клетку.



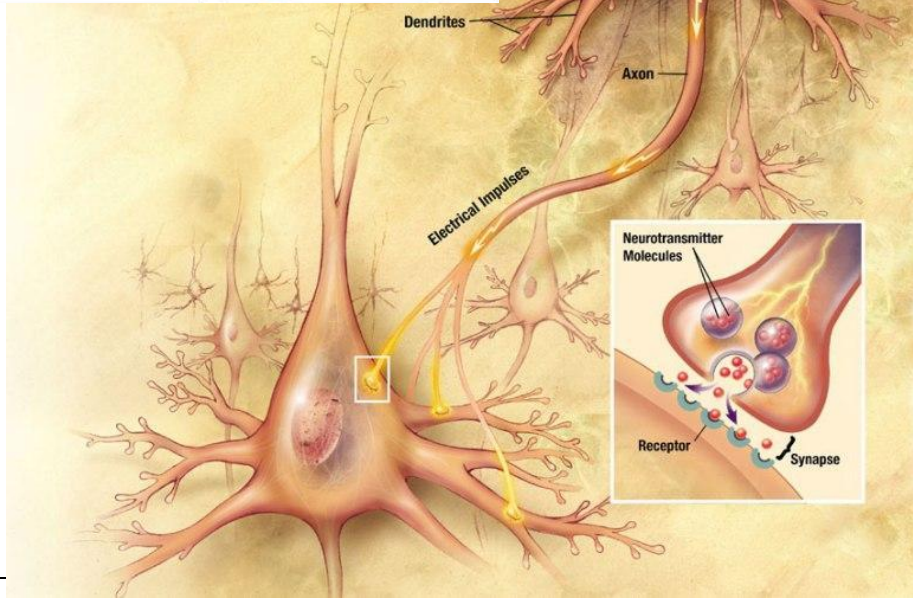
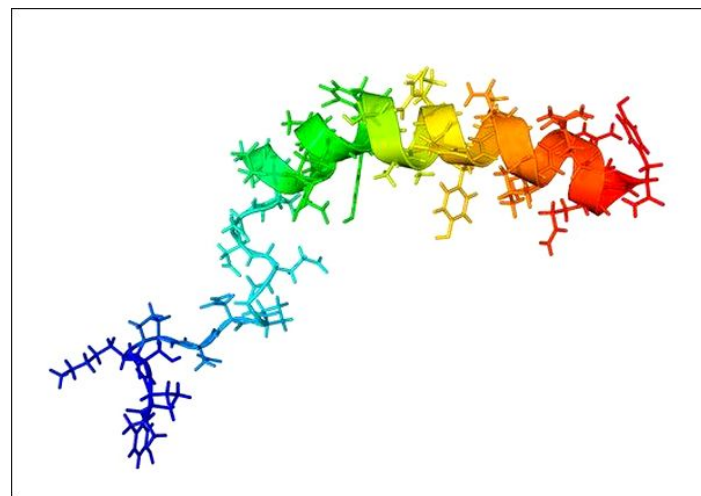


# Пример - рецепторы запаха



# Рецепторная, сигнальная Нейромедиаторы - нейропептиды

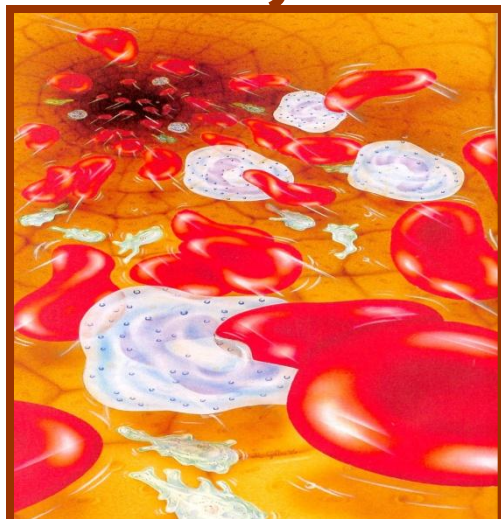
Пресинаптическая клетка  
Постсинаптическая клетка



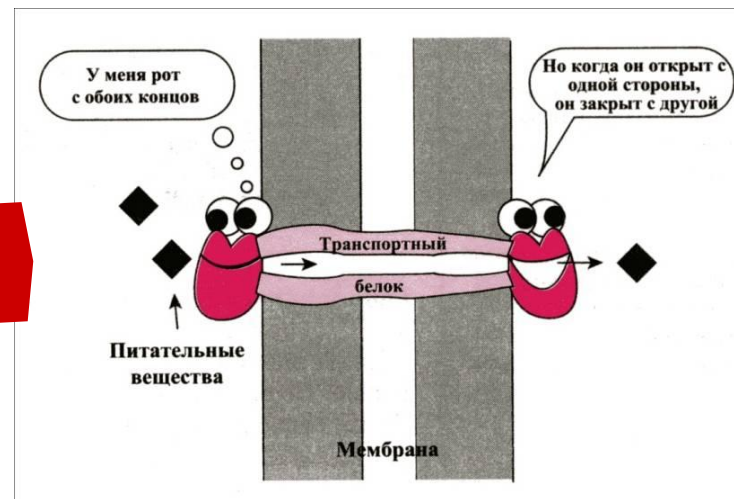
**Нейропептид Y**, синтезирующийся в гипоталамусе, является мощным стимулятором пищевого поведения. Кроме того, он считается одним из антистрессовых средств нервной системы.

# Транспортная

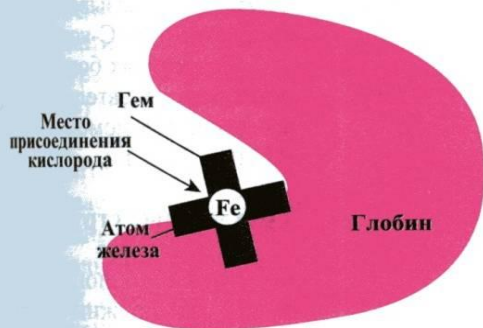
Белки связывают и переносят различные вещества и внутри клетки, и по всему организму.



Например, белки-каналы в мембране.



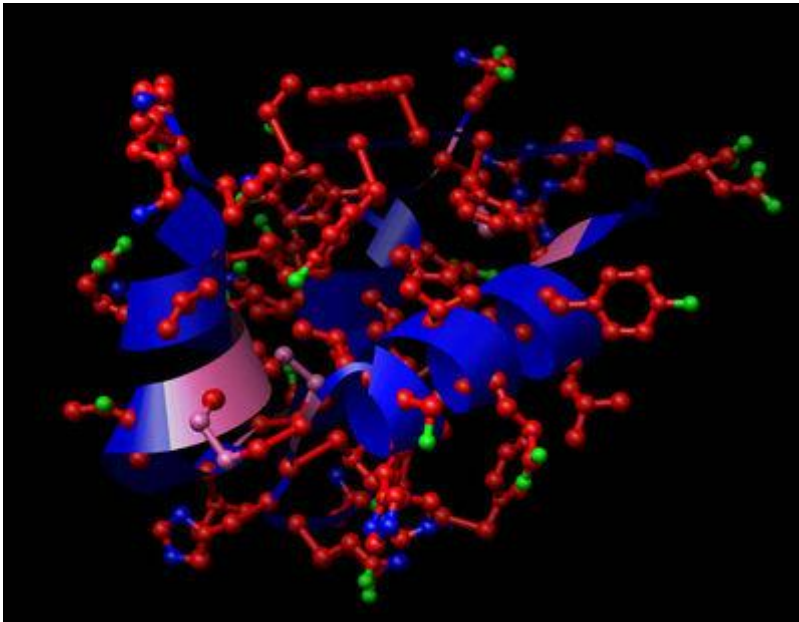
75 ГЕМ ГЕМОГЛОБИНА СОЕДИНЯЕТСЯ С КИСЛОРОДОМ



Например, гемоглобин крови переносит кислород.

# Регуляторная

Белки гормоны регулируют различные физиологические процессы.



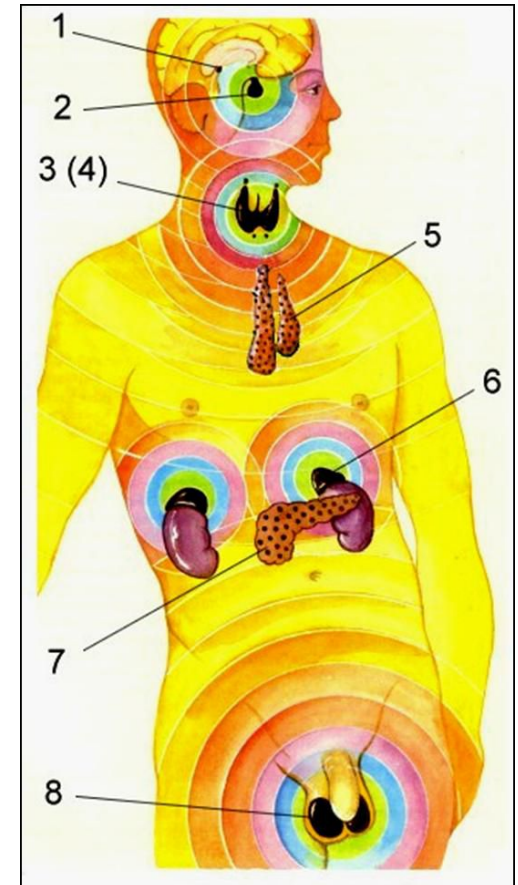
Например, **ИНСУЛИН** регулирует уровень углеводов в крови.

### *Регуляторная.*

Большая группа белков организма принимает участие в регуляции процессов обмена веществ.

Таковыми белками являются *гормоны* — биологически активные вещества, выделяющиеся в кровь железами внутренней секреции (гормоны гипофиза, поджелудочной железы).

Например, гормон *инсулин* регулирует уровень сахара в крови путем повышения проницаемости клеточных мембран для глюкозы, способствует синтезу гликогена.

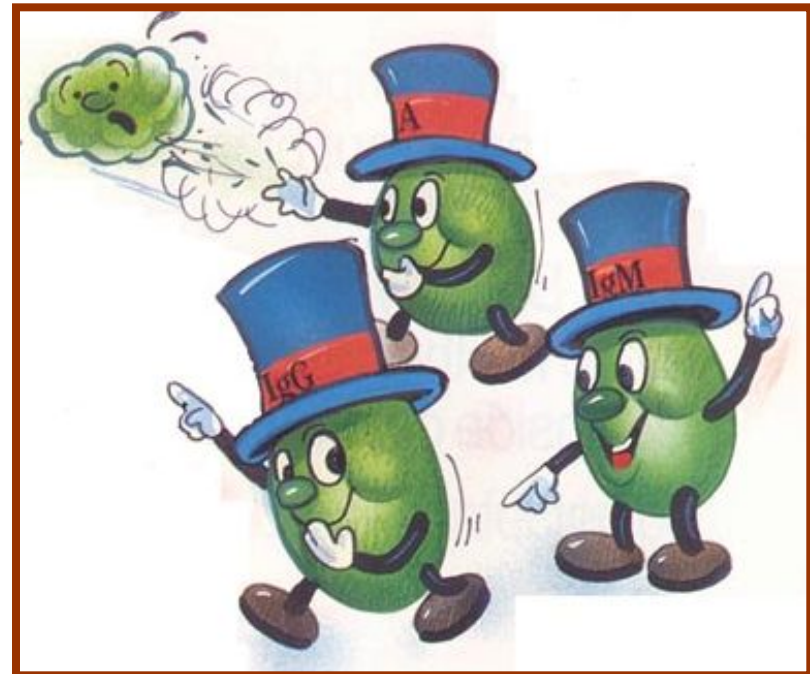
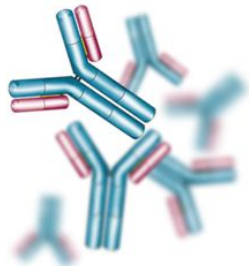


# Защитная

Предохраняют организм от вторжения чужеродных организмов и от повреждений

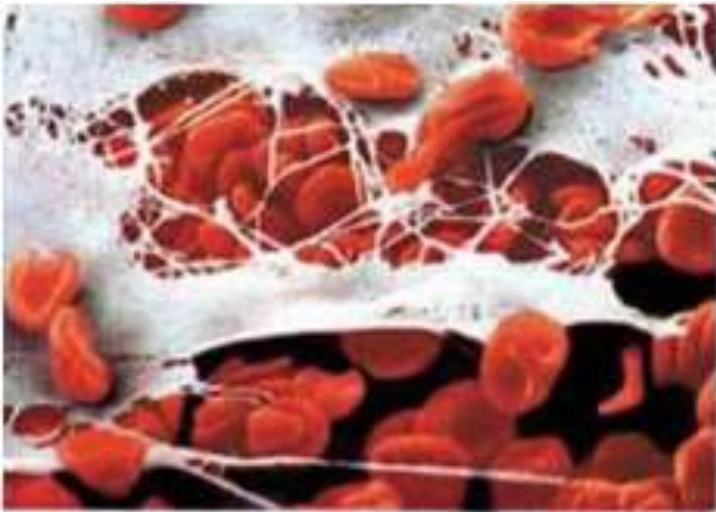
В ответ на проникновение в организм чужеродных белков или микроорганизмов (антигенов) образуются особые белки — *антитела*, способные связывать и обезвреживать их.

Антитела блокируют чужеродные белки



## Защитная.

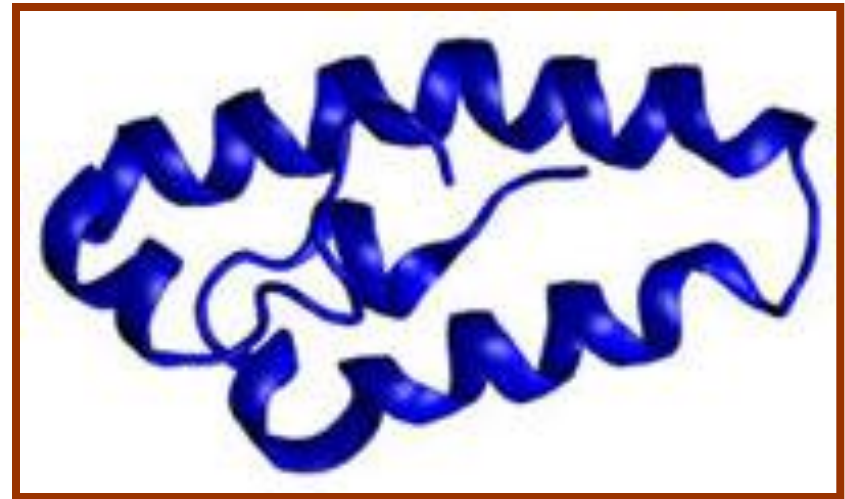
**Фибрин**, образующийся из **фибриногена**, способствует остановке кровотечений.



Например, фибриноген и протромбин обеспечивают свертываемость крови

# Сократительная - двигательная

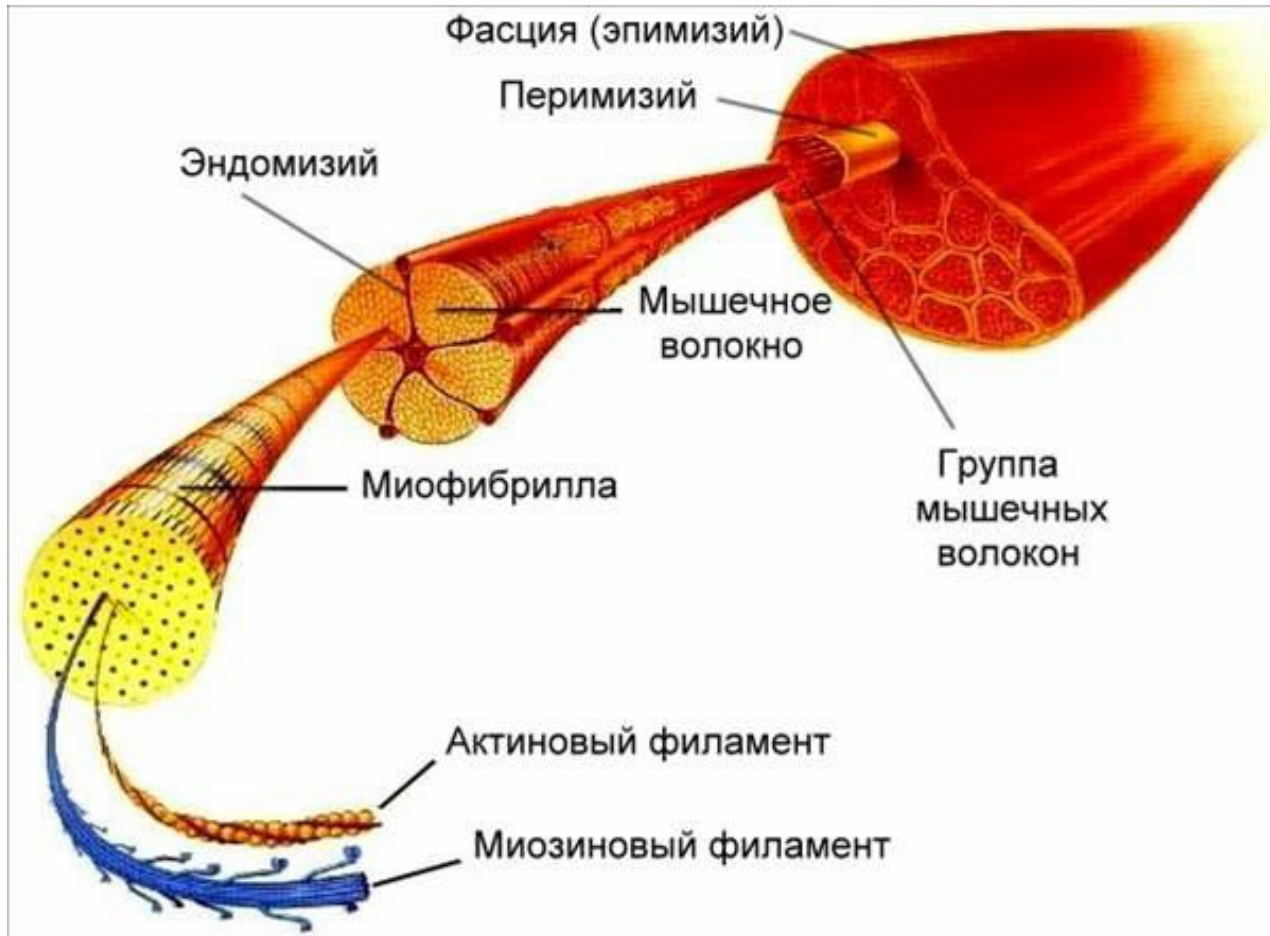
**Белки - участвуют в сокращении  
мышечных волокон.**



**Актин и миозин – белки мышц**



# Сократительная - двигательная



Особые сократительные белки (**актин и миозин**) участвуют во всех видах движения клетки и организма: образовании псевдоподий, мерцании ресничек и биении жгутиков у простейших, сокращении мышц у многоклеточных животных, движении листьев у растений и др.

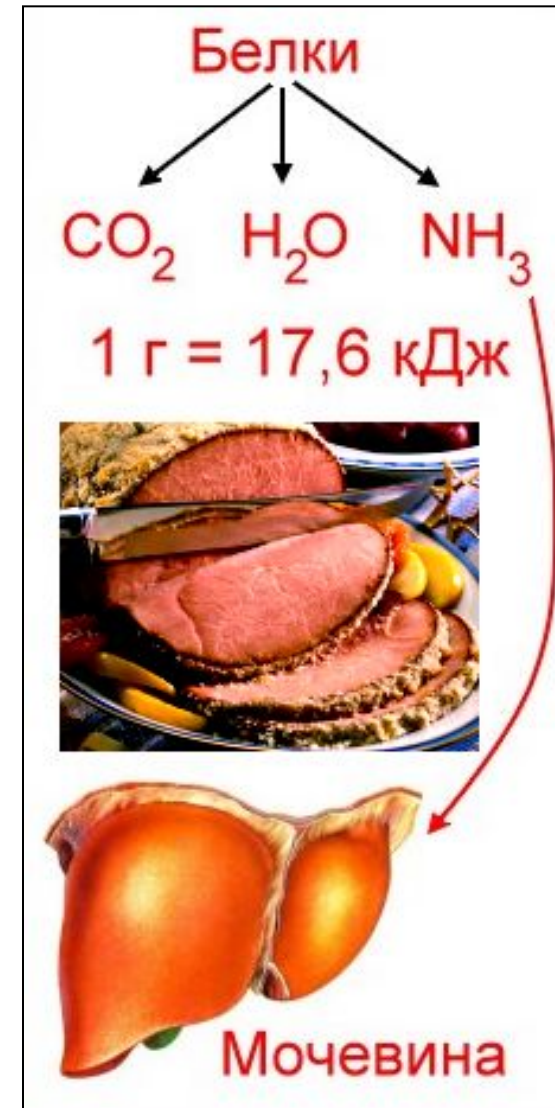
# Энергетическая

Белки являются одним из источников энергии в клетке.

При распаде 1 г белка до конечных продуктов выделяется **17,6 кДж (3,8 ккал)**.

Сначала белки распадаются до аминокислот, а затем до конечных продуктов — **воды, углекислого газа и аммиака**.

Однако в качестве источника энергии белки используются тогда, когда другие (углеводы и жиры) израсходованы.



# Запасное вещество

**Белки – форма запаса питательных веществ в эмбриональных структурах. Или при промежуточных этапах биосинтеза.**

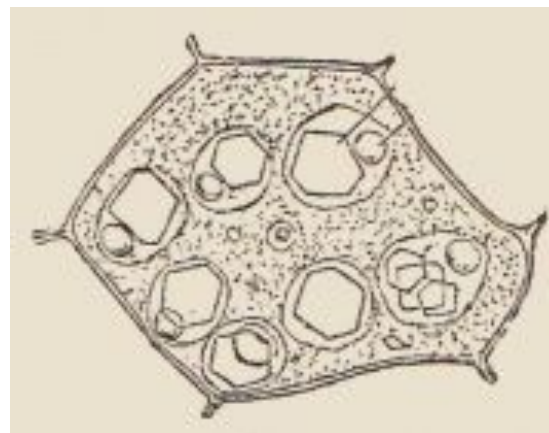
Например, при распаде гемоглобина железо не выводится из организма, а сохраняется в организме, образуя комплекс с белком **ферритином**.



ГЛОБУЛЯРНАЯ  
СТРУКТУРА **АЛЬБУМИНА**  
(белок куриного яйца)



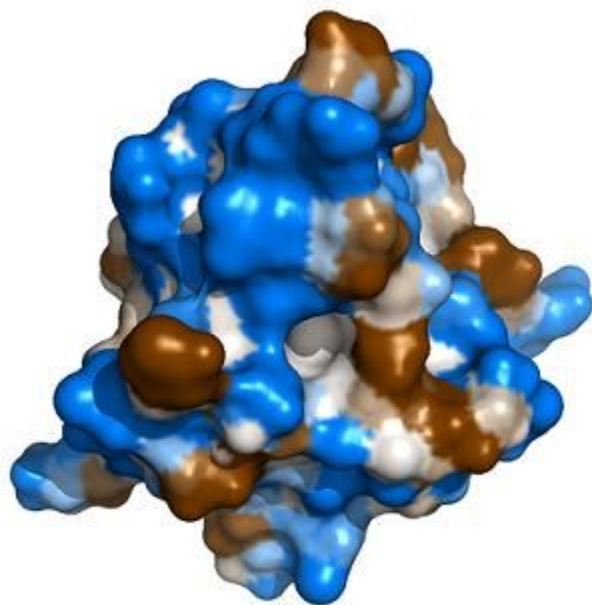
**Казеин**  
молока



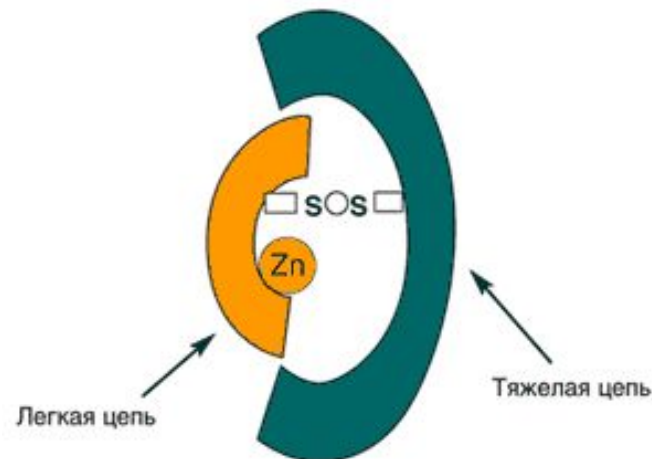
**Алейрон, алейроновые зерна**  
(например, у бобовых)

# Токсическая

## Белки – яды и токсины



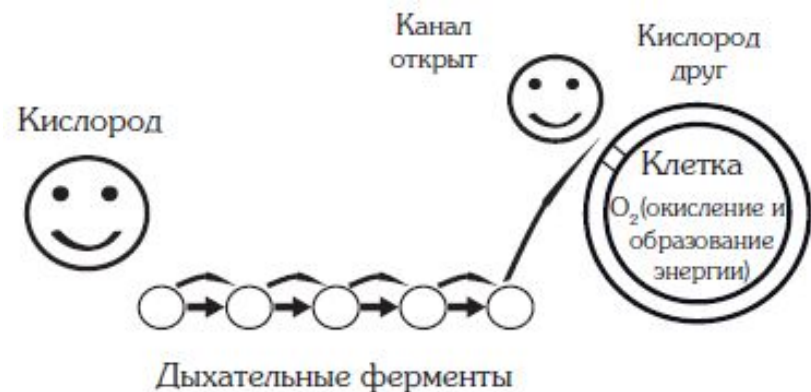
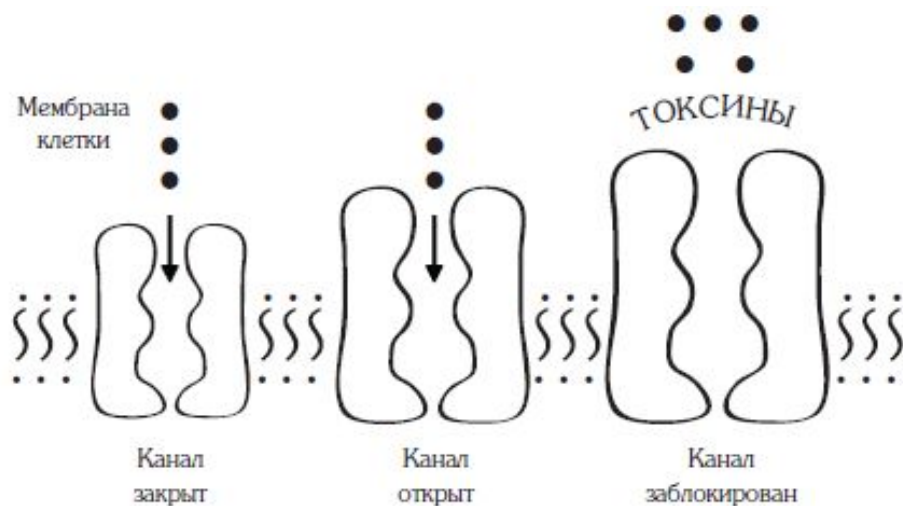
Яд скорпионов - это красивый белок, который блокирует работу ионных каналов, что вызывает нарушение работы нервов



Строение молекулы ботулинического токсина

# Токсическая

## Механизм работы



# Каталитическая

**В каждой клетке имеются сотни ферментов. Они помогают осуществлять биохимические реакции, действуя как катализаторы.**

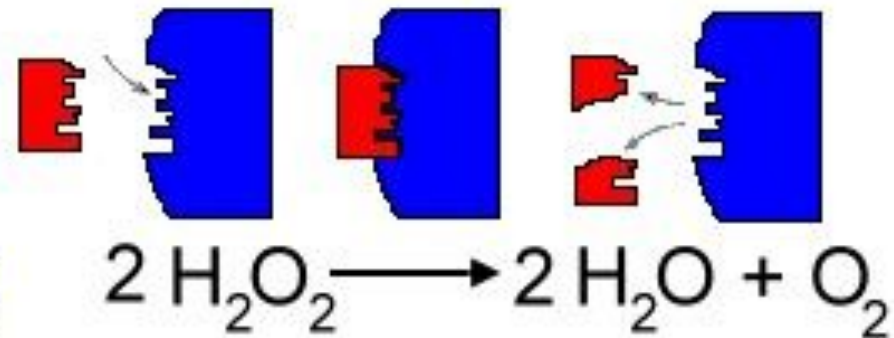


# Каталитическая

**Каталитическая.** Одна из важнейших функций белков. Скорость ферментативных реакций **в десятки тысяч (а иногда и в миллионы раз)** выше скорости реакций, идущих с участием неорганических катализаторов.

Например, пероксид водорода без катализаторов разлагается медленно:  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ . В присутствии солей железа (катализатора) эта реакция идет несколько быстрее. Фермент **каталаза** за 1 сек. расщепляет до **100 тыс. молекул  $\text{H}_2\text{O}_2$** .

Масса фермента гораздо больше массы субстрата, та часть молекулы фермента, которая взаимодействует с молекулой субстрата получила название – **активный центр фермента**.



Масса каталазы - 250 000

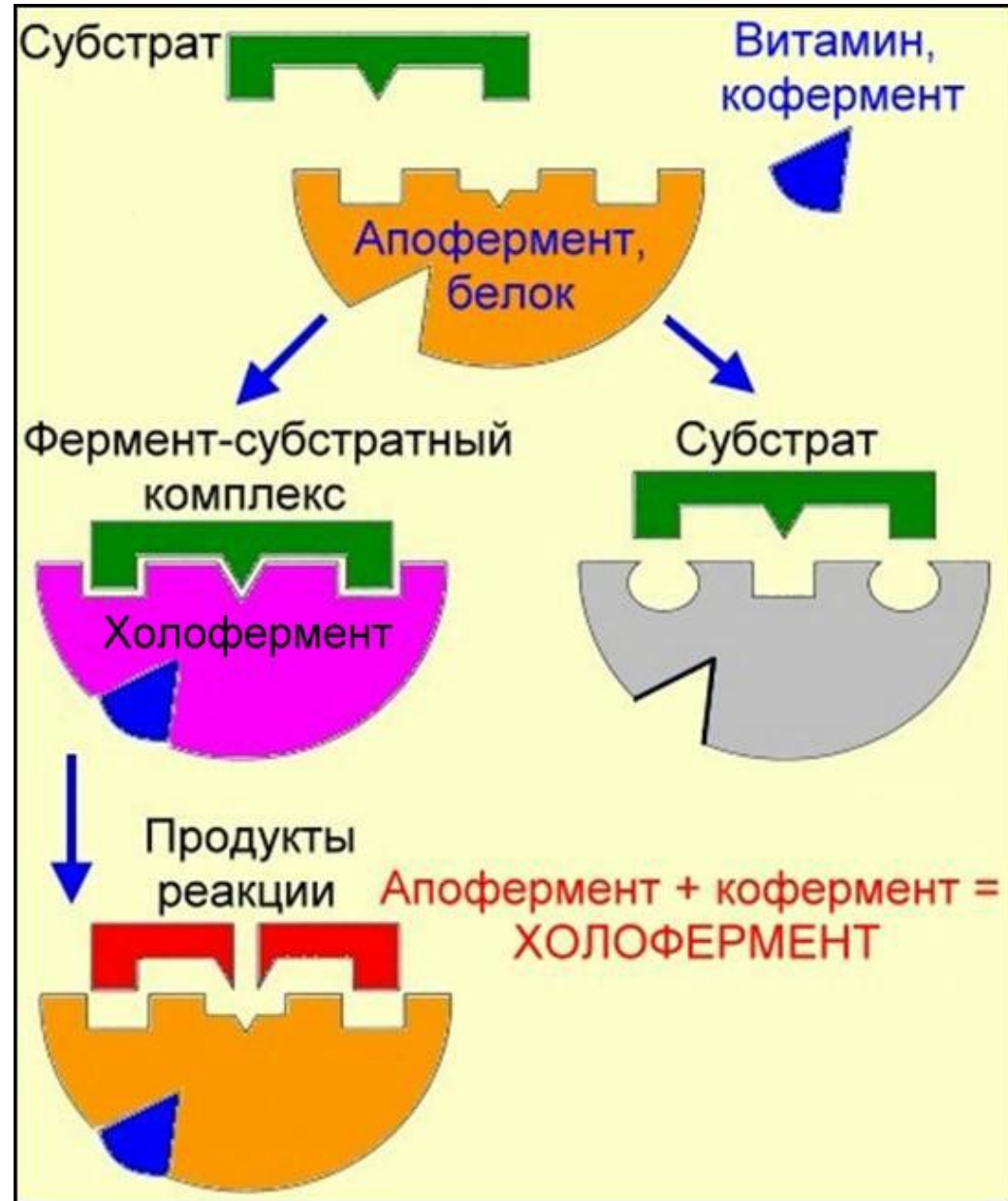
Масса пероксида ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )- 34

# Каталитическая

Ферменты – глобулярные белки, по особенностям строения ферменты можно разделить на две группы: **простые и сложные**.

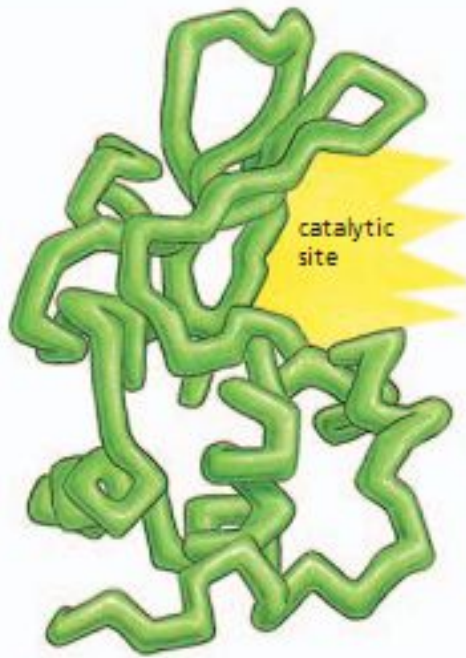
**Простые ферменты** являются простыми белками, т.е. состоят только из аминокислот.

**Сложные ферменты** являются сложными белками, т.е. в их состав помимо белковой части входит органическое соединение небелковой природы — **коферменты**: **ионы металлов** или **витамины**.

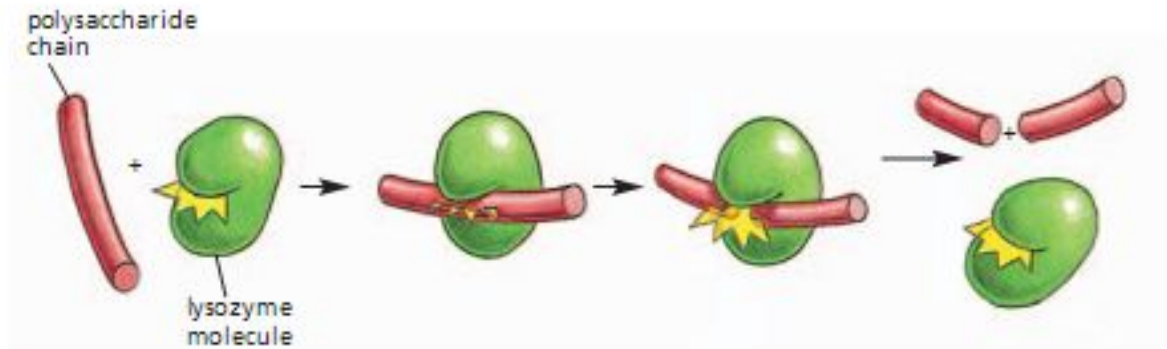




# Каталитическая



(A) lysozyme

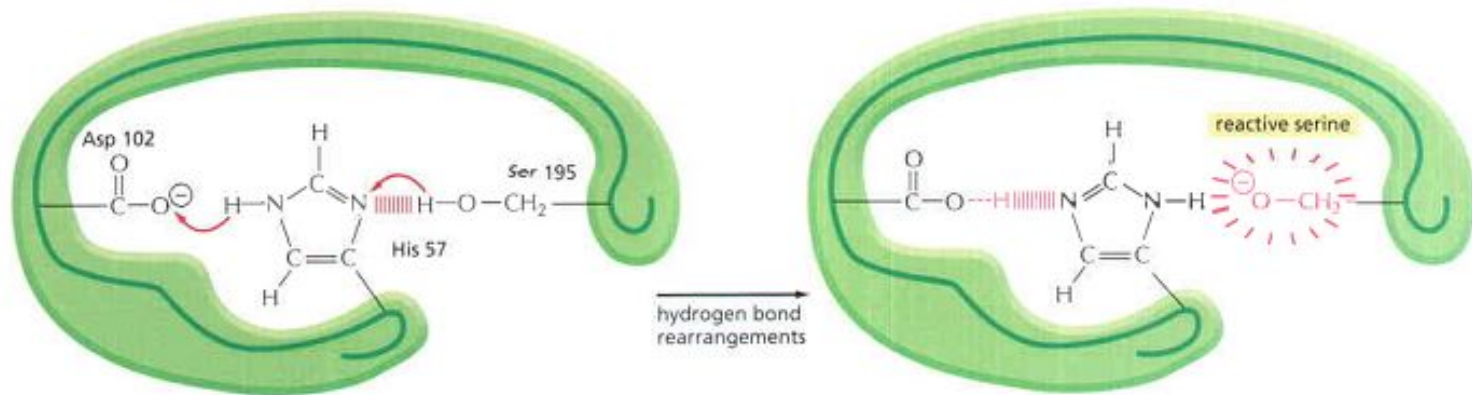


(B)

**Figure 1-7** How a protein molecule acts as catalyst for a chemical reaction.

(A) In a protein molecule the polymer chain folds up to into a specific shape defined by its amino acid sequence. A groove in the surface of this particular folded molecule, the enzyme lysozyme, forms a catalytic site.

(B) A polysaccharide molecule (red)—a polymer chain of sugar monomers—binds to the catalytic site of lysozyme and is broken apart, as a result of a covalent bond-breaking reaction catalyzed by the amino acids lining the groove.



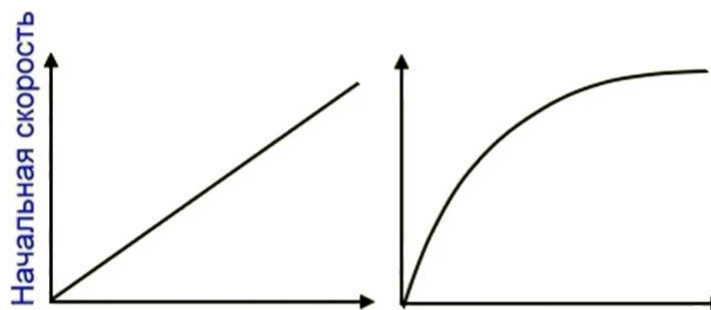
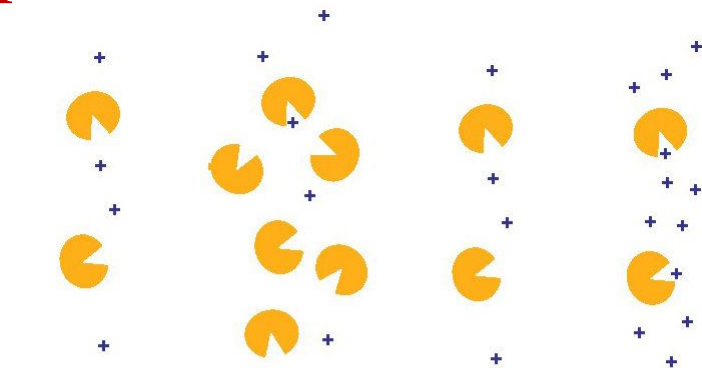
# Каталитическая

**Ферменты специфичны** – могут

катализировать один тип реакций – в активный центр попадает определенная молекула субстрата.

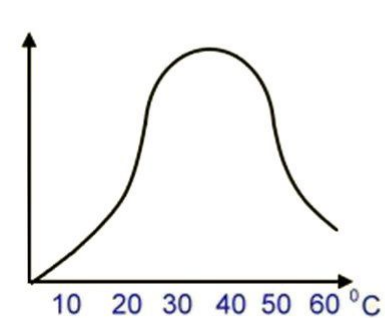
Поскольку почти все ферменты являются белками (есть *рибозимы*, РНК, катализирующие некоторые реакции), их активность наиболее высока при физиологически нормальных условиях: большинство ферментов наиболее активно работает только при *определенной температуре, pH, скорость зависит от концентрации фермента и субстрата.*

При повышении температуры до некоторого значения (в среднем до 50°C) каталитическая активность растет (на каждые 10°C скорость реакции повышается примерно в 2 раза).

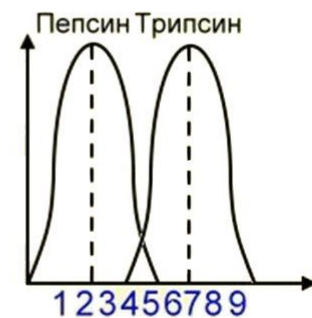


Концентрация фермента

Концентрация субстрата



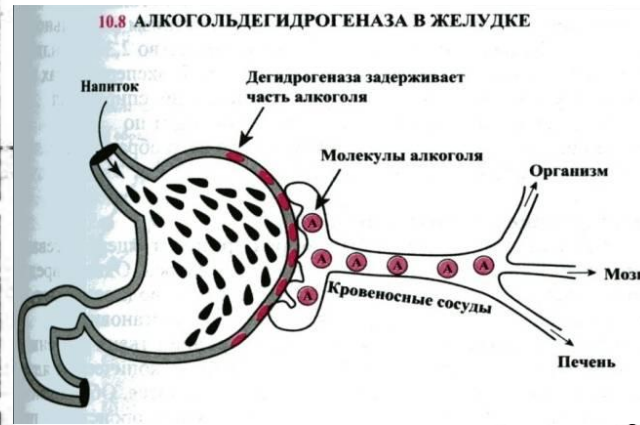
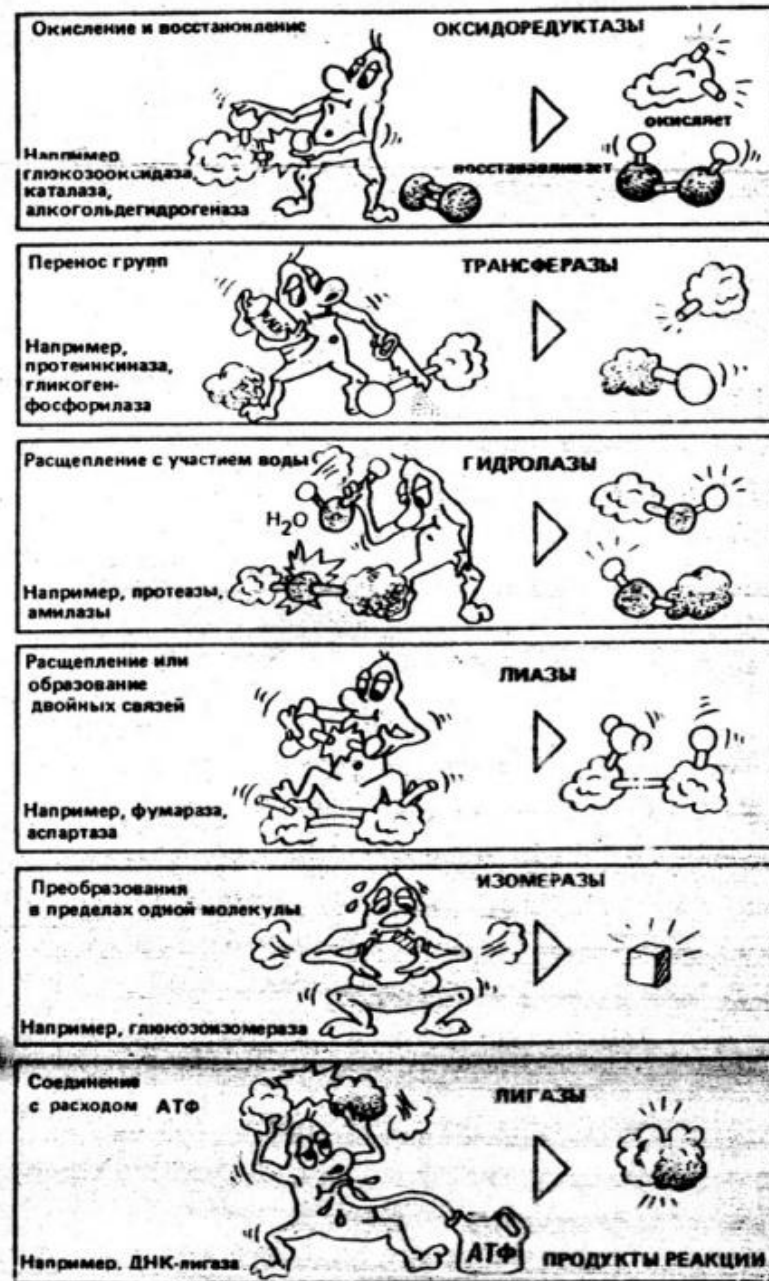
Зависимость от температуры



Зависимость от pH



# Классификация ферментов и регуляция их работы





Роль белков в жизни клетки огромна. Современная биология показала, что сходство и различие организмов определяется в конечном счете набором белков.



# Каталитическая

