



**ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ХИМИИ**

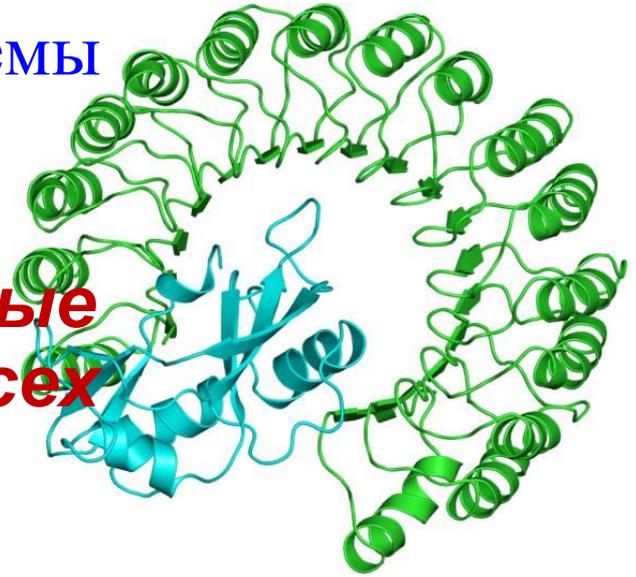
# **$\alpha$ -Аминокислоты и белки**

- 1.  $\alpha$ -Аминокислоты, строение, номенклатура, изомерия.**
- 2. Физические и химические свойства.**
- 3. Пептиды и белки.**

***Лектор:* Ирина Петровна Степанова, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой химии**

Медико-биологическое значение темы

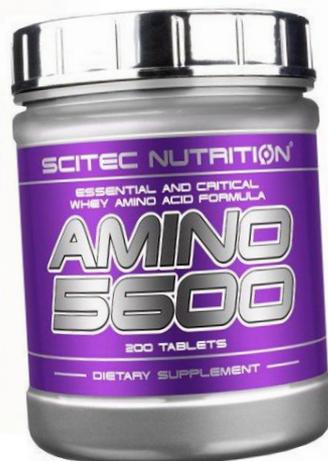
**Из остатков аминокислот построены такие важные соединения как белки, которые участвуют практически во всех процессах *in vivo*: биосинтез алкалоидов, порфиринов, тетрапиррольных пигментов, мочевины и т.д.**



С нарушениями метаболизма аминокислот связаны наследственные заболевания как фенилкетонурия и алкаптонурия.

# Медико-биологическое значение темы

**Некоторые аминокислоты являются лекарственным и препаратами.**



# Медико-биологическое значение темы



## **$\alpha$ -АМИНОКИСЛОТЫ**

**Пептиды и белки построены из 20  $\alpha$ -аминокислот, информация о положении которых в белковой молекуле записана цифровым трёхбуквенным кодом в ДНК и РНК.**

**$\alpha$ -Аминокислоты - гетерофункциональные соединения - производные карбоновых кислот, у которых один атом водорода у  $\alpha$ -углеродного звена замещен на аминогруппу.**

**Общий фрагмент**



**Основной  
центр**



**Кислотный  
центр**



# **I. По строению углеводородного радикала α-аминокислоты делят на 7 групп:**

**I. Моноаминомонокарбоновые**

**II. Моноаминодикарбоновые**

**III. Диаминомонокарбоновые**

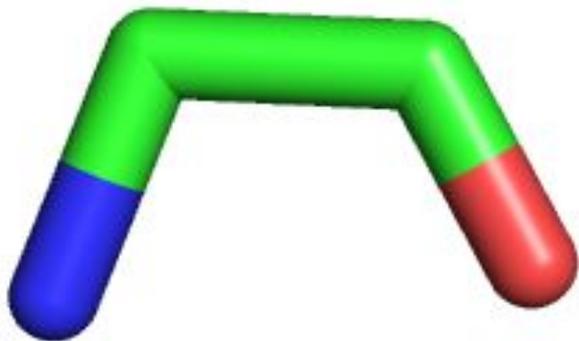
**IV. Гидроксиаминокислоты**

**V. Серосодержащие аминокислоты**

**VI. Ароматические**

**VII. Гетероциклические**

# **I. Моноаминомонокарбоновые аминокислоты (нейтральные)**

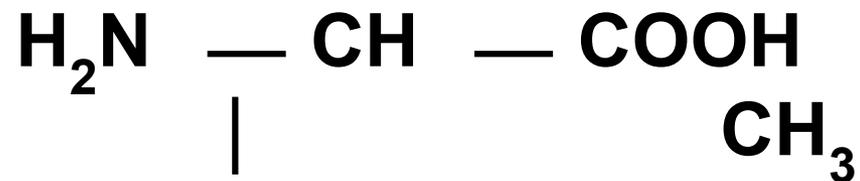
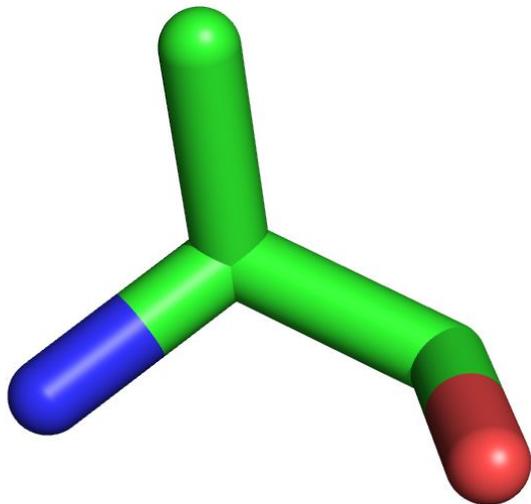


**Глицин (ГЛИ)**

**α-Аминоуксусная кислота**

**Боковые радикалы  
α-аминокислот этой  
подгруппы гидрофобные.**

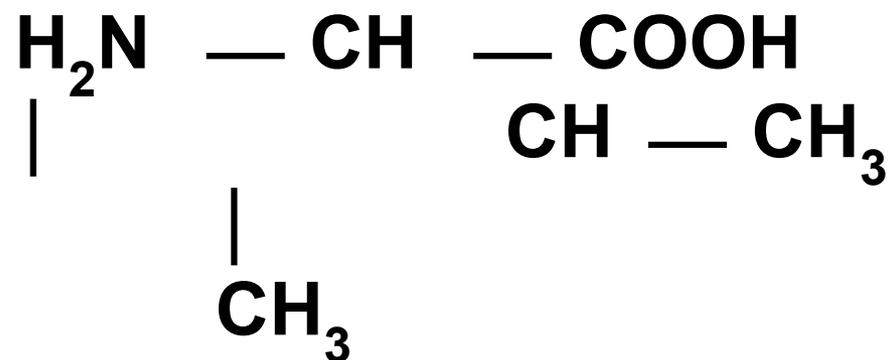
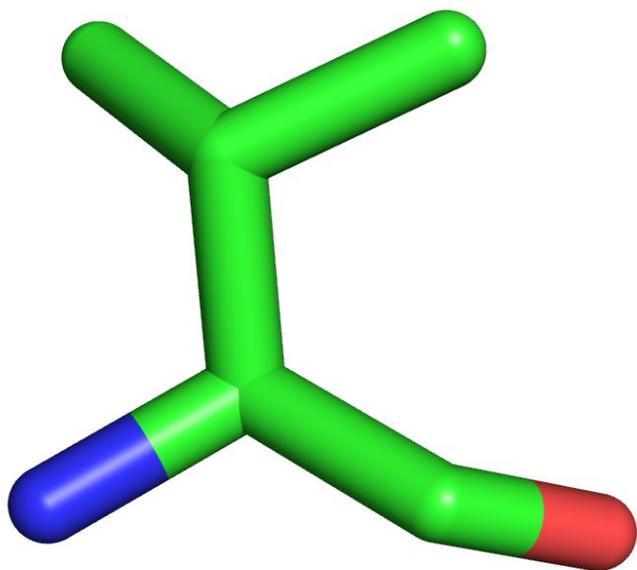
*Моноаминомонокарбоновые аминокислоты*



**Аланин (АЛА)**

**α-Аминопропионовая  
кислота**

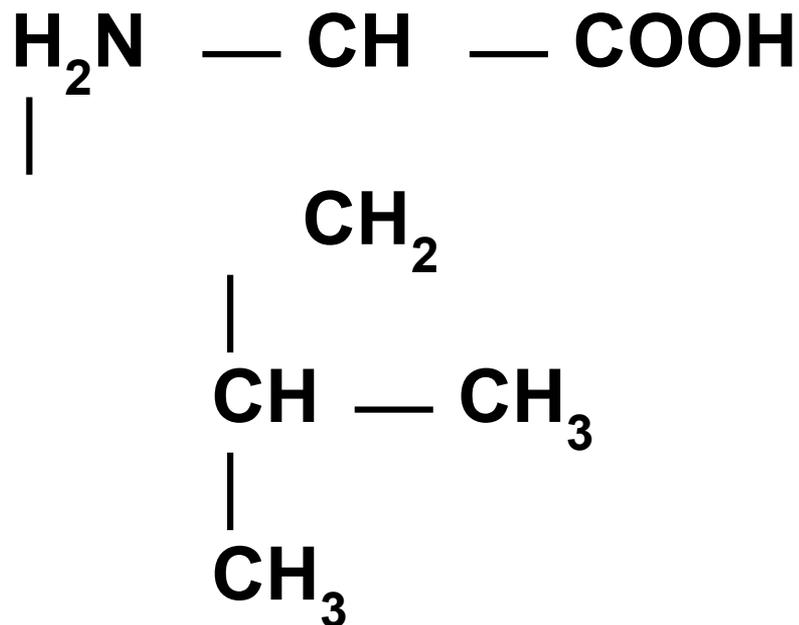
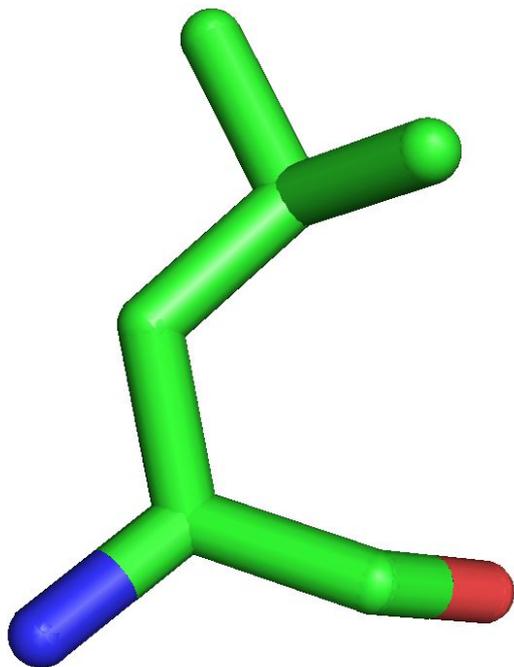
*Моноаминомонокарбоновые аминокислоты*



**Валин (ВАЛ)**

**$\alpha$ -Амино- $\beta$ -метилмасляная  
кислота**

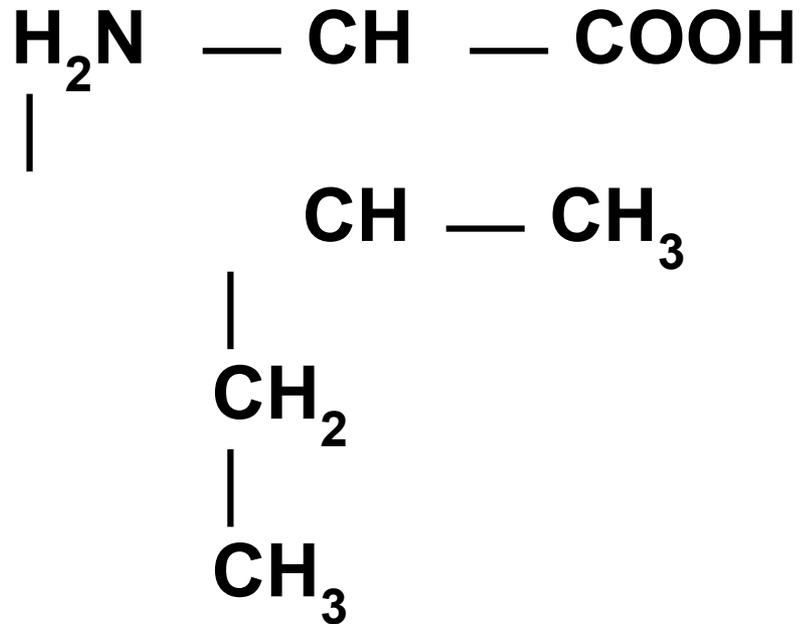
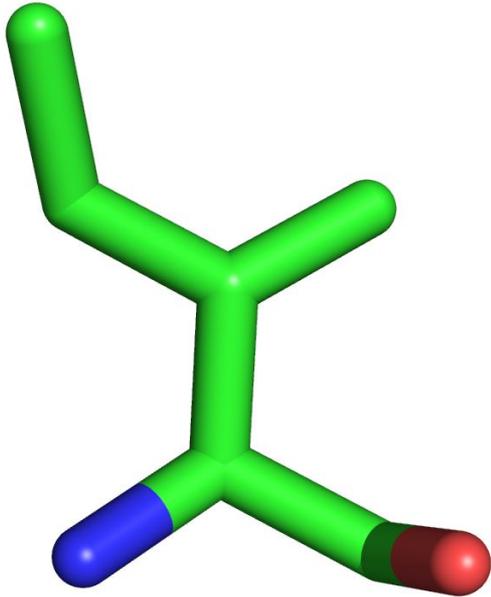
*Моноаминомонокарбоновые аминокислоты*



**Лейцин (ЛЕЙ)**

**$\alpha$ -Амино- $\gamma$ -метилвалериановая кислота**

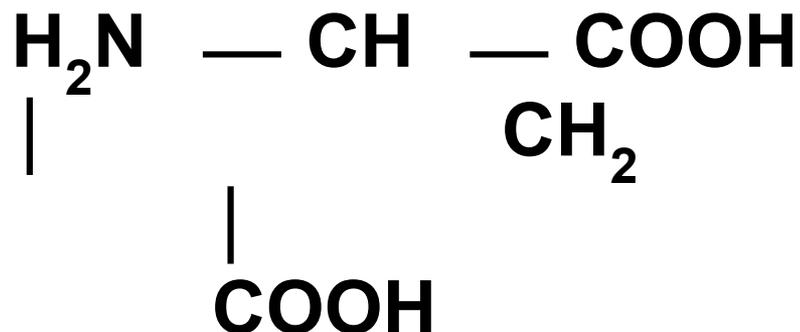
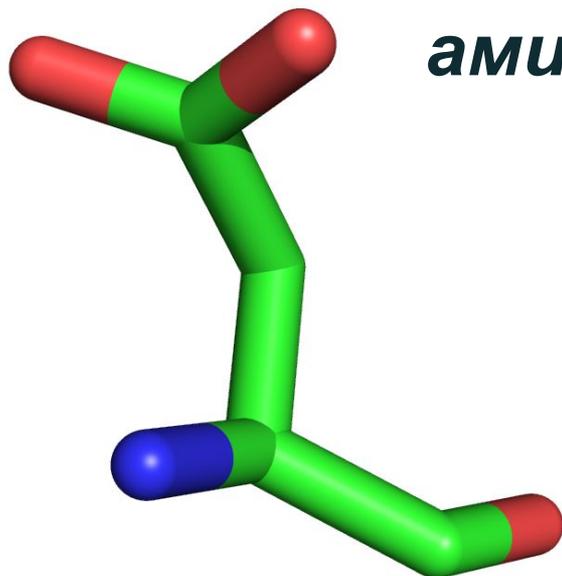
*Моноаминомонокарбоновые аминокислоты*



**Изолейцин ( ИЛЕ )**

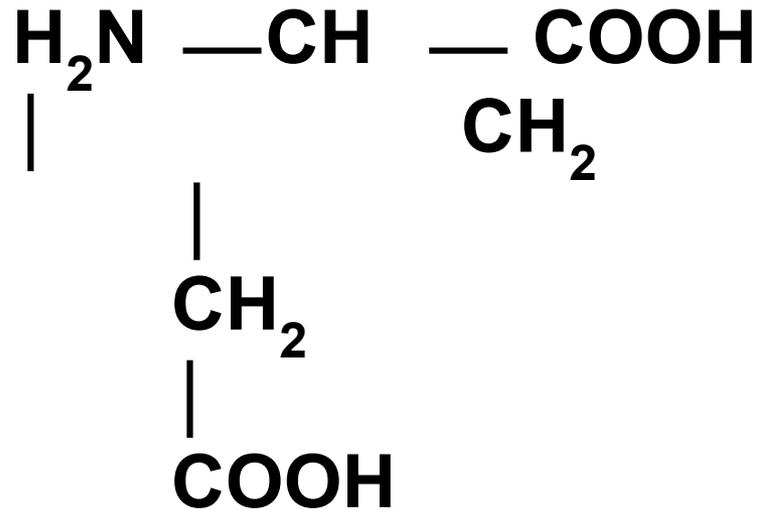
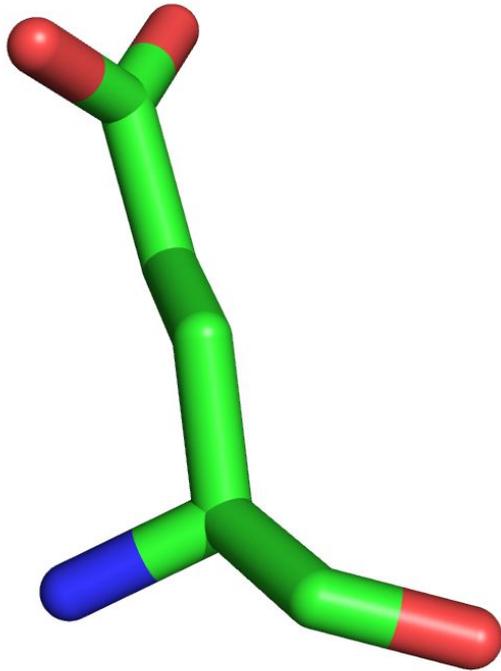
**α-Амино-β-метилвалериановая кислота**

## **II. Моноаминодикарбоновые аминокислоты (кислые)**



**Аспарагиновая кислота (АСП)**  
**α-Аминоянтарная кислота**

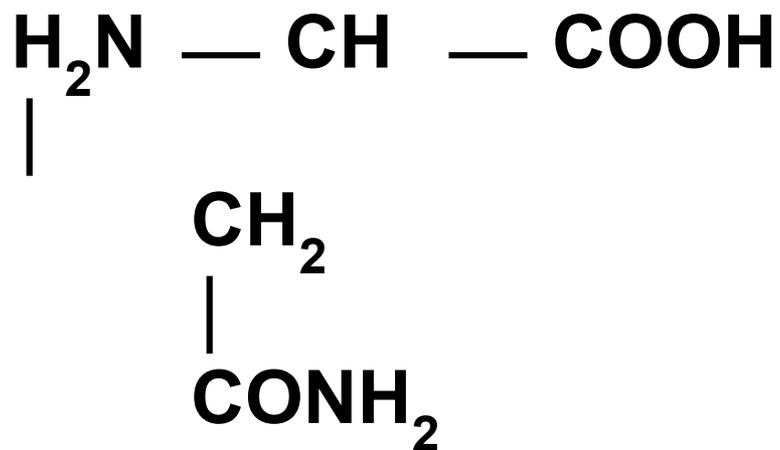
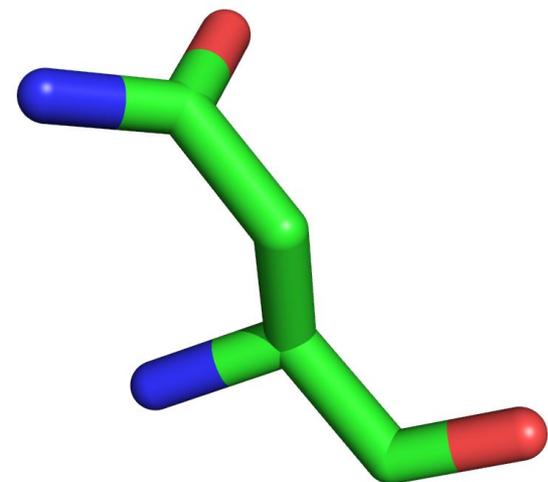
Моноаминодикарбоновые аминокислоты



**Глутаминовая кислота (ГЛУ)**  
**α-Аминоглутаровая кислота**

*Боковые радикалы  
гидрофильные, ионогенные,  
несут отрицательный заряд  
( $-\text{OOC} - \text{CH}_2 -$ ).*

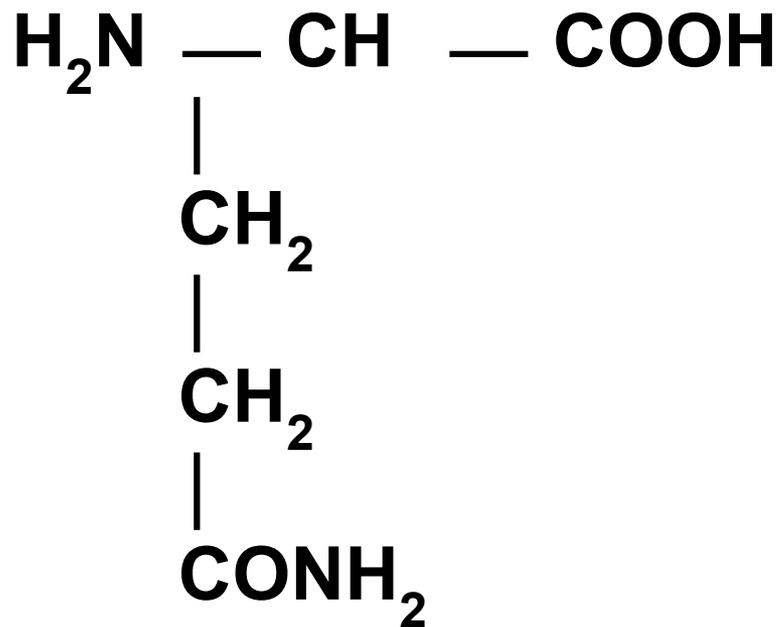
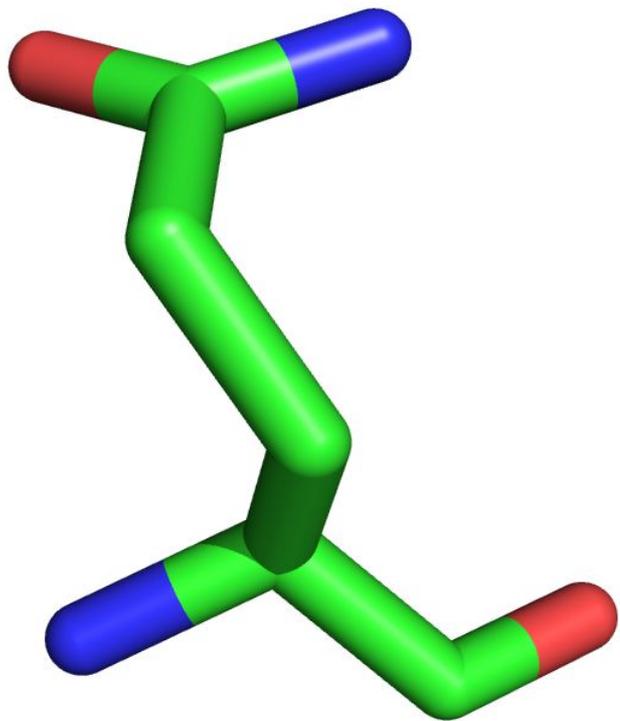
*Моноаминодикарбоновые аминокислоты*



**Аспарагин (АСН)**

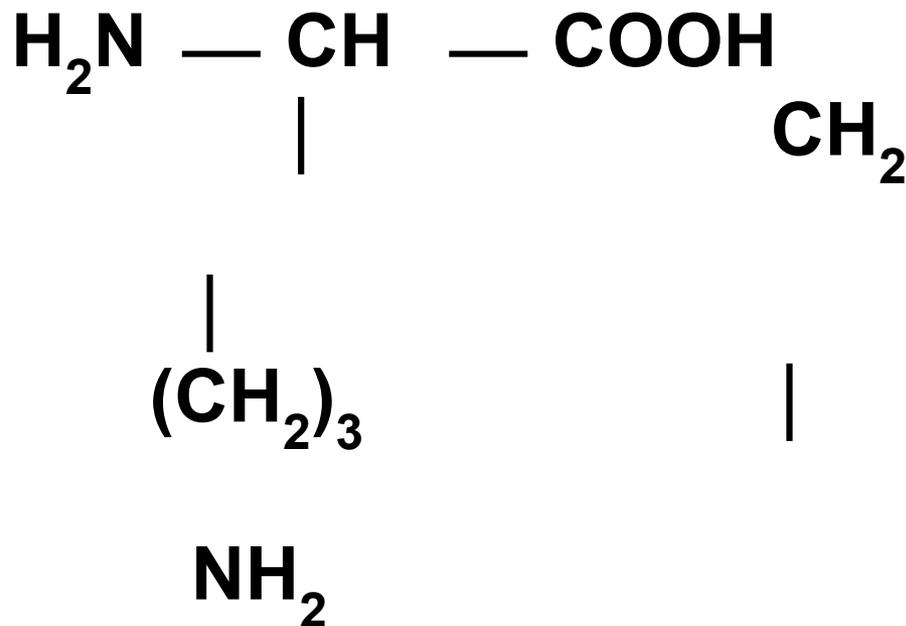
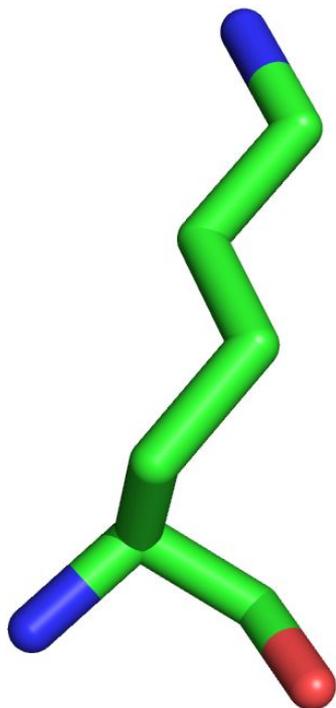
***В состав белков  
входят амиды данных  
кислот.***

*Моноаминодикарбоновые аминокислоты*



**Глутамин (ГЛН)**

### **III. Диаминомонокарбоновые аминокислоты (основные)**

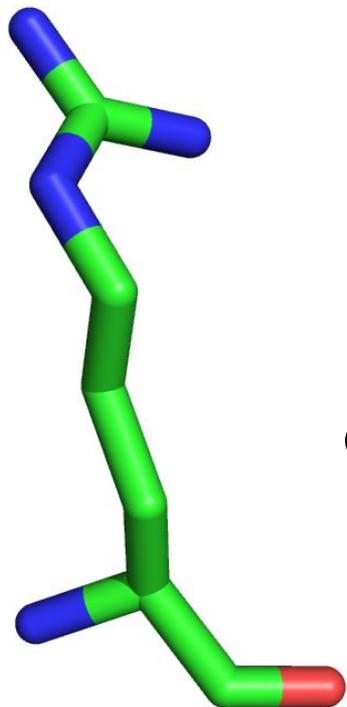


### **Лизин (ЛИЗ)**

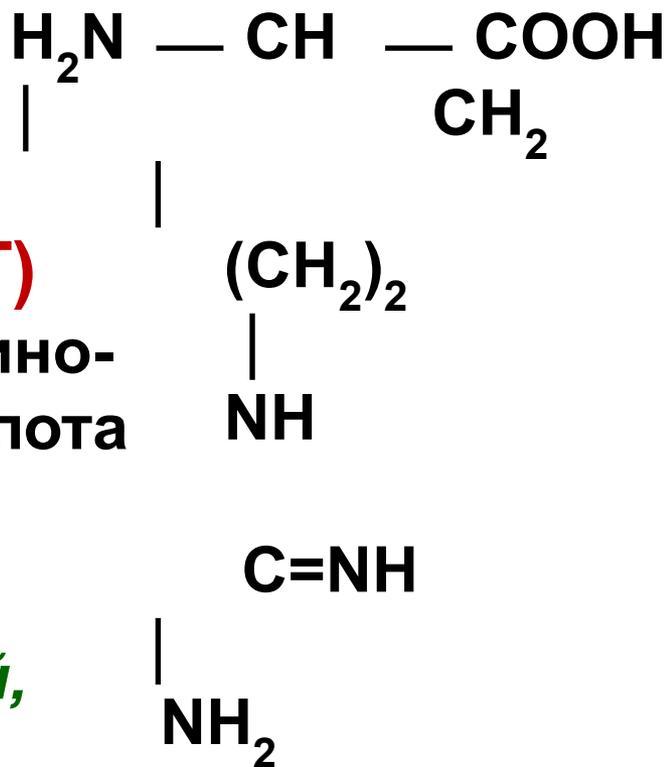
**α,ε-Диаминокапроновая кислота**

**Боковой радикал гидрофильный, ионогенный, несет положительный заряд ( $\text{H}_3\text{N}^+ - (\text{CH}_2)_4 -$ ).**

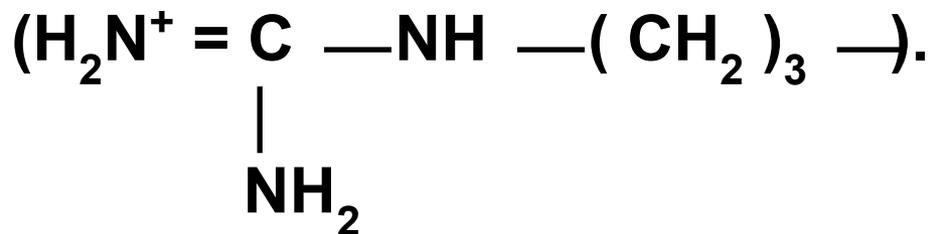
Диаминомонокарбоновые аминокислоты



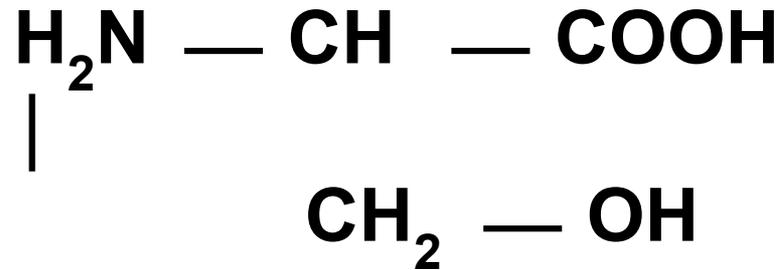
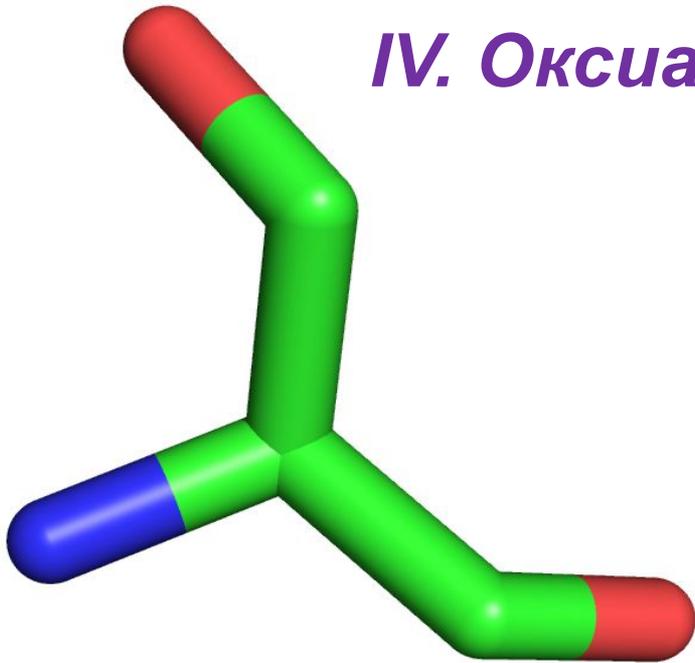
**Аргинин (АРГ)**  
α-Амино-δ-гуанидино-  
валериановая кислота



*Боковой радикал гидрофильный,  
ионогенный, несёт  
положительный заряд*



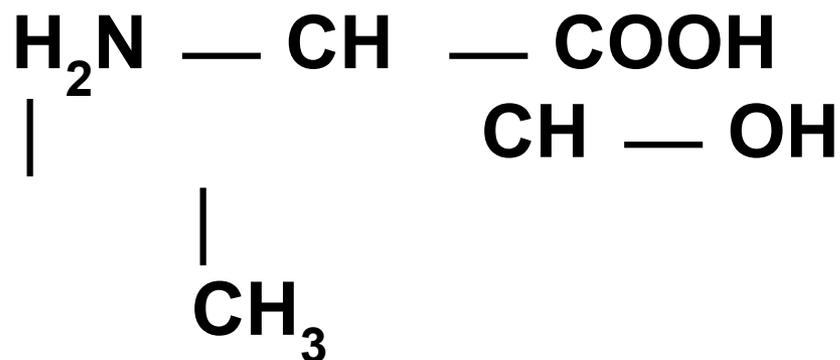
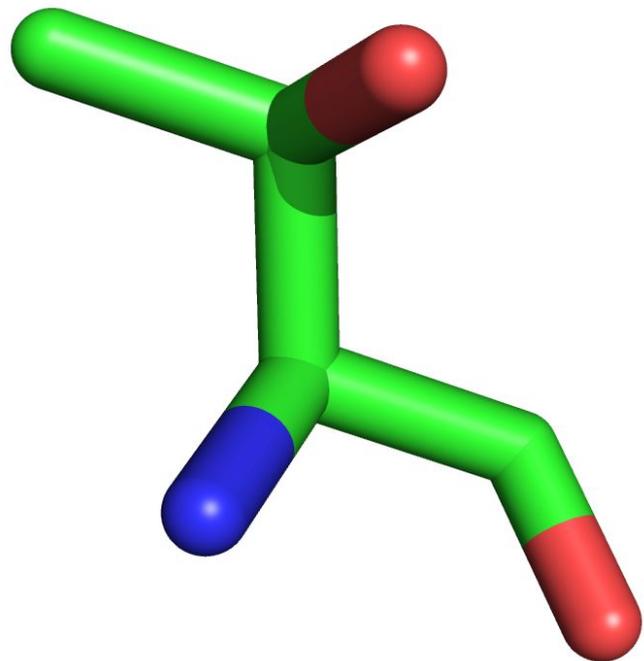
## **IV. Оксиаминокислоты**



**Серин (SER)**

**α-Амино-β-оксипропионовая кислота**

## Оксиаминокислоты

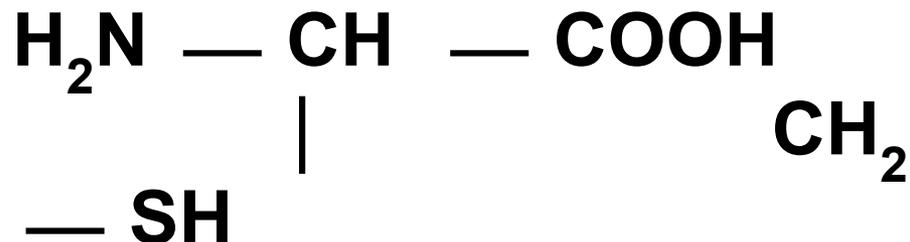
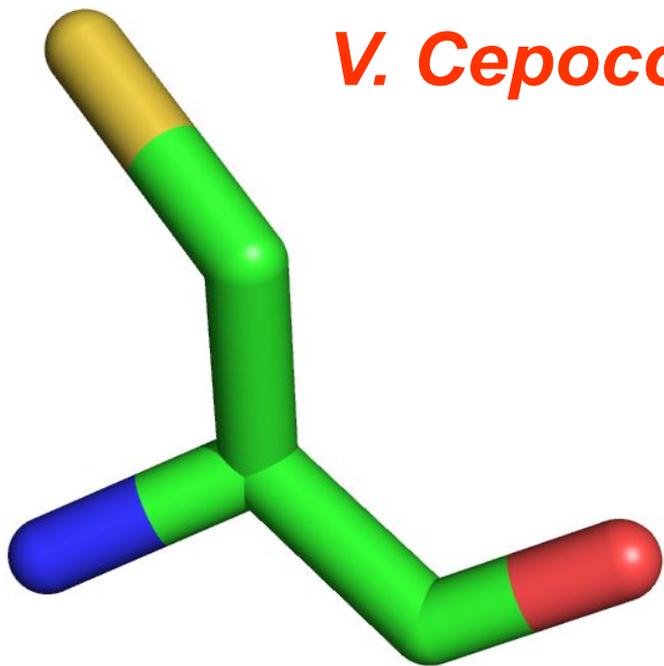


**Треонин (TPE)**

**$\alpha$ -Амино- $\beta$ -оксимасляная  
кислота**

*Боковые радикалы  
гидрофильные,  
неионогенные (имеют  
спиртовую природу).*

## **V. Серосодержащие аминокислоты**

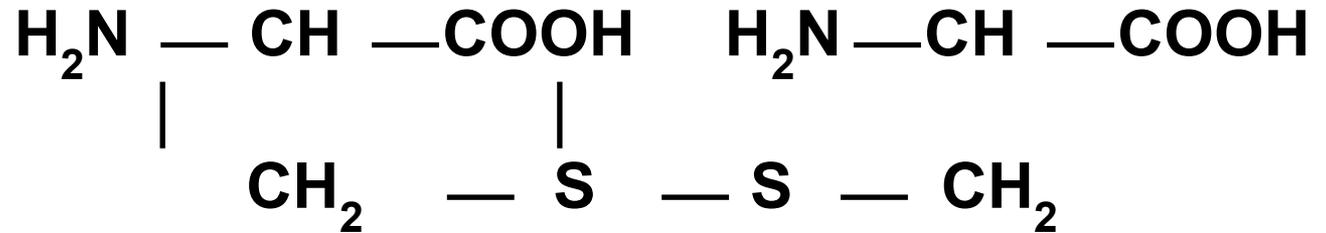
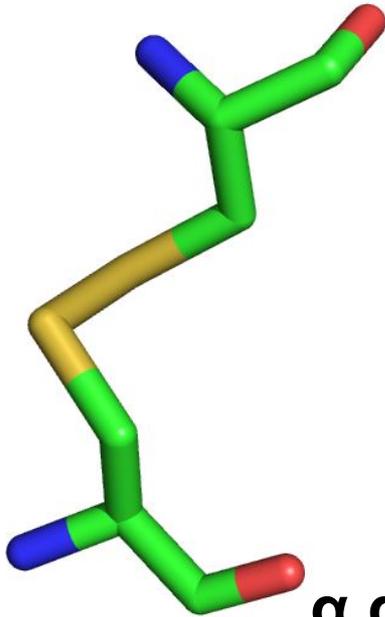


**Цистеин (ЦИС)**

**α-Амино-β-меркаптопропионовая  
кислота**

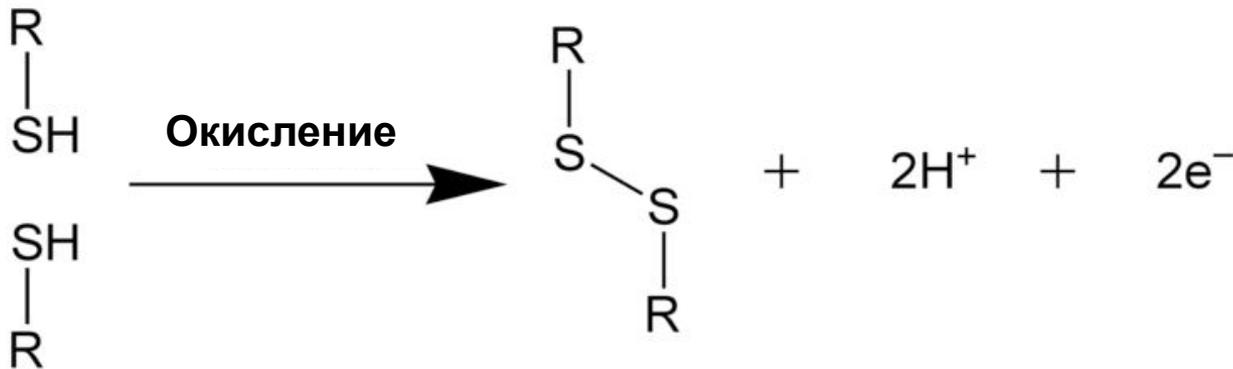
**Боковой радикал  
гидрофильный, ионогенный,  
несёт отрицательный заряд  
(<sup>-</sup>S — CH<sub>2</sub> —).**

Серосодержащие аминокислоты



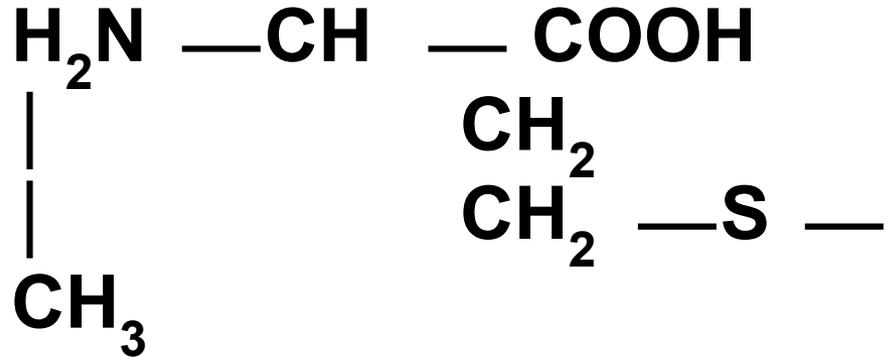
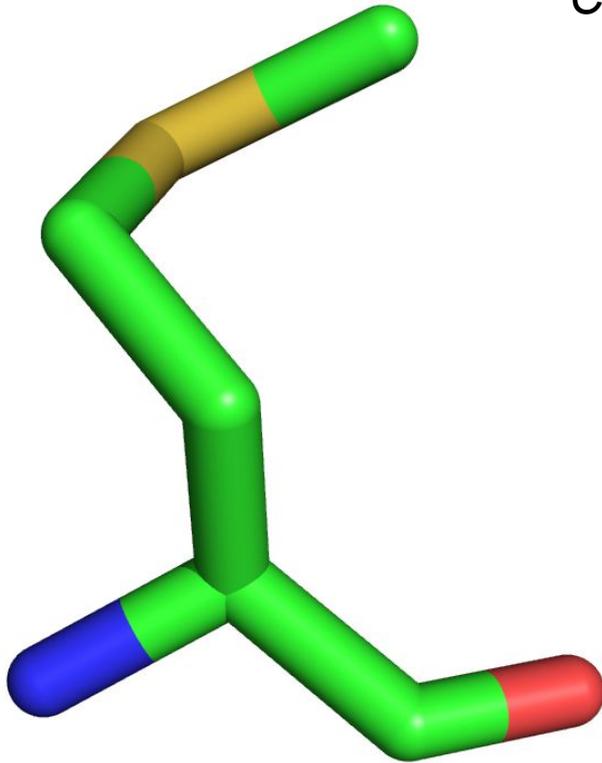
## Цистин (ЦИС-ЦИС)

$\alpha, \alpha'$ -Диамино- $\beta, \beta'$ -димеркаптопропионовая кислота



*Боковой радикал гидрофобный.*

*Серосодержащие аминокислоты*

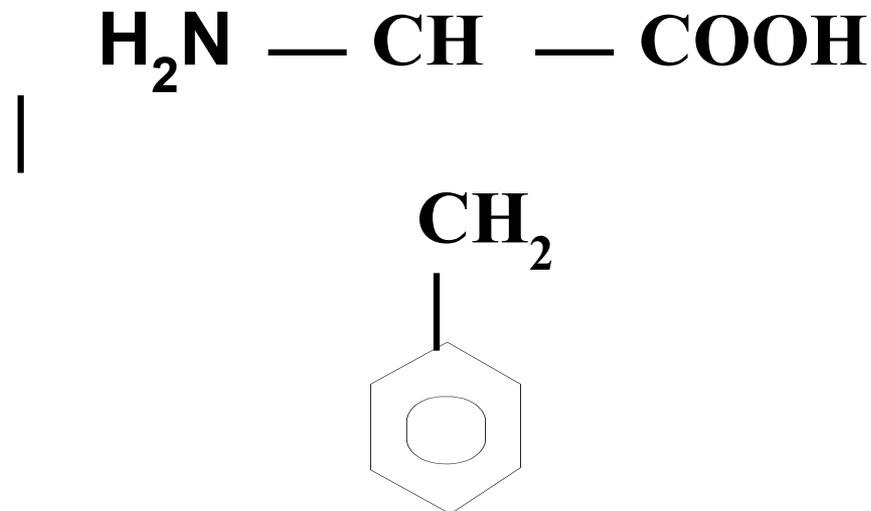
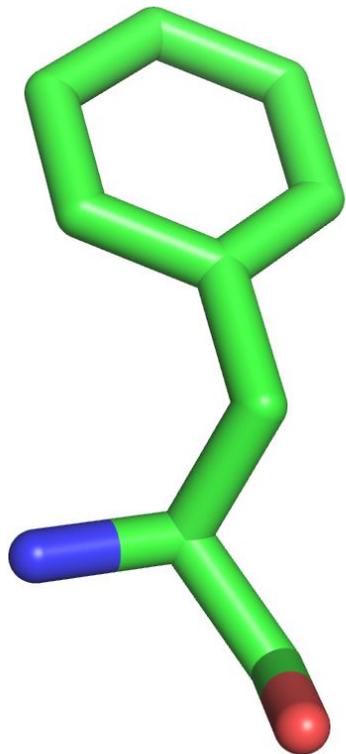


**Метионин (MET)**

**α-Амино-γ-метилтиомасляная  
кислота**

*Боковой радикал гидрофобный.*

## **VI. Ароматические α-аминокислоты**

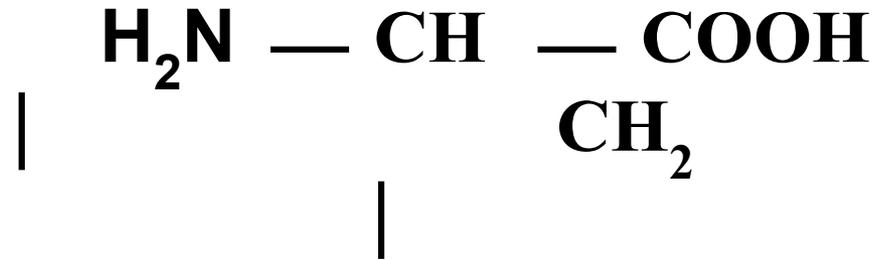
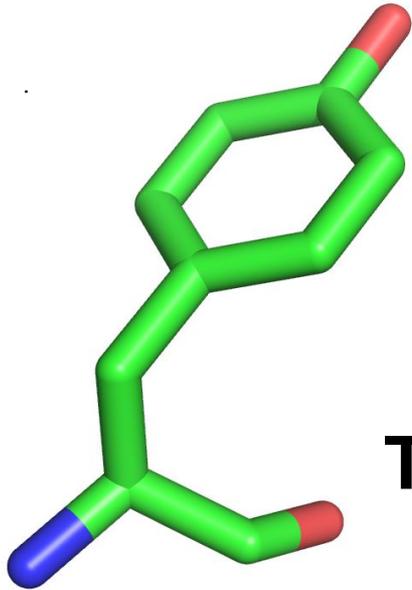


**Фенилаланин (Фен)**

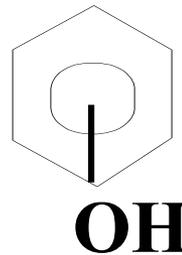
**α-Амино-β-фенилпропионовая  
кислота**

*Боковой радикал  
гидрофобный.*

Ароматические  $\alpha$  - аминокислоты

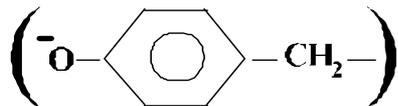


Тирозин (ТИР)

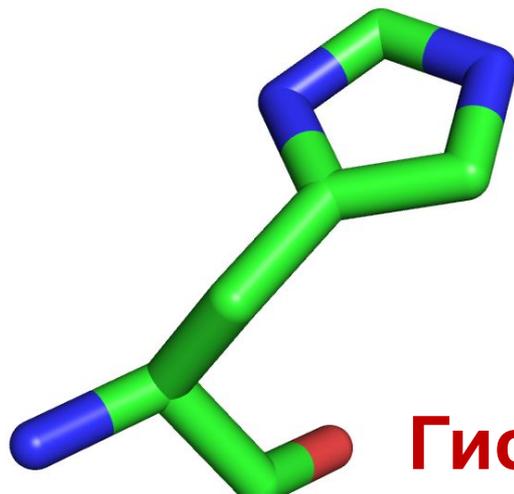


$\alpha$ -Амино- $\beta$ -параоксифенилпропионовая  
кислота

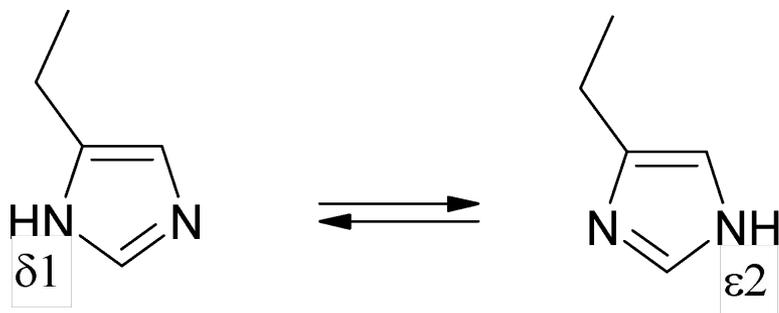
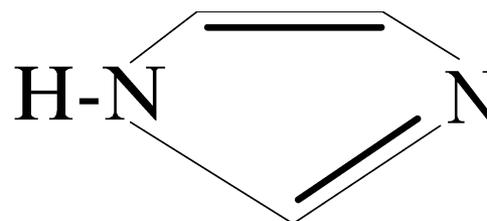
*Боковой радикал гидрофильный,  
ионогенный, несёт отрицательный  
заряд*



## VII. Гетероциклические α-аминокислоты

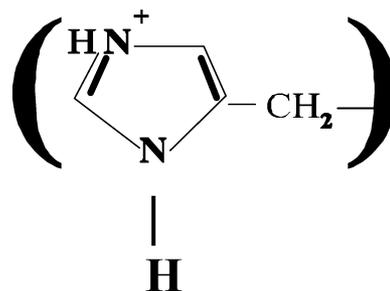


**Гистидин (ГИС)**

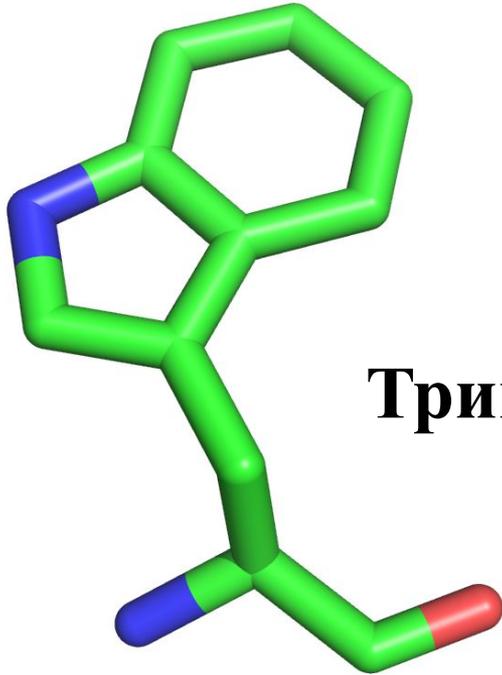


**α -Амино-β-имидазолил-  
пропионовая  
кислота**

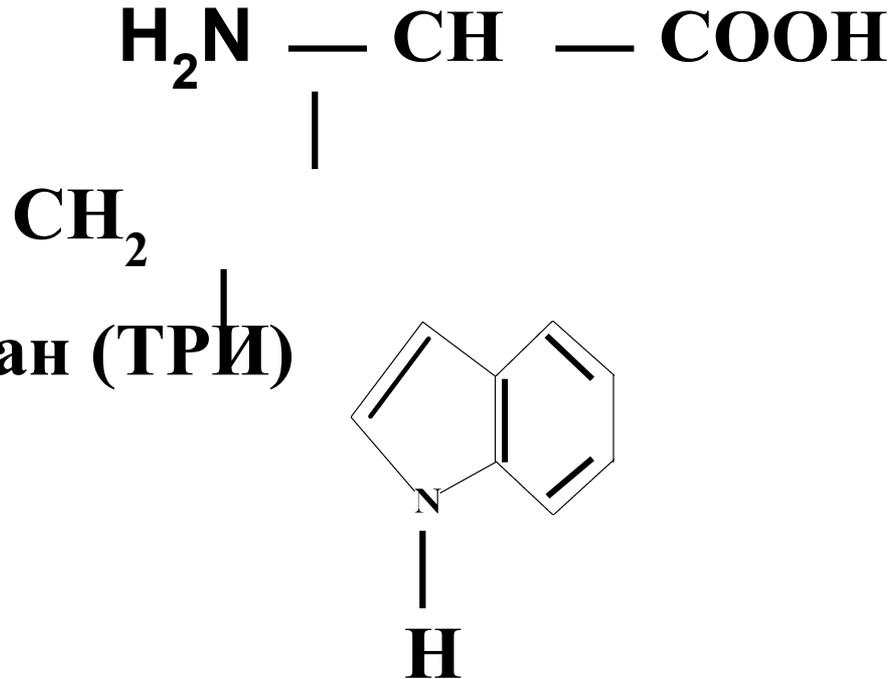
**Боковой радикал  
гидрофильный,  
ионогенный несёт  
положительный заряд**



Гетероциклические  $\alpha$  - аминокислоты



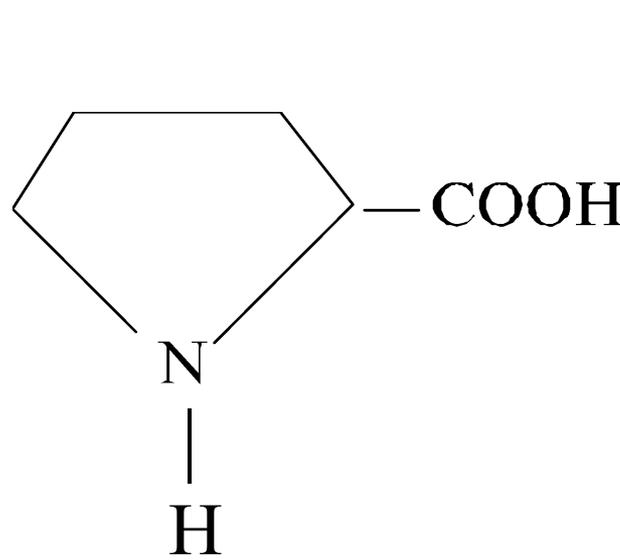
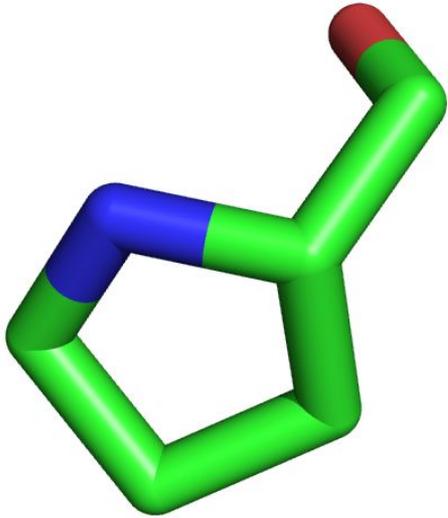
Триптофан (ТРИ)



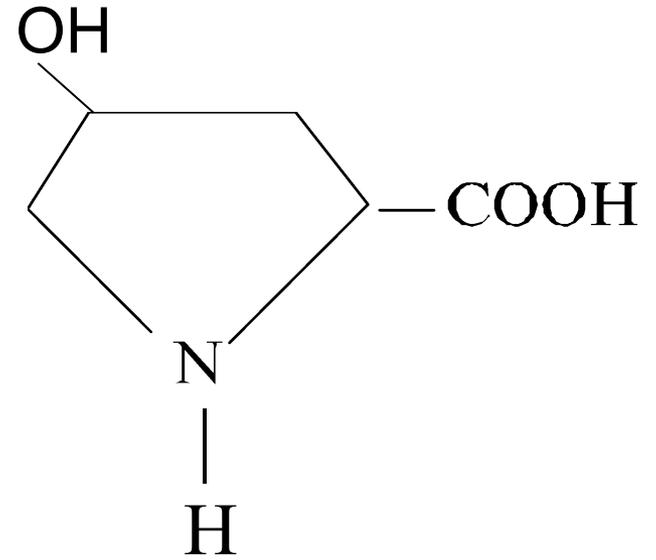
$\alpha$ -Амино- $\beta$ -индолилпропионовая  
кислота

*Боковой радикал  
гидрофобный, неионогенный.*

## Иминокислоты



Пролин ( ПРО )



Оксипролин ( ОПР )

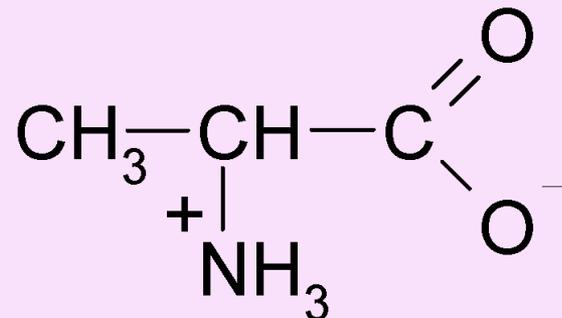
*У пролина боковой радикал гидрофобный, неионогенный, у оксипролина – гидрофильный, ионогенный.*

## **II. По способности синтезироваться в организме аминокислоты делятся на заменимые и незаменимые.**

***К незаменимым аминокислотам относят: валин, изолейцин, лейцин, триптофан, фенилаланин, метионин, лизин, треонин.***

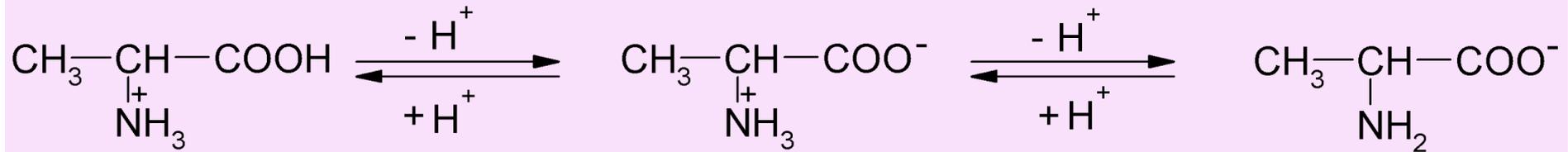


В твердом состоянии и водных растворах при нейтральных значениях pH α-аминокислоты существуют преимущественно в виде внутренних солей – **цвиттер-ионов**:



**Цвиттер-ион**

**В сильноокислой среде преобладает катионная форма, в сильнощелочной - анионная.**



**Катионная  
форма**

**Цвиттер-ион**

**Анионная  
форма**

**Сильнокислая  
среда**

**Нейтральная**

**Сильнощелочная  
среда**

**Значение рН, при котором концентрация диполярных ионов максимальна, а минимальные концентрации катионных и анионных форм α-аминокислоты равны, называется изоэлектрической точкой (pI).**

**В изоэлектрической точке суммарный заряд молекулы кислоты равен 0.**

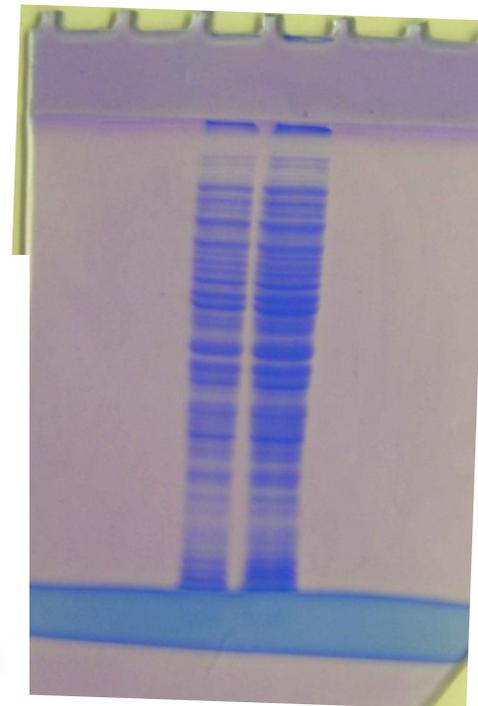
*$\alpha$ -Аминокислоты, строение, номенклатура, изомерия*

**Для моноаминомонокарбоновых кислот  $pI \approx 5-6$ ,  
 $pI$  моноаминодикарбоновых кислот (Asp, Glu)  $\approx 3$ ,  
 $pI$  диаминомонокарбоновых кислот (His, Lys, Arg)  $\approx 8-11$ .**

**Если  $pH$  меньше  $pI$ , АК имеет положительный заряд и движется к катоду. Если  $pH$  больше  $pI$ , АК имеет отрицательный заряд и движется к аноду. Диполярные ионы не перемещаются в электрическом поле.**

*$\alpha$ -Аминокислоты, строение, номенклатура, изомерия*

**На этом основано разделение  $\alpha$ -аминокислот методом электрофореза.**

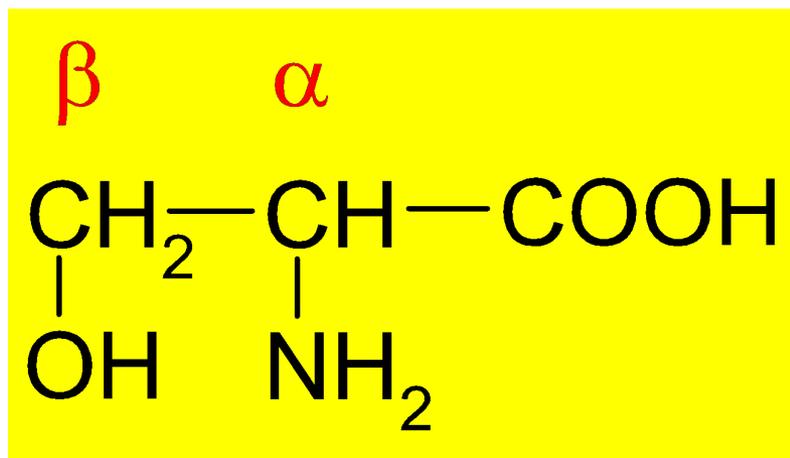


*α-Аминокислоты, строение, номенклатура, изомерия*

**In vivo при физиологических значения  $pH=7,34-7,36$  α-аминокислоты и белки находятся в анионной форме, отрицательный заряд которой уравнивается катионами натрия и калия.**

# Номенклатура

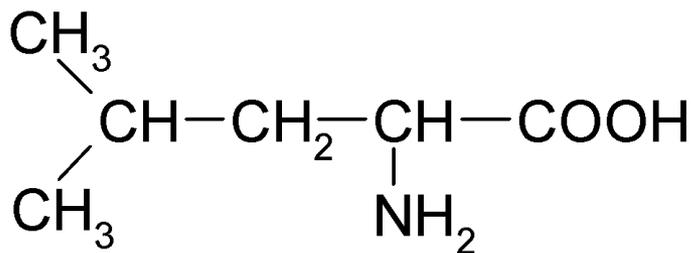
Названия  $\alpha$ -аминокислот строятся по рациональной и заместительной номенклатуре ИЮПАК, но обычно используются их тривиальные названия:



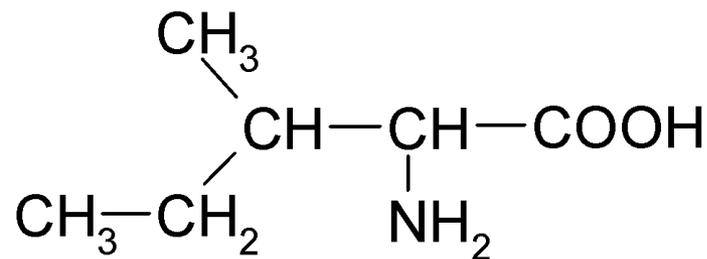
*$\alpha$ -амино- $\beta$ -гидроксипропионовая кислота*  
2-амино-3-гидроксипропановая кислота  
серин

# Изомерия

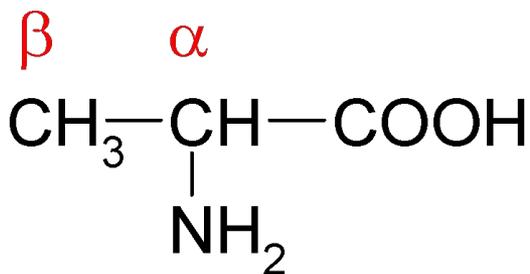
## Структурная изомерия



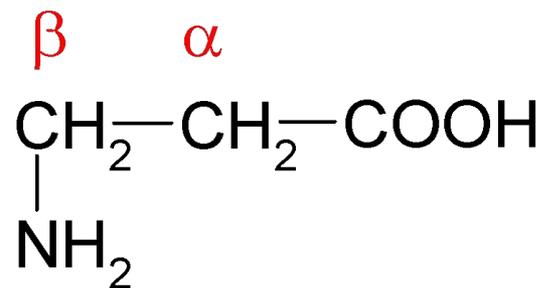
*лейцин*



*изолейцин*



*аланин*



*$\beta$ -аланин*

## Сtereoизомерия

**$\alpha$  - Аминокислоты - хиральные соединения, обладающие оптической активностью.**

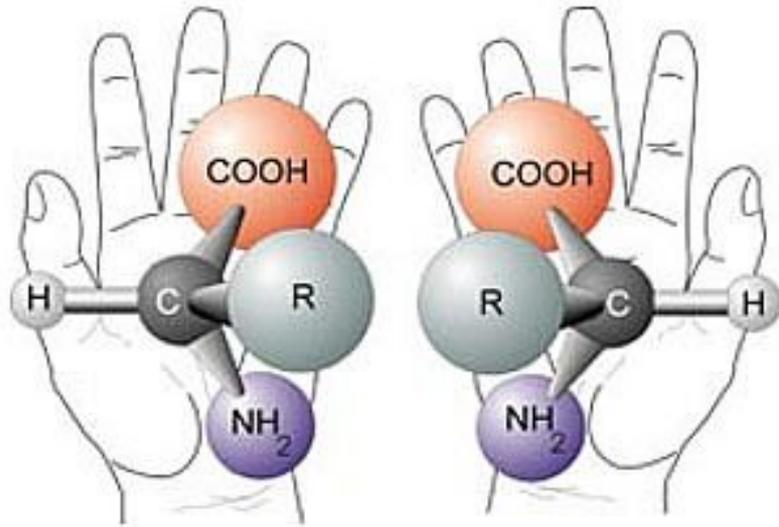
**Исключение составляет глицин:**



**Зеркало Венеры, 1898,  
Edward Jones.**

**Все объекты на этой  
картине имеют зеркальные  
отображения.**

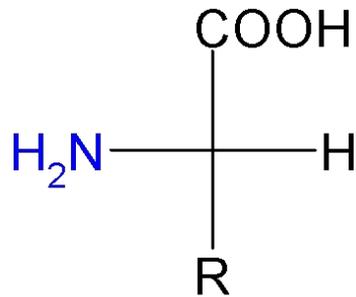
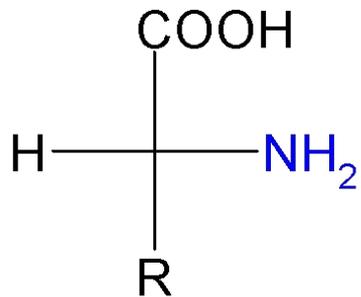
## Стереοизомерия



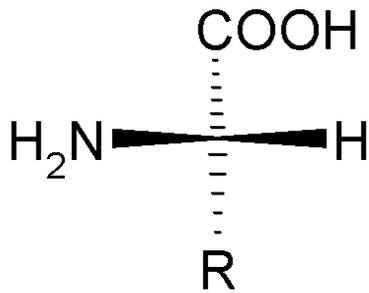
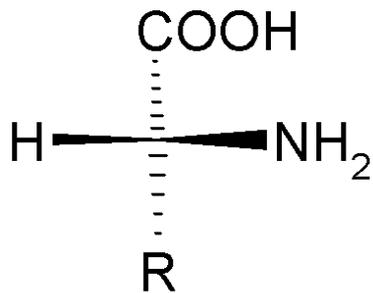
Относительная конфигурация  $\alpha$ -аминокислот определяется по положению  $-\text{NH}_2$  группы у  $\alpha$ -углеродного звена. Расположение аминогруппы слева соответствует L-, справа – D-конфигурации.

*Почти все природные  $\alpha$ -аминокислоты принадлежат к L-ряду.*

*Стереοизомерия*



**Формулы Фишера**

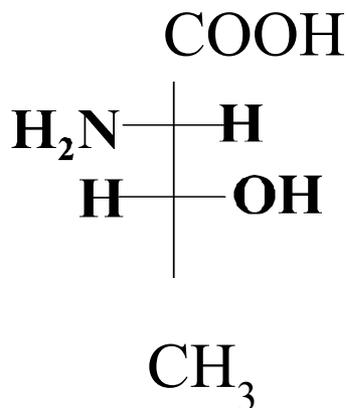


**Формулы с  
КЛИНОВИДНЫМИ  
СВЯЗЯМИ**

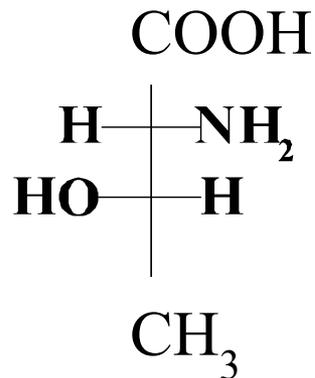
**D-аминокислота**

**L-аминокислота**

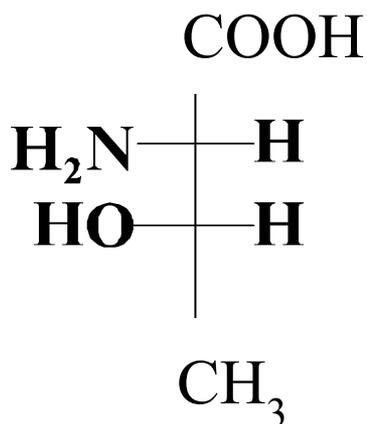
*Аминокислоты, строение, номенклатура, изомерия, классификация*



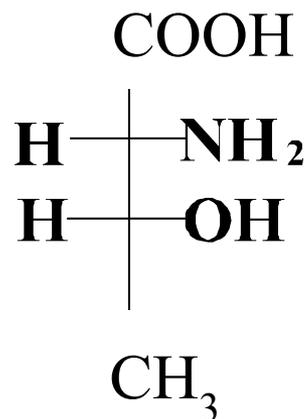
**L - треонин**



**D - треонин**



**L - алло-треонин**



**D - алло-треонин**

**В состав белков входит L - треонин.**

## **Физические свойства**

**$\alpha$ -Аминокислоты - кристаллические вещества. Имеют высокие температуры плавления (выше  $200^{\circ}\text{C}$ ), нелетучие, растворимые в воде и нерастворимые в неполярных органических растворителях.**

***Способность  $\alpha$ -аминокислот растворяться в воде является важным фактором обеспечения их биологического функционирования - с нею связаны всасываемость  $\alpha$ -аминокислот, их транспорт в организме и т.п.***

## Химические свойства

$\alpha$ -Аминокислоты - амфотерные соединения.

### I. Реакции по группе -COOH

#### 1. Солеобразование:

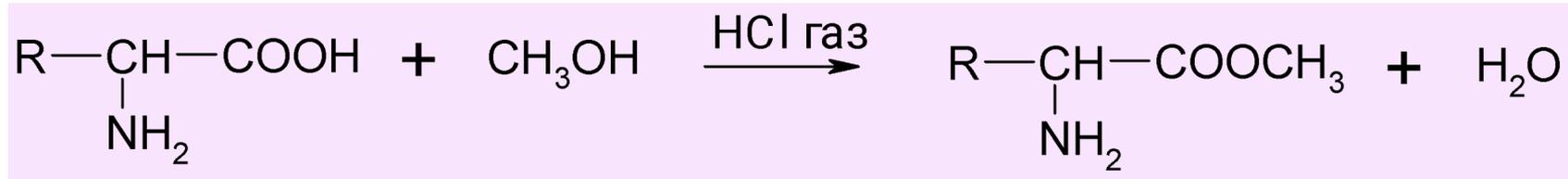


*аланин*

*2-аминопропионат натрия*

Реакции по группе -COOH

## 2. Реакция этерификации

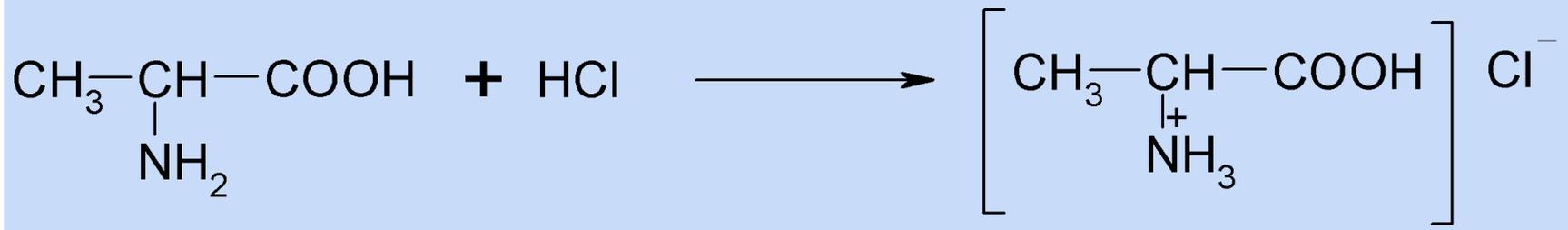


Метилловый эфир аминокислоты

**Используется для защиты карбоксильной группы  
в синтезе пептидов**

## II. Реакции по группе –NH<sub>2</sub>:

### 1. Солеобразование



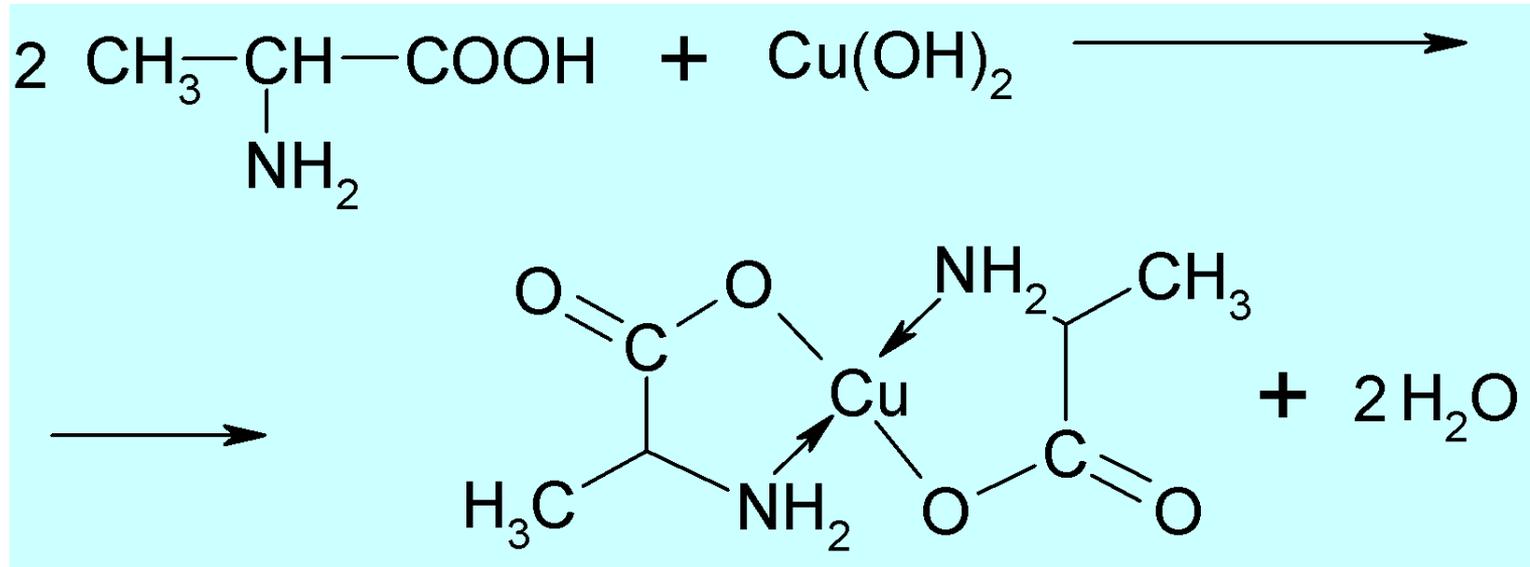
*аланин*

*гидрохлорид  
аланина*

## Химические свойства

Реакции по группе  $-NH_2$ :

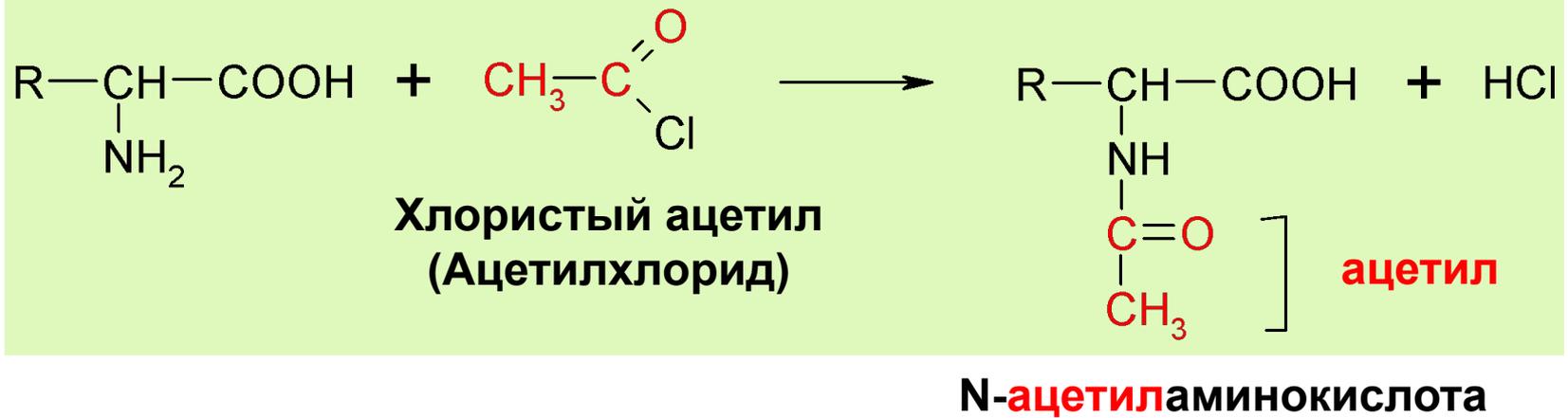
### Взаимодействие с $Cu(OH)_2$



**Хелатная соль меди**

Реакции по аминогруппе

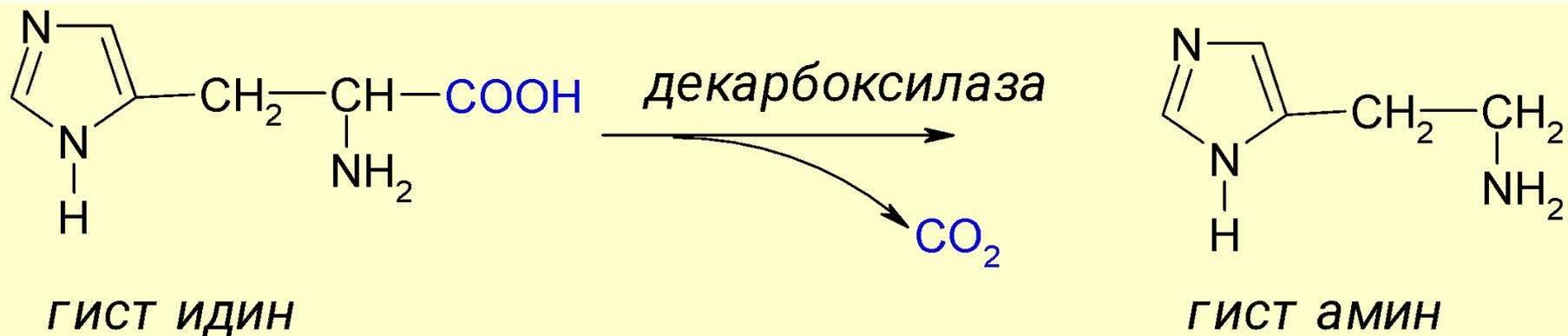
## 2.Ацилирование



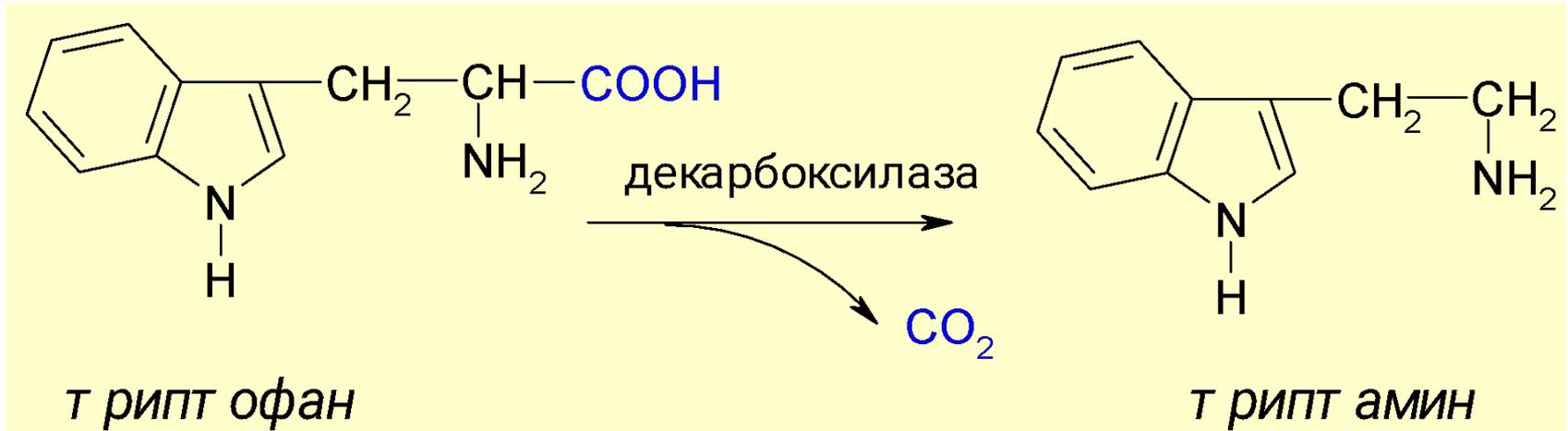
## II. Биологически важные химические реакции:

### 1. Декарбоксилирование - путь образования биогенных аминов из $\alpha$ -аминокислот.

Процесс идет с участием ферментов декарбоксилаз:



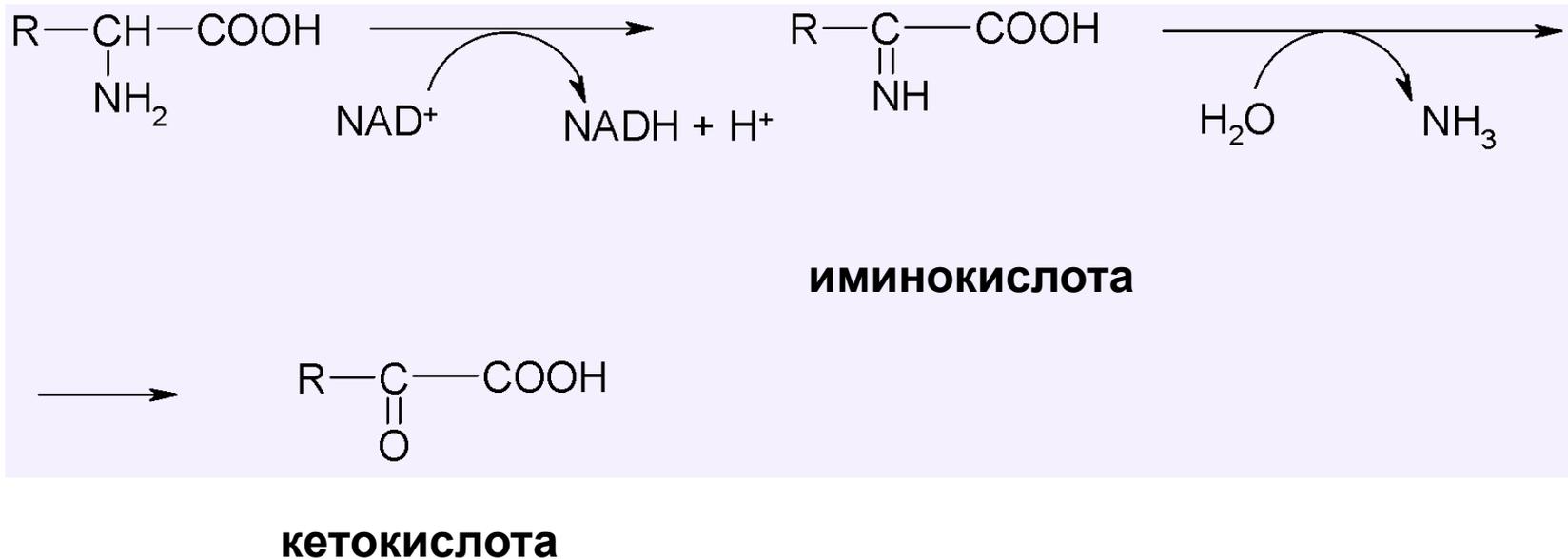
## Декарбоксилирование



**2. Дезаминирование - это реакция удаления аминогруппы путем окислительного, восстановительного, гидролитического или внутримолекулярного дезаминирования.**

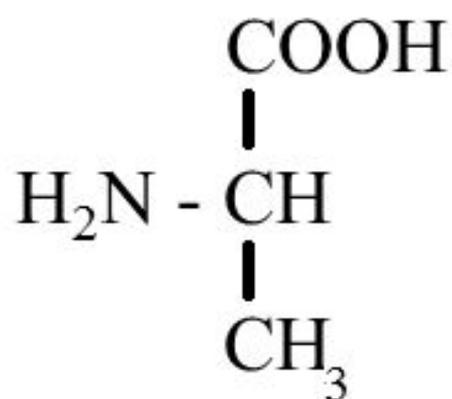
**В организме преобладает путь окислительного дезаминирования: с участием ферментов дегидрогеназ и кофермента - НАД<sup>+</sup>.**

## Окислительное дезаминирование *in vivo*

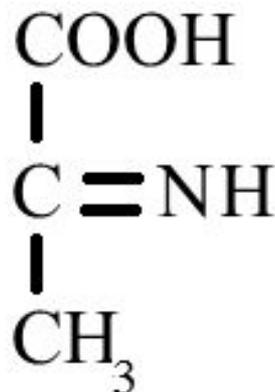
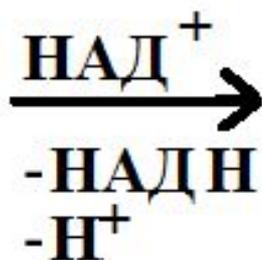


На первой стадии процесса происходит дегидрирование  $\alpha$ -звена с образованием  $\alpha$ -иминокислоты, на второй стадии - ферментативный гидролиз, приводящий к образованию  $\alpha$ -кетокислоты.

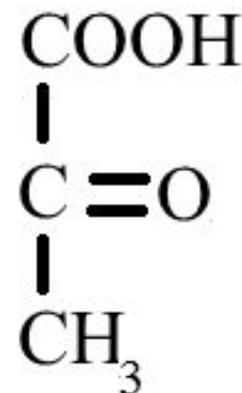
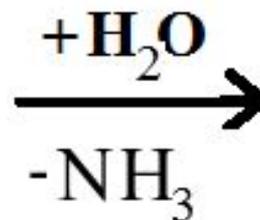
# Дезаминирование



**L-аланин**



**иминокислота**



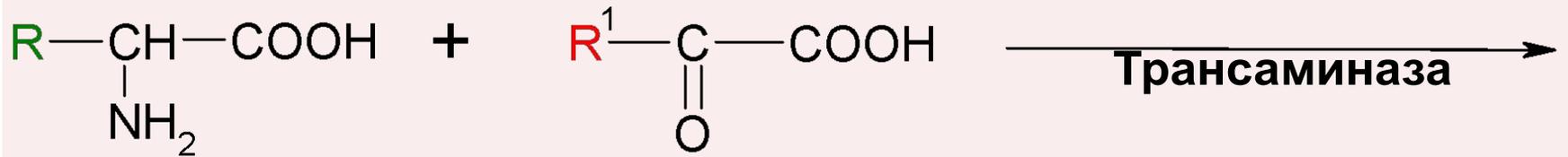
**ПВК**

**3. Трансаминирование (переаминирование) - это путь синтеза необходимых  $\alpha$ -аминокислот из  $\alpha$ -кетокислот.**

При этом донором аминогруппы является  $\alpha$ -АК, находящаяся в избытке, а акцептором аминогруппы  $\alpha$ -кетокислоты (ПВК, ЩУК,  $\alpha$ -кетомасляная кислота).

Процесс происходит с участием фермента - трансаминазы и кофермента пиридоксальфосфата.

## Трансаминирование



Аминокислота I

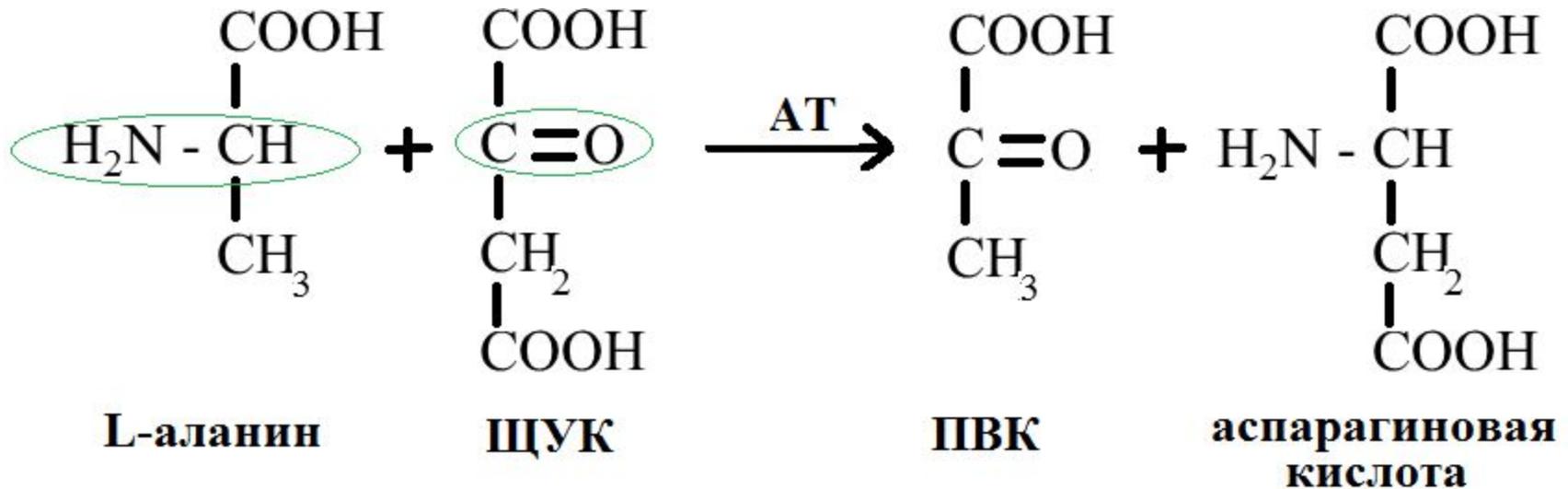
Кетокислота I



Кетокислота II

Аминокислота II

## Трансаминирование



**Процесс трансаминирования связывает обмен белков и углеводов в организме, регулирует содержание и синтез заменимых α-аминокислот.**

## *Пептиды и белки*

**Пептиды (греч. πτεπτος — питательный) и белки - биополимеры, построенные из α-аминокислот.**

**Пептиды содержат до 100, белки свыше 100, олигопептиды - не более 10 аминокислотных остатков. Молекулярная масса пептидов до 10000, белков от 10000 до нескольких миллионов.**

# Функции белков

- 1. Ферментативная
- 2. Структурная
- 3. Питательная
- 4. Защитная функция
- 5. Транспортная
- 6. Регуляторная
- 7. Запасающая
- 8. Двигательная

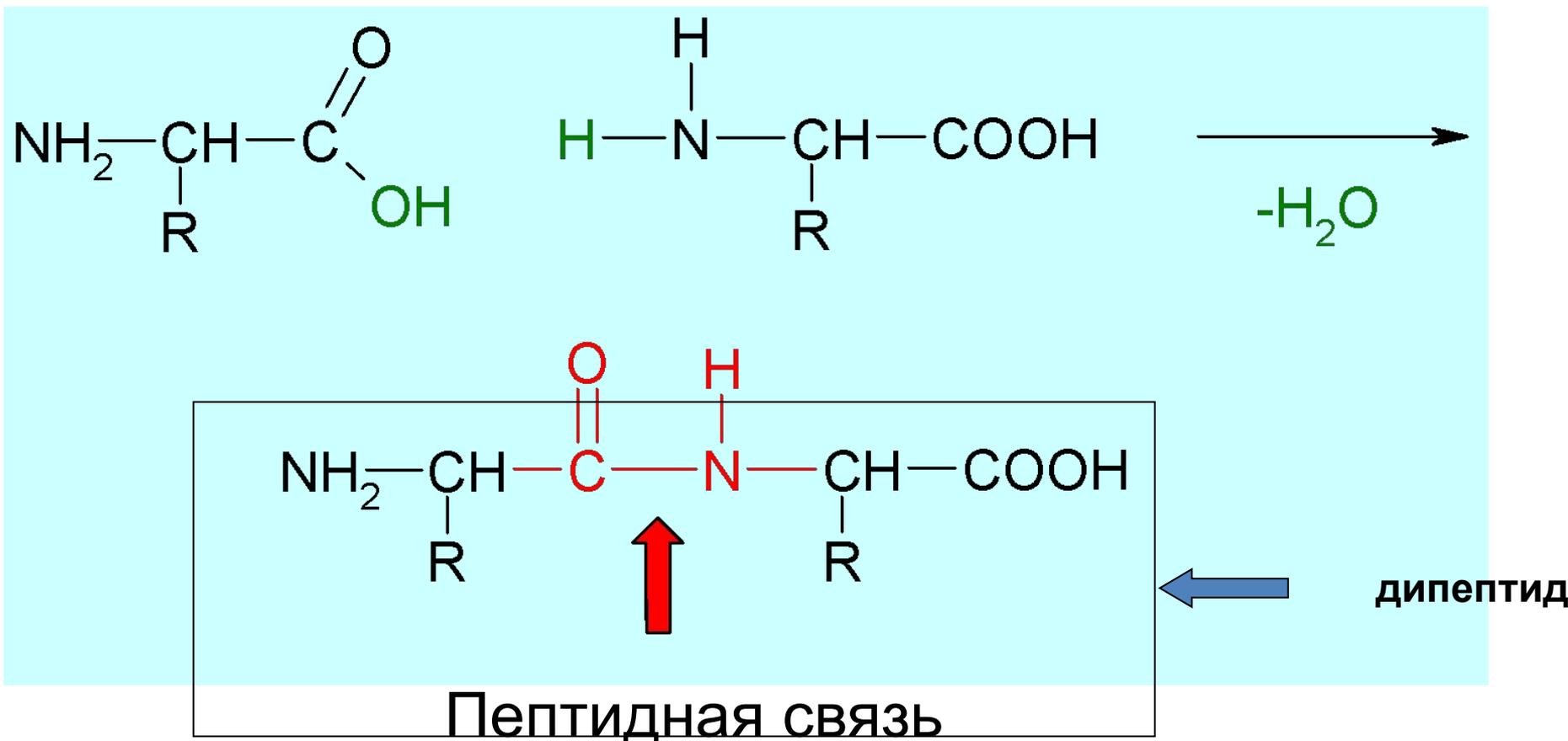
# Классификация пептидов и белков

**II. По составу белки делят на простые (неконъюгированные) и сложные (конъюгированные). Сложные белки состоят из белковой и небелковой простетической группы.**

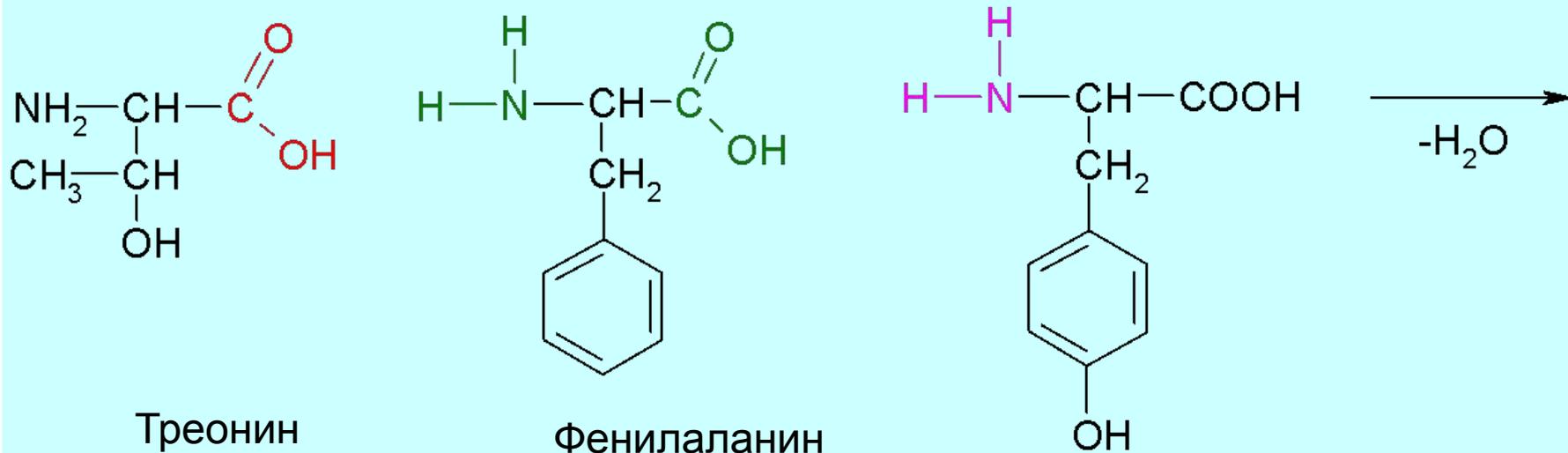
**По ряду характерных свойств простые белки можно разделить на несколько подгрупп: альбумины, глобулины, гистоны, протамины, проламины, склеропротеины.**

**К сложным белкам относятся: фосфопротеины, нуклеопротеины, хромопротеины, гликопротеины, липопротеины.**

# Схема образования пептидов



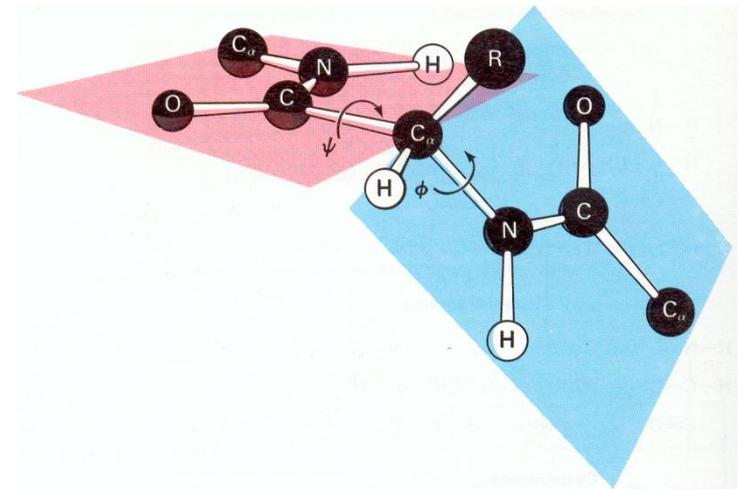
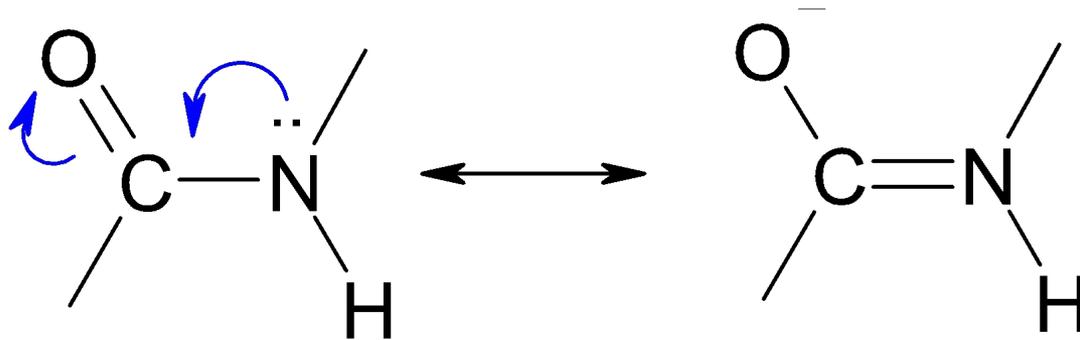
## Образование пептидов



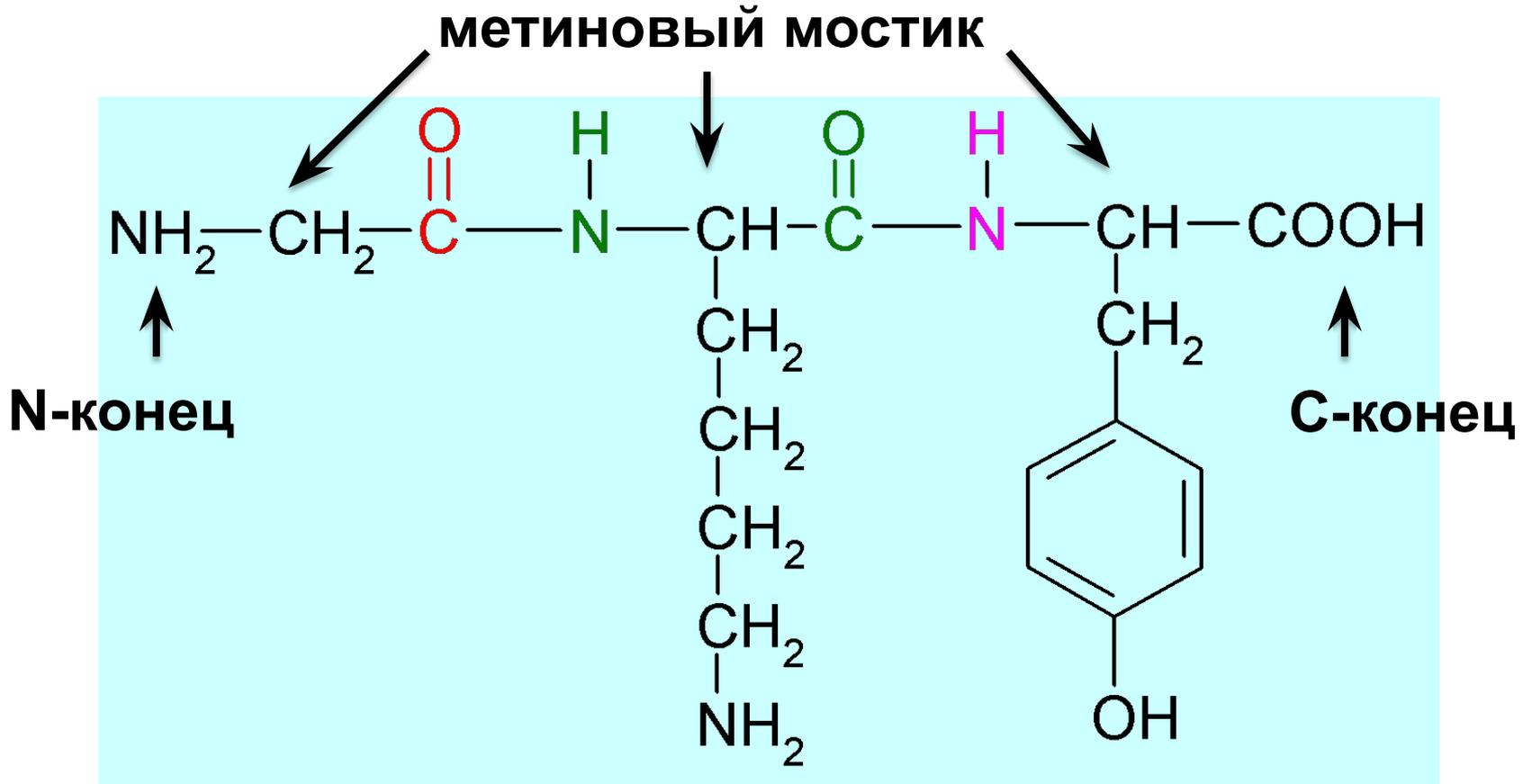
**Названия пептидов строятся путём последовательного перечисления аминокислотных остатков, начиная с N-конца, с добавлением суффикса -ил, кроме последней C-концевой аминокислоты, для которой сохраняется её полное название. Для остатка аспарагиновой кислоты используется название аспартил.**

# Пространственное строение амидной группы

1. Пептидная группа относится к  $p, \pi$ -сопряженной системе. Все атомы лежат в одной  $\sigma$ -плоскости.
2. За счет образования единого делокализованного  $4p$ -электронного облака вращение вокруг  $C-N$  связи затруднено.

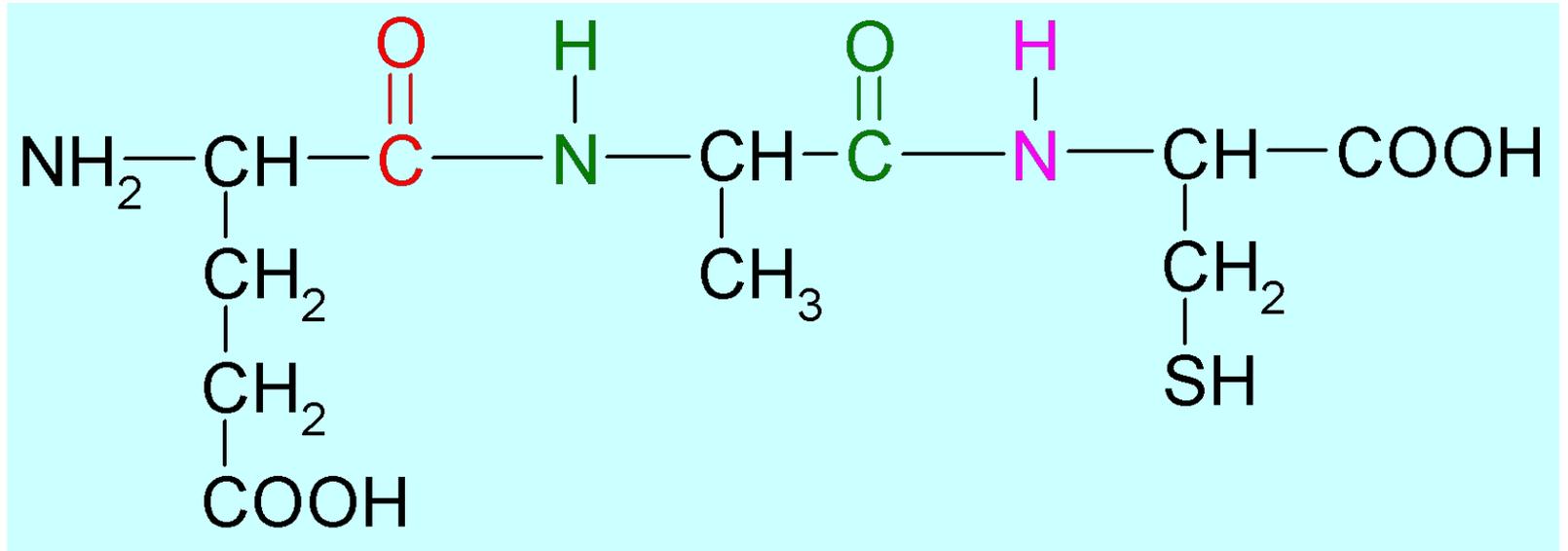


Трипептид



**Глицил-лизил-тирозин**

Трипептид:



Глутамил-аланил-цистеин

## Изоэлектрическая точка белка (pI)

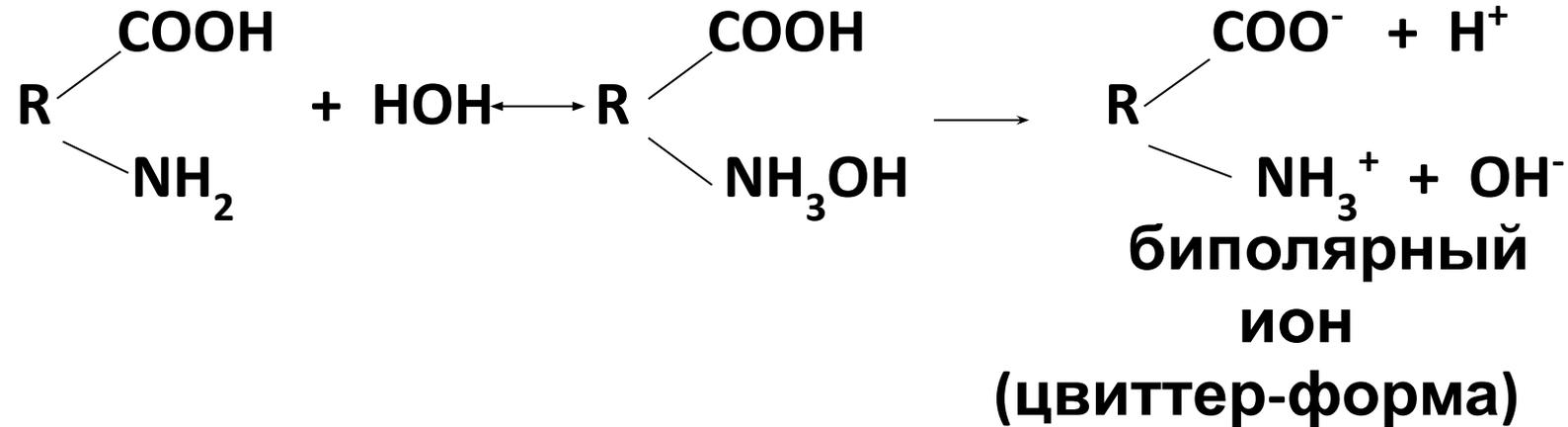
Молекула белка имеет электрический заряд.

В нейтральной среде заряд белковой молекулы определяется соотношением количества свободных групп  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{SH}$  и  $-\text{NH}_2$  и степенью их диссоциации.

*Изоэлектрическая точка белка (pI)*

**Схематично диссоциацию (с учетом гидратации)**

**можно представить в виде:**



## *Изоэлектрическая точка белка*

**Чем больше  $-COOH$ ,  $-OH$ ,  $-SH$  групп, тем выше отрицательный заряд, и белок будет проявлять свойства слабой кислоты.**

**Преобладание  $-NH_2$ -групп сообщает белку основные свойства и положительный заряд.**

***В сильнокислой среде белок заряжается положительно, в сильнощелочной отрицательно.***

# Химические свойства пептидов и белков

1. Аминокислоты, пептиды и белки являются амфотерными соединениями, содержащими и кислотные группы ( $-\text{COOH}$ ) и основные группы ( $-\text{NH}_2$ ).

## II. По месту пептидных связей молекулы белков гидролизуются:

а) *in vivo* с участием ферментов - пептидаз. Среди пептидаз выделяют:

- эндопептидазы, расщепляющие связи внутри макромолекулы;
- экзопептидазы, отщепляющие N- или C- концевую  $\alpha$ -аминокислоту.

*В организме белки расщепляются полностью, т.к. для жизнедеятельности необходимы только свободные  $\alpha$ -аминокислоты.*

**б) Гидролиз in vitro происходит в сильнокислой или сильнощелочной среде и используется для расшифровки состава белков. В настоящее время расшифрован состав 1500 белков, в том числе ферментов и гормонов.**

# Цветные реакции

## *Биуретовая реакция*

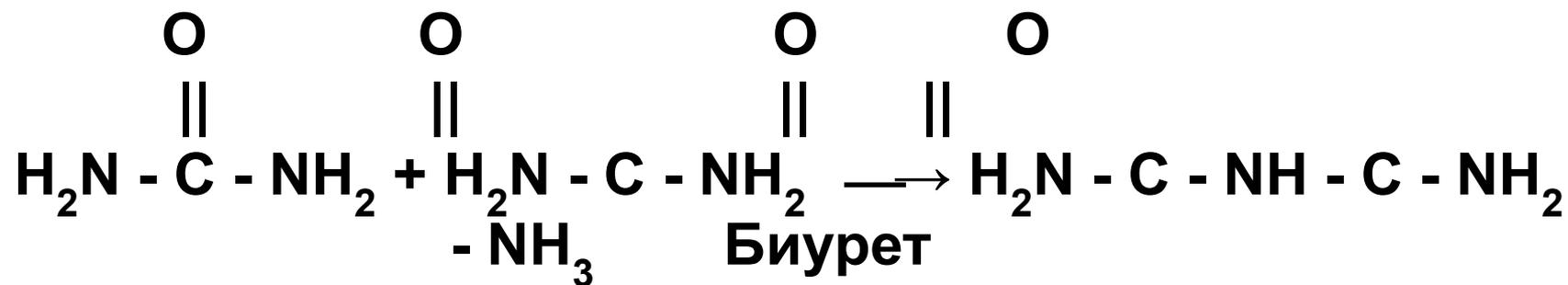
В реакцию вступают все пептиды и белки, содержащие не менее двух пептидных связей. Реактив - свежеприготовленный раствор гидроксида меди (II). Наблюдается характерное фиолетовое окрашивание. Пептиды и белки реагируют аналогично биурету.



## Химические свойства пептидов и белков

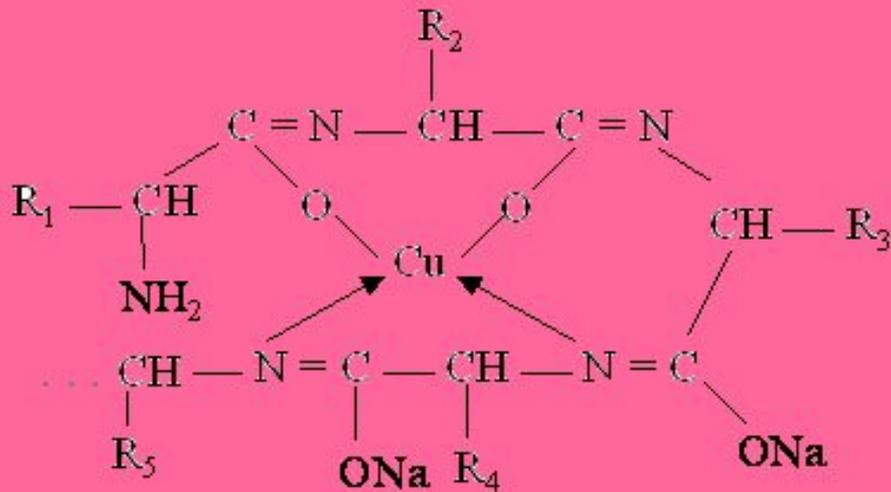
### Биуретовая реакция

**Биурет образуется из мочевины при медленном нагревании до температуры 150 - 160° С.**



## Биуретовая реакция

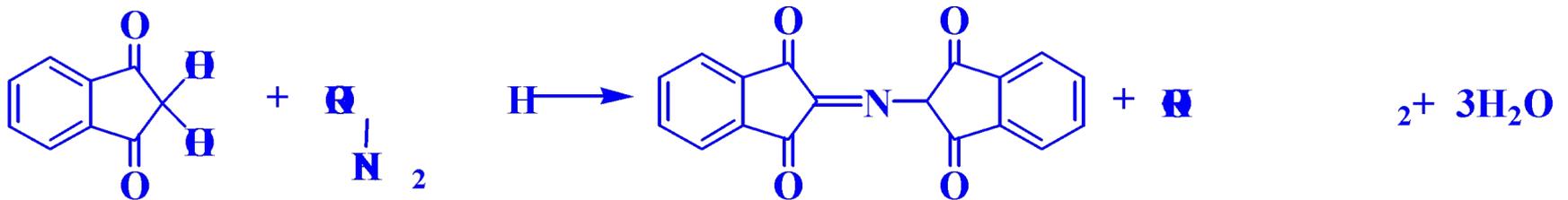
При взаимодействии пептидов в щелочных растворах с ионами меди (II) образуется хелатный комплекс



Биуретовый медный комплекс  
фиолетового цвета

## Нингидринная реакция на $\alpha$ - аминокислоты

Реактив - нингидрин. Продукт реакции имеет сине-фиолетовый цвет.

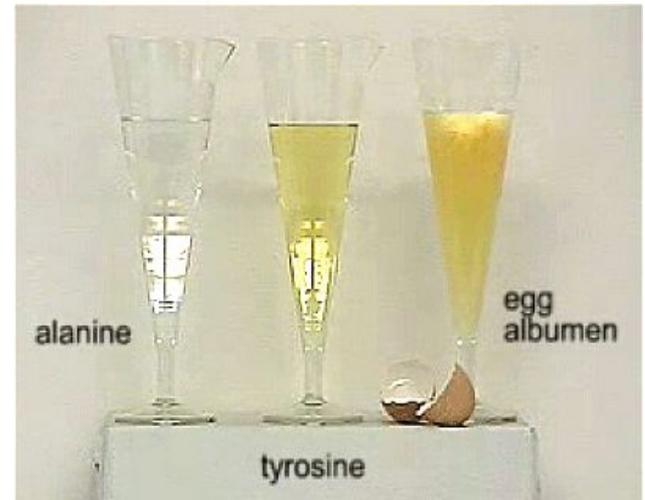
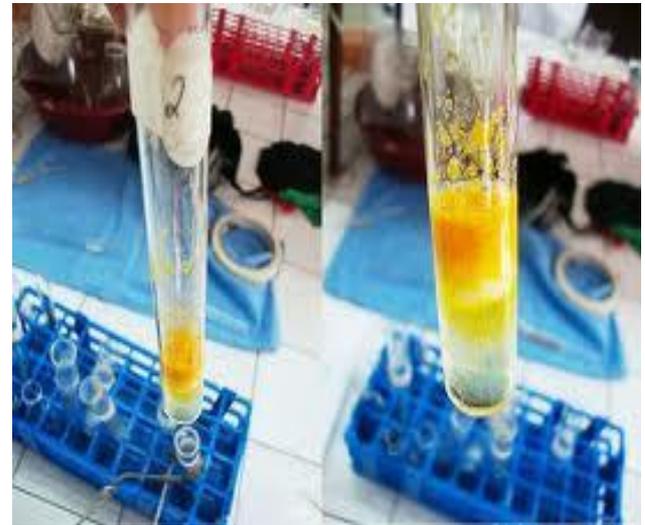


## **Ксантопротеиновая реакция**

**Определяет присутствие в белке ароматических и гетероциклических**

**$\alpha$  - аминокислот:**

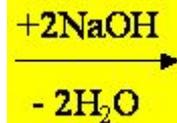
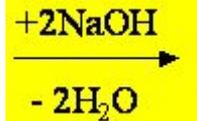
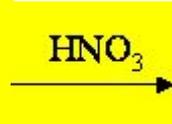
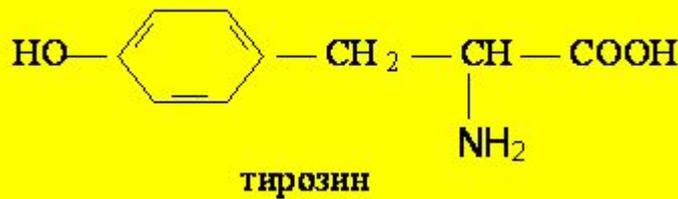
- триптофана,
- фенилаланина,
- тирозина,
- гистидина.



# Химические свойства пептидов и белков

## Ксантопротеиновая реакция

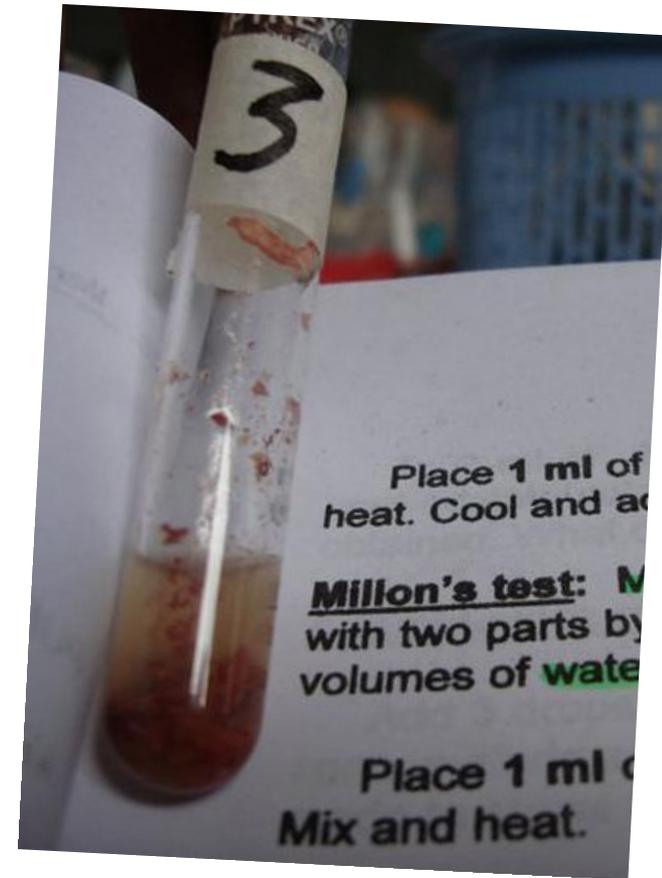
Реактив: конц.  $\text{HNO}_3$



Образуется нитросоединение, окрашенное в желтый цвет. При добавлении к нему щёлочи окраска становится оранжевой.

## Реакция Миллона на тирозин

Реактив Миллона: раствор  $\text{HgNO}_3$  и  $\text{Hg}(\text{NO}_2)_2$  в разбавленной  $\text{HNO}_3$ , содержащей примесь  $\text{HNO}_2$ .



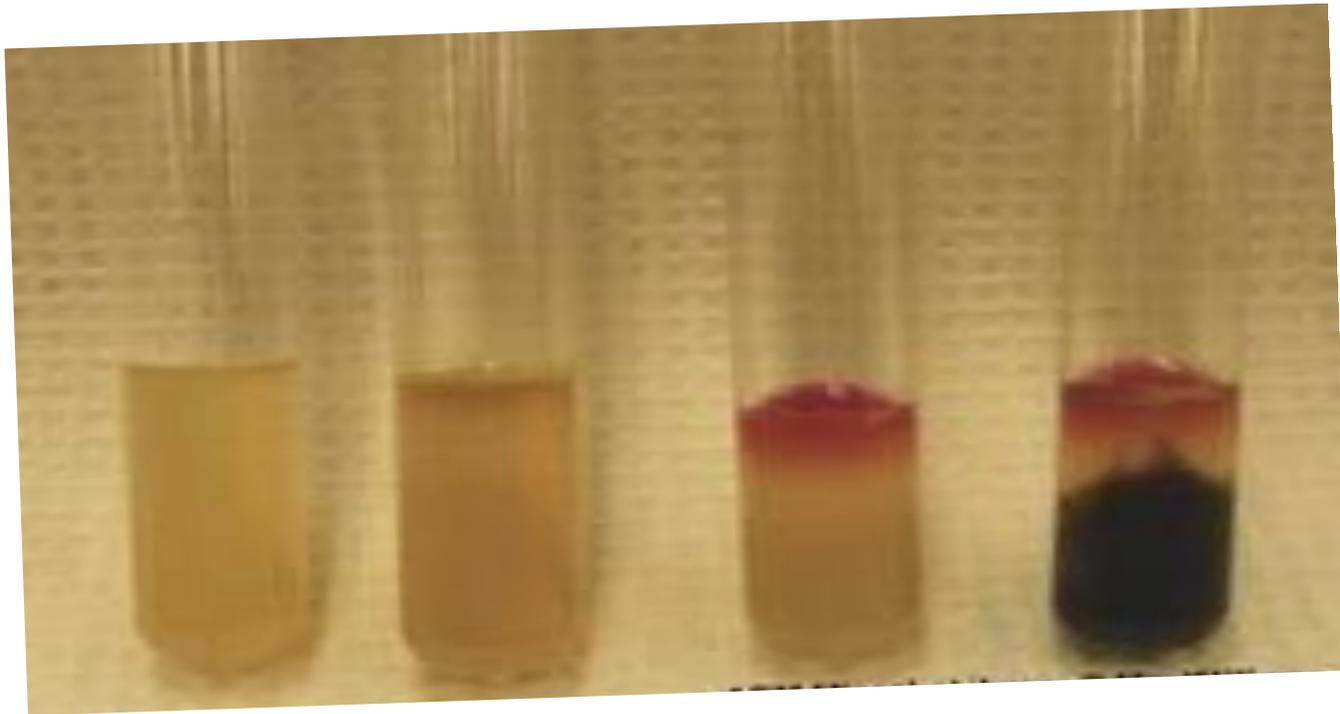
### Реакция Миллона

Реактив Миллона взаимодействует с тирозином с образованием ртутной соли нитропроизводного тирозина, окрашенной в розовато-красный цвет:



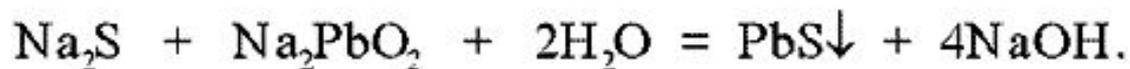
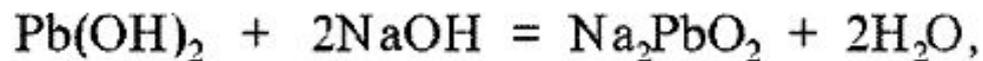
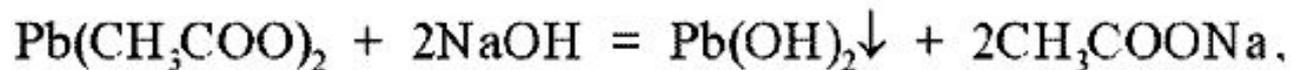
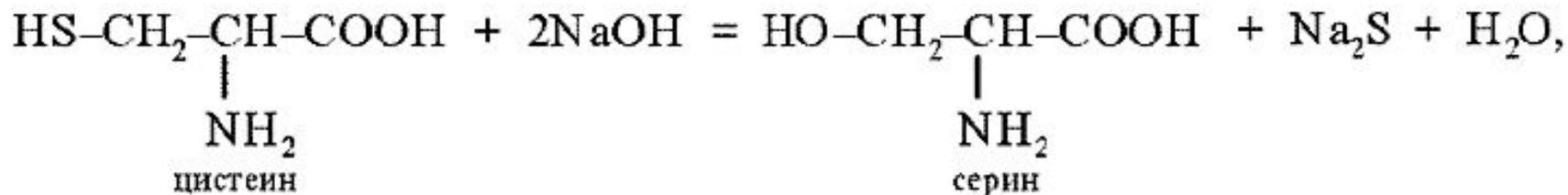
## **Реакция Фоля**

**Это реакция на цистеин и цистин.**

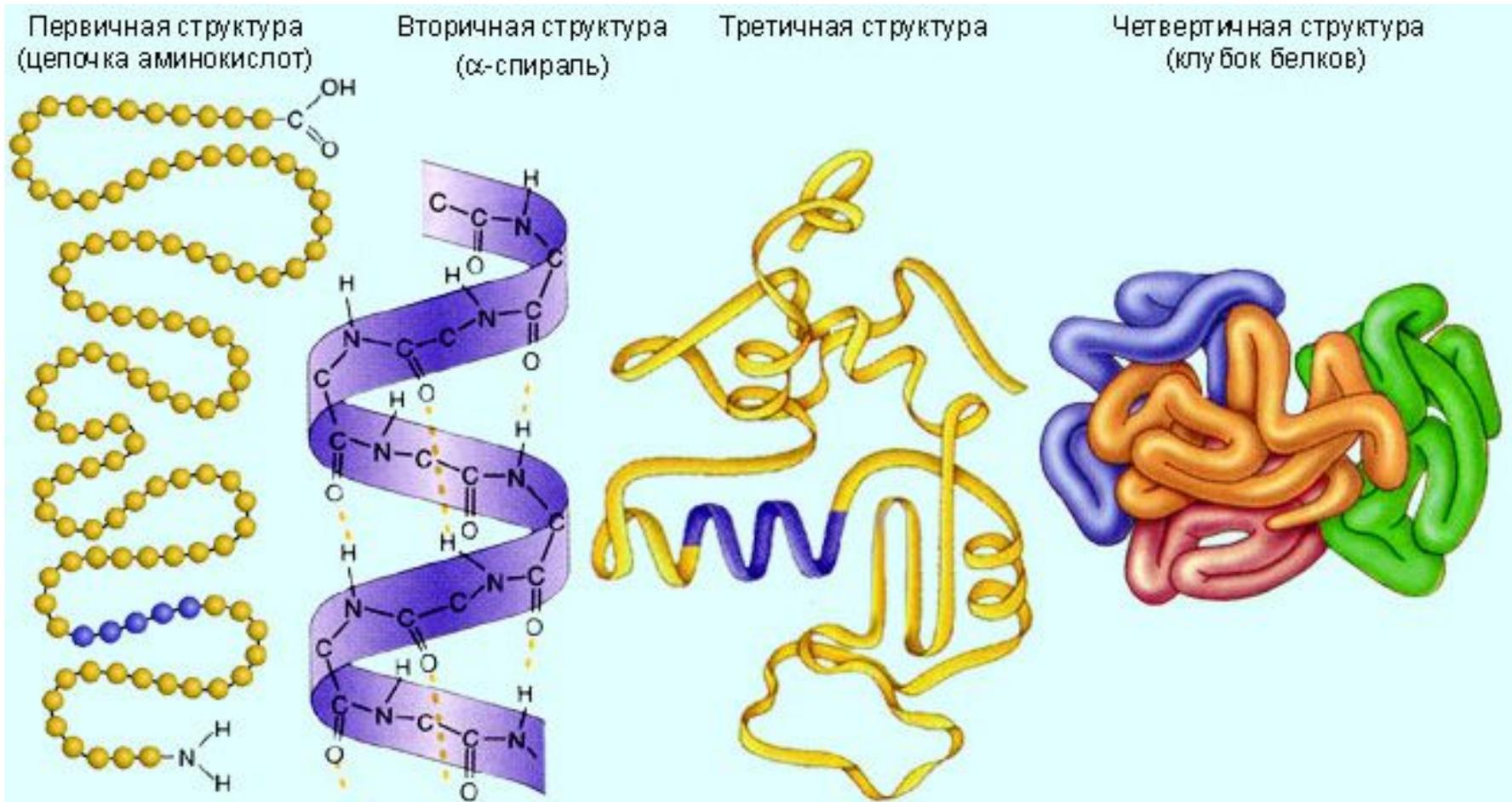


**Реакция Фоля**

При щелочном гидролизе цистеина или цистина образуется сероводород, который, реагируя со щелочью, дает сульфиды натрия или калия. При добавлении ацетата свинца (II) образуется осадок сульфида свинца( II) серо-черного цвета.



# Уровни структурной организации белка



## *Первичная структура*

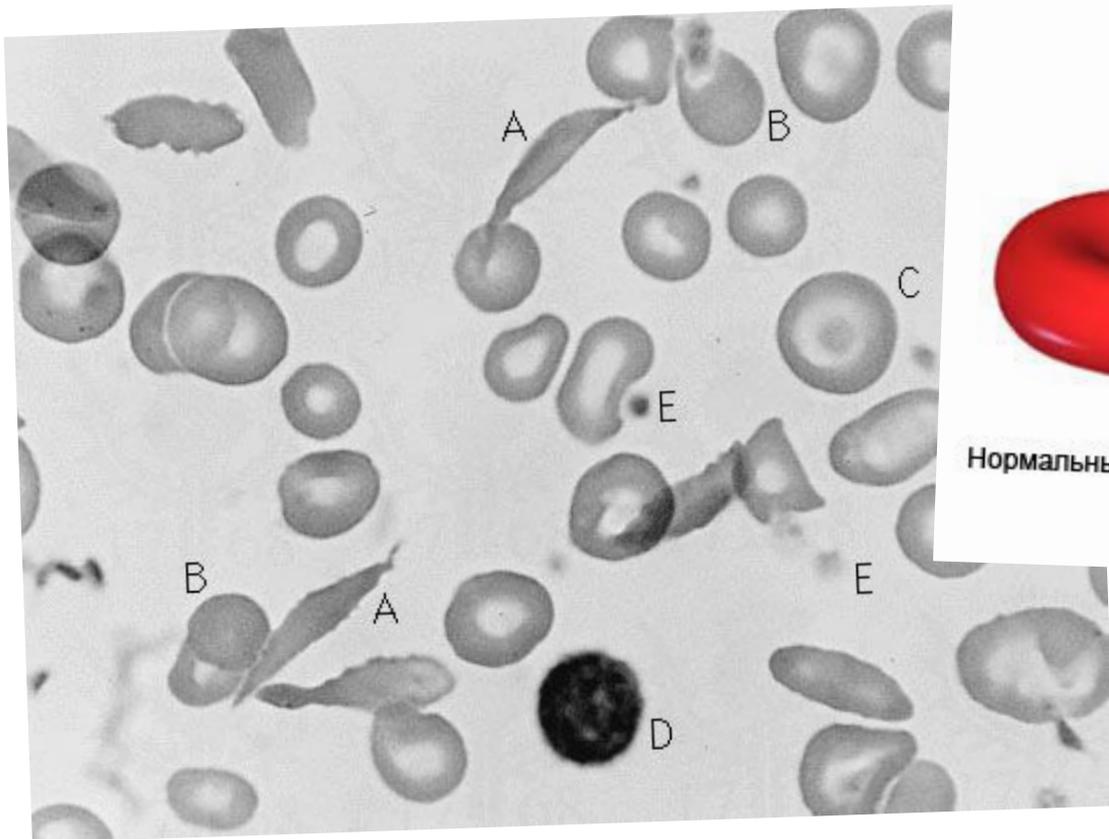
**Первичная структура – последовательность аминокислотных остатков в молекуле белка или пептида:**

**$\text{NH}_2$ -Tyr-Pro-Lys-Gly-Phe-Tyr-Lys-COOH.**

**Первичная структура определяет уровни структурной организации белка.**

## Первичная структура

Замена Глу в шестом положении  $\beta$ -цепи гемоглобина на Вал приводит к серповидно-клеточной анемии (sickle cell anemia).



Нормальный эритроцит



Серповидный эритроцит

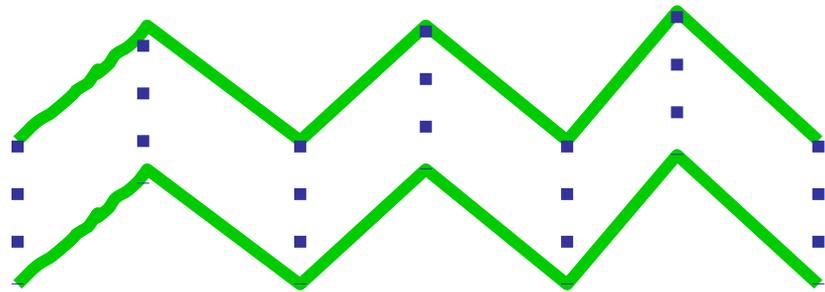
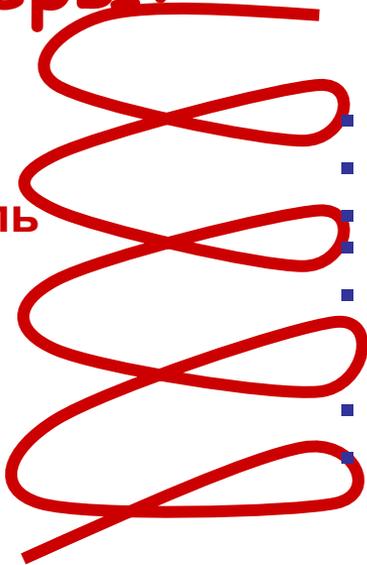


## Вторичная структура

Вторичная структура - локальные высокоупорядоченные конформации белковой цепи - спирали и складчатые слои.

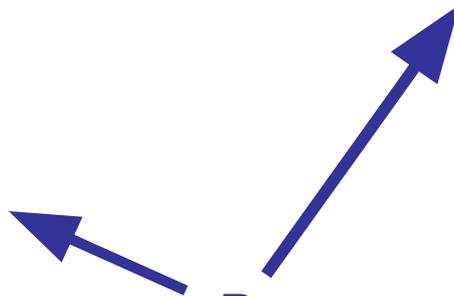
Примеры:

Альфа-спираль



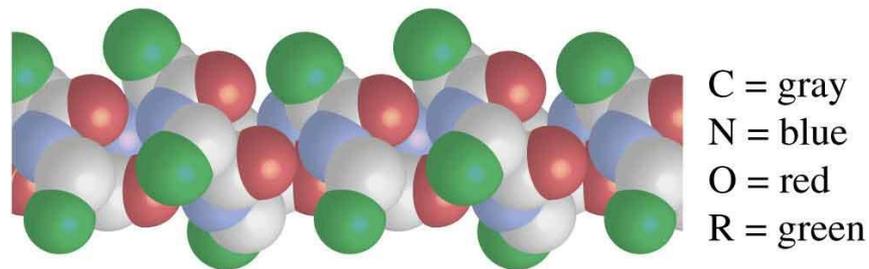
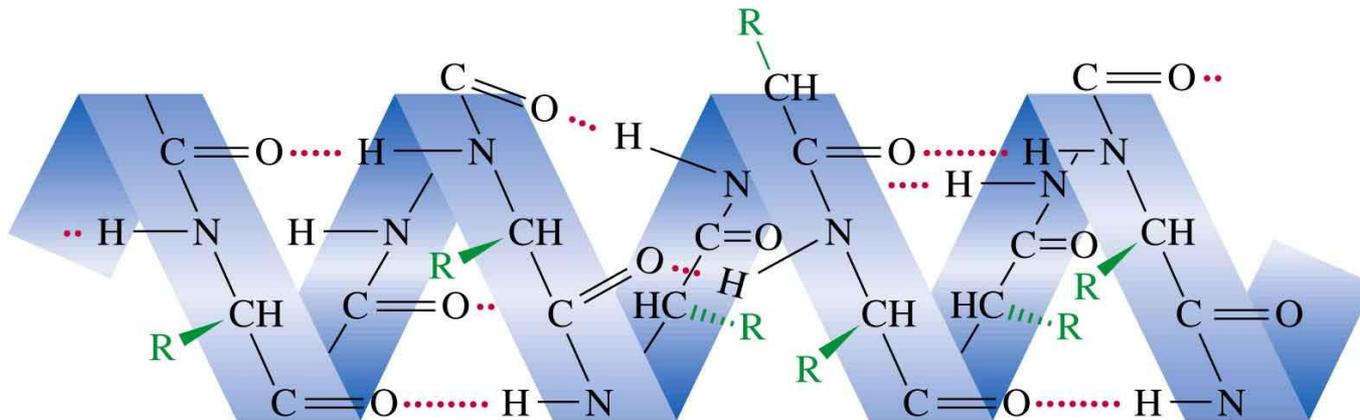
Бета-складчатый лист

Водородные связи



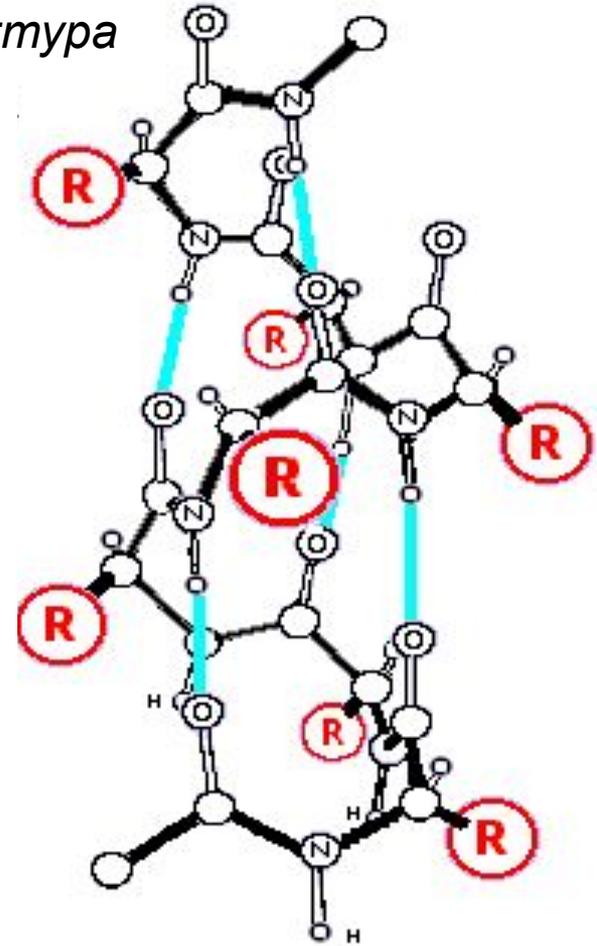
## Вторичная структура

**Правые  $\alpha$ -спирали в полипептидной цепи стабилизируются водородными связями.**

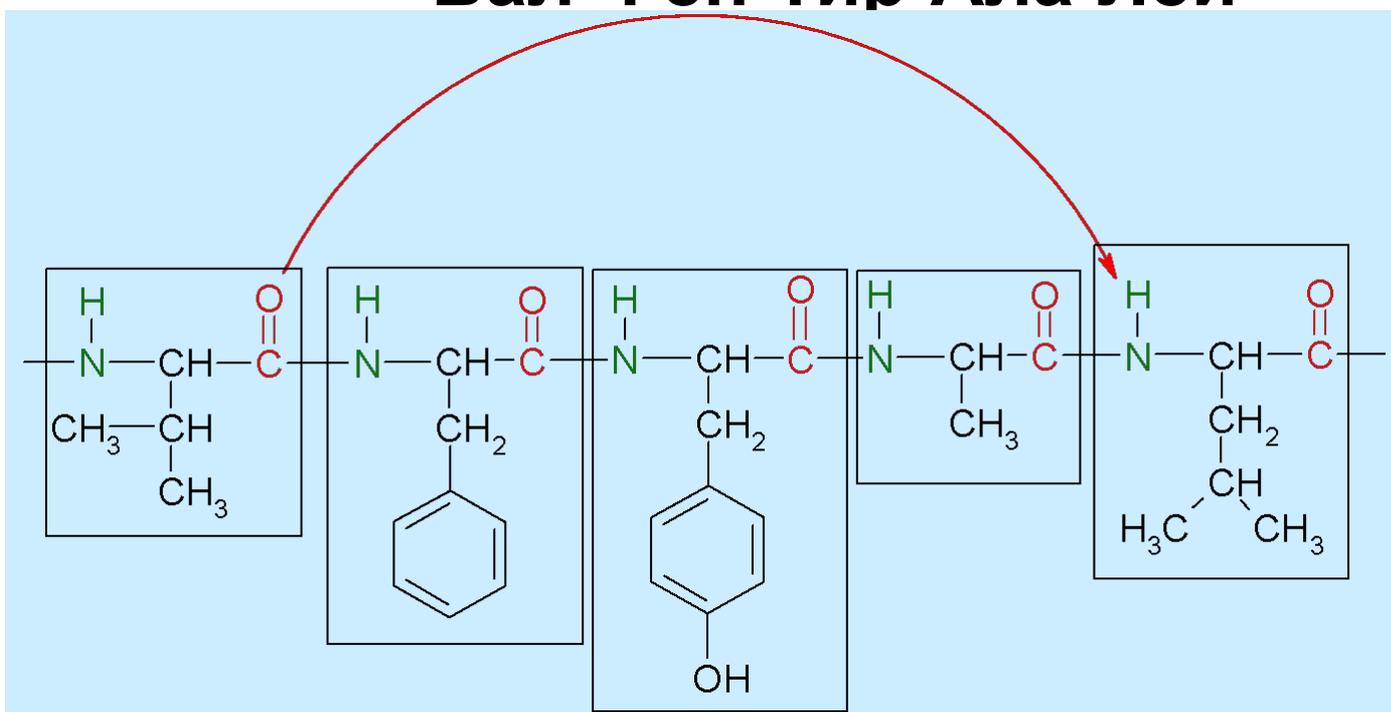


## Вторичная структура

Вторичная структура также стабилизируется дисульфидными мостиками по месту цистеиновых остатков.



# Водородные связи в $\alpha$ -спиралях -Вал-Фен-Тир-Ала-Лей-

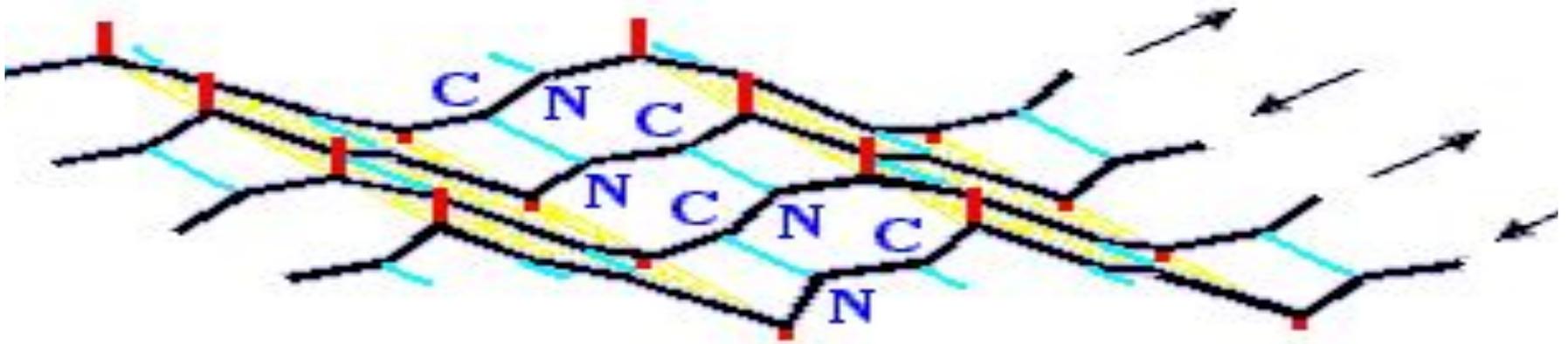


Остатки АК: Первый Второй Третий Четвёртый

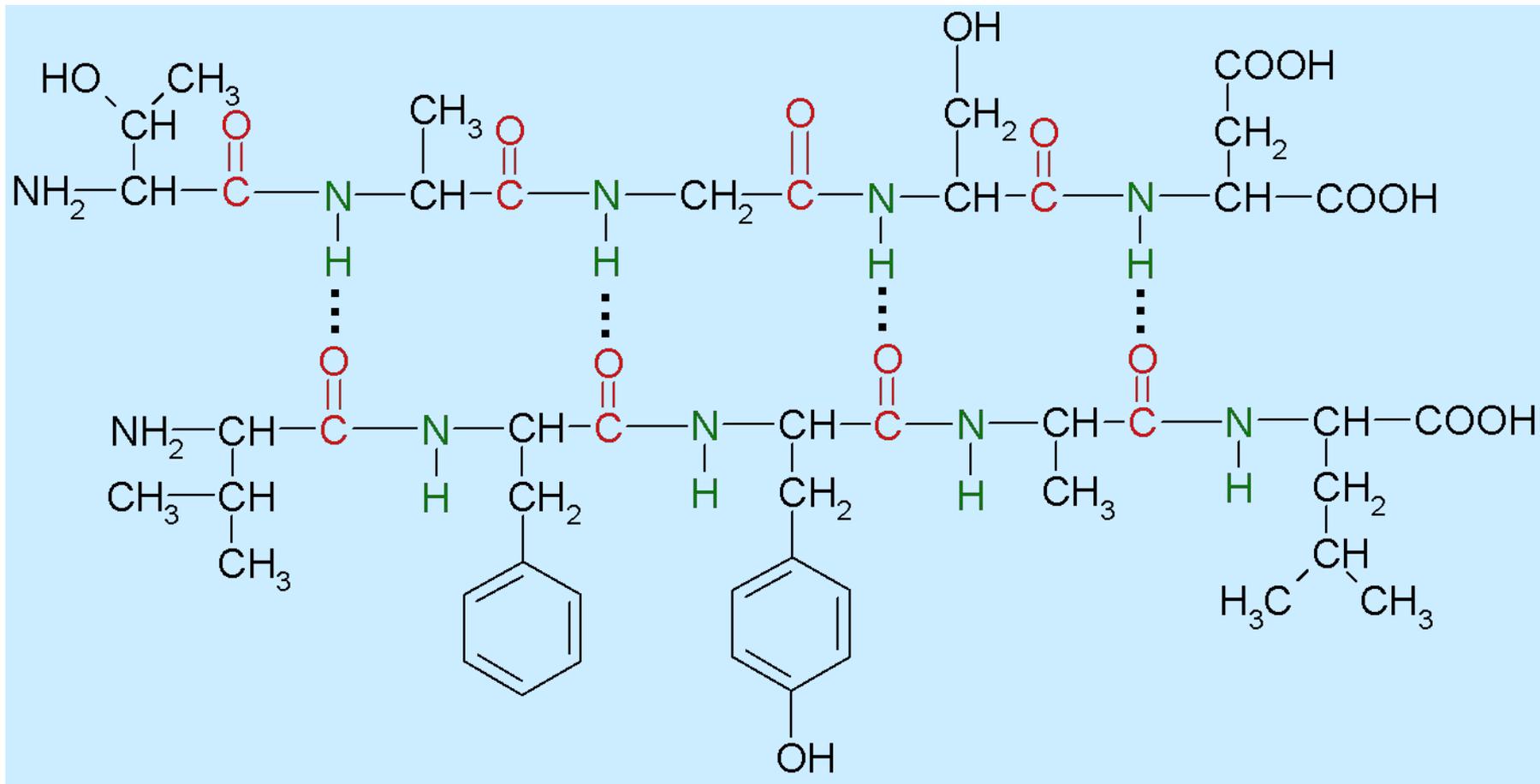
$\alpha$ -спираль –  $4_{13}$  спираль: остаток  $\alpha$ -аминокислоты образует водородную связь с четвёртым по цепи остатком  $\alpha$ -аминокислоты; в образующемся цикле 13 атомов.

*Структура  $\beta$ -складчатых слоев*

**$\beta$ -Структура образуется из нескольких полипептидных цепей связанных водородными связями.**

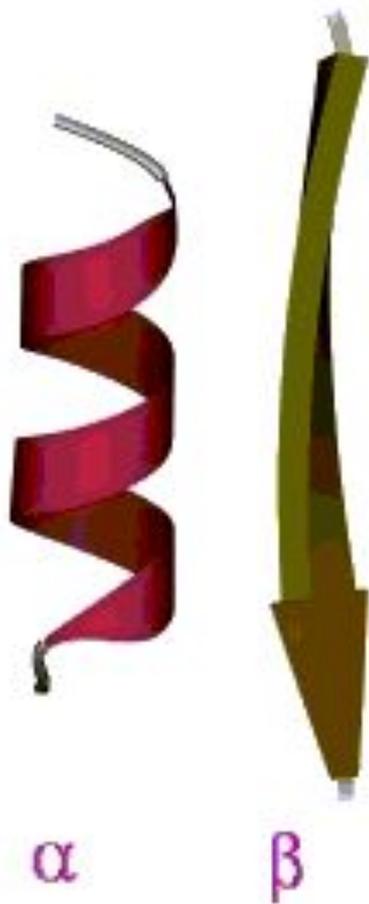


Структура  $\beta$ -складчатых слоев  
Водородные связи



Тре-Ала-Гли-Сер-Асп  
Вал-Фен-Тир-Ала-Лей

## Обозначение вторичной структуры

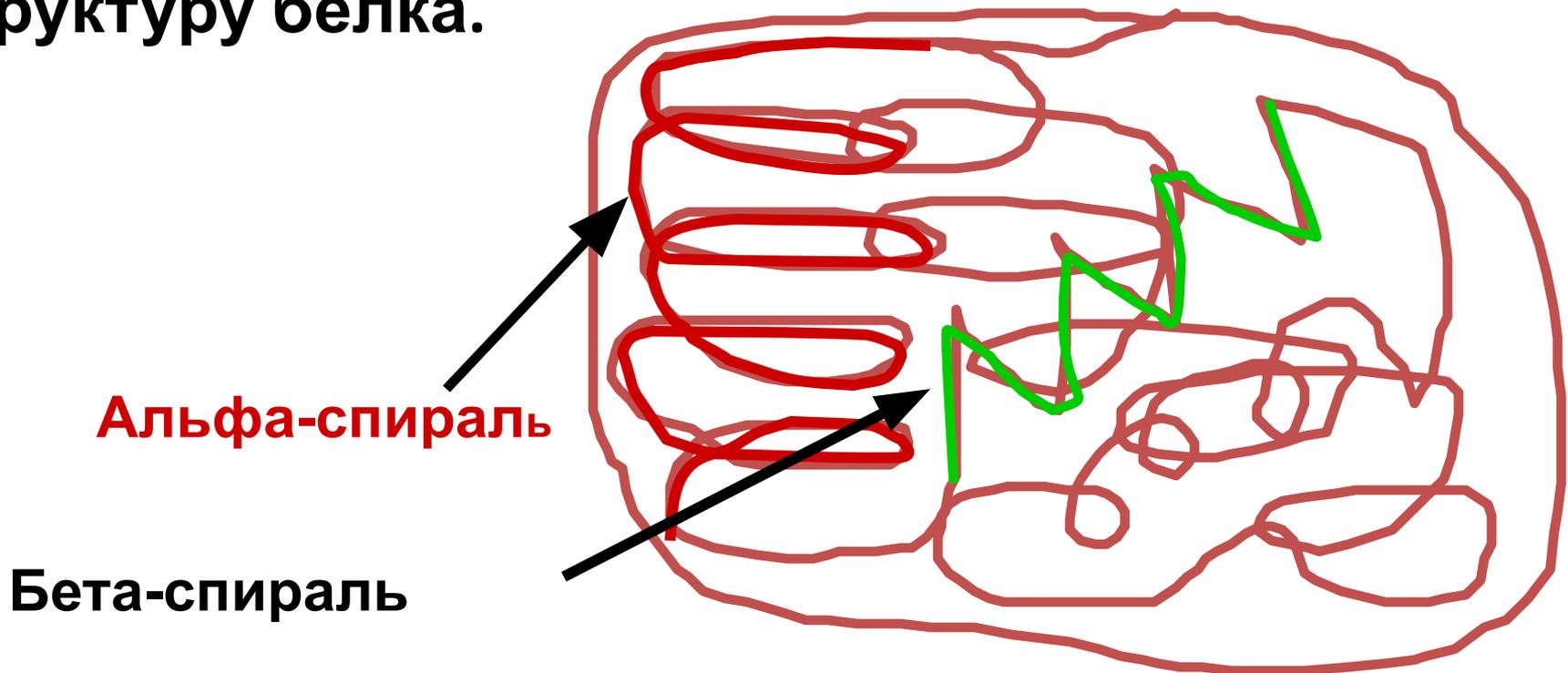


Укладка  $\alpha$ -спиралей и  $\beta$ -структуры с образованием глобулы

# Третичная структура

Третичная структура - форма белковой молекулы; трёхмерная структура белка.

Укладка нерегулярных областей и  $\alpha$  и  $\beta$ -структур в глобулу определяет третичную структуру белка.

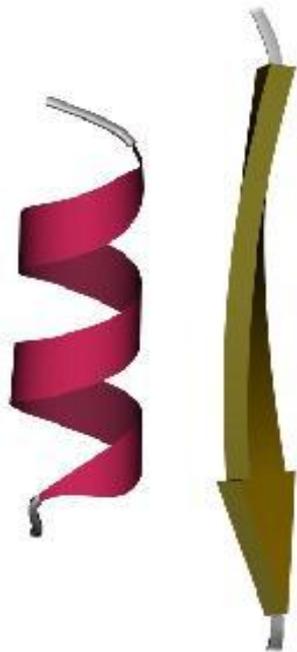


## *Третичная структура*

**$\alpha$ -Аминокислоты в белковой глобуле взаимодействуют за счёт:**

- **Ковалентных связей**  
(дисульфидные  $-S-S-$  связи в цистине)
- **Ионных связей**  
(Глу- $COO^-$   $H_3N^+$ -Лиз)
- **Водородных связей**  
(Глу- $COO^- \dots HO$ -Тир)
- **Гидрофобных взаимодействий**  
(Вал, Лей, Иле, Фен)

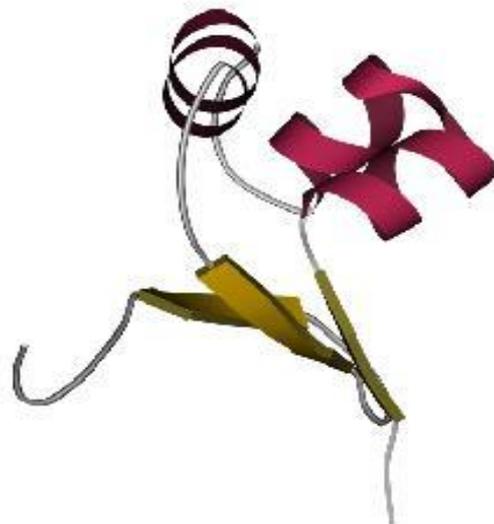
Primary ...- *Gly-Val-Tyr-Gln-Ser-Ala-Ile-Asn...*



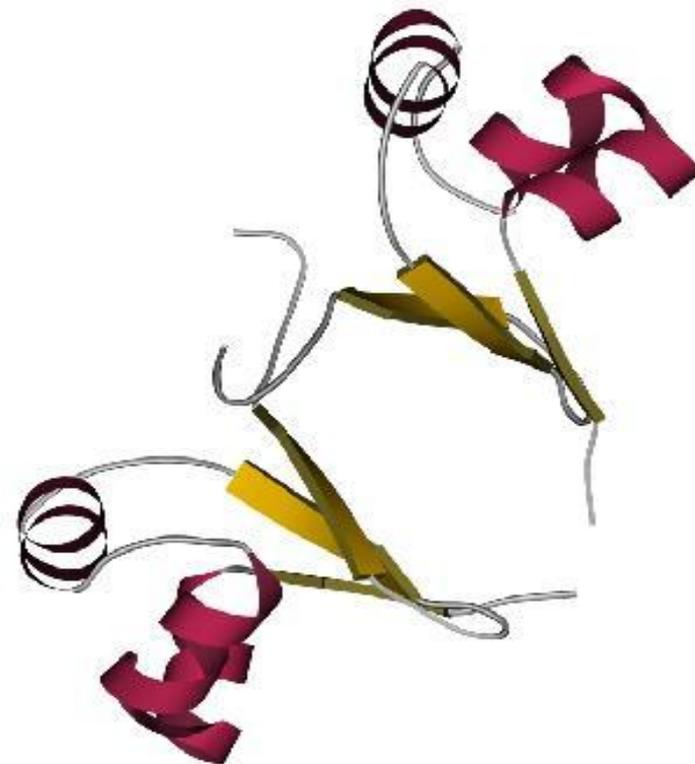
$\alpha$

$\beta$

Secondary

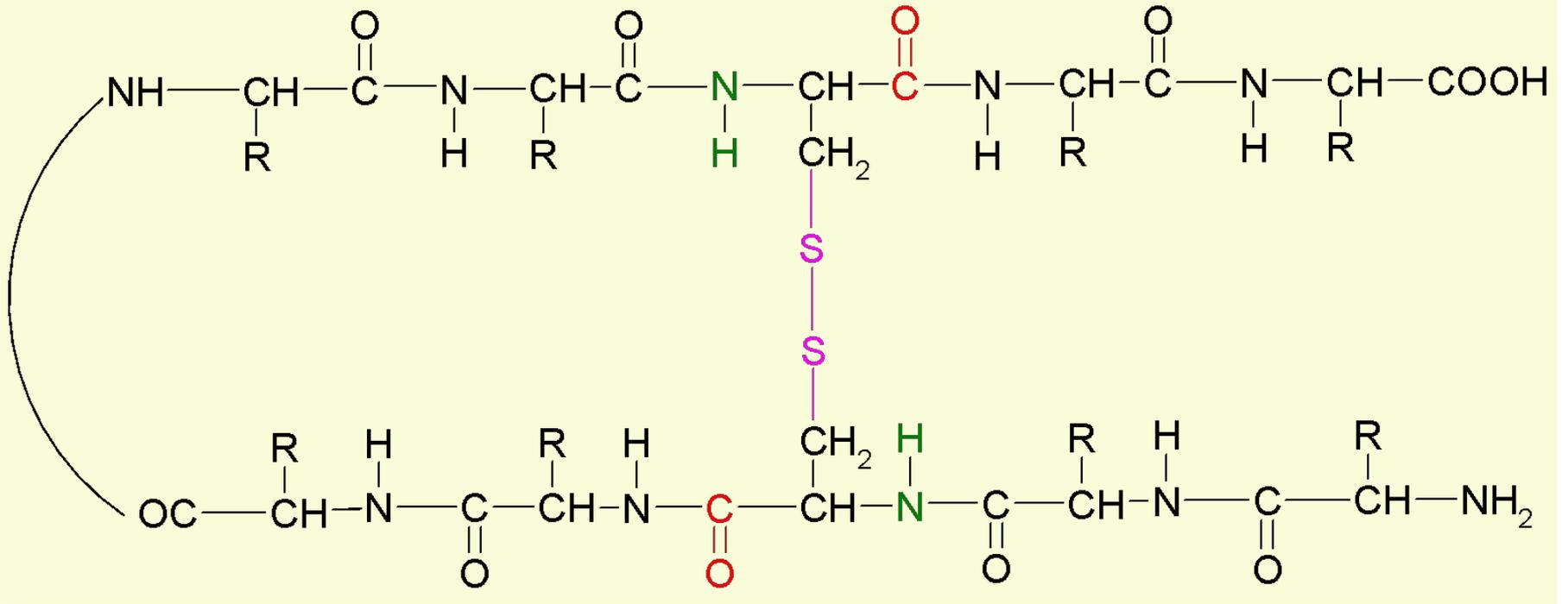


Tertiary

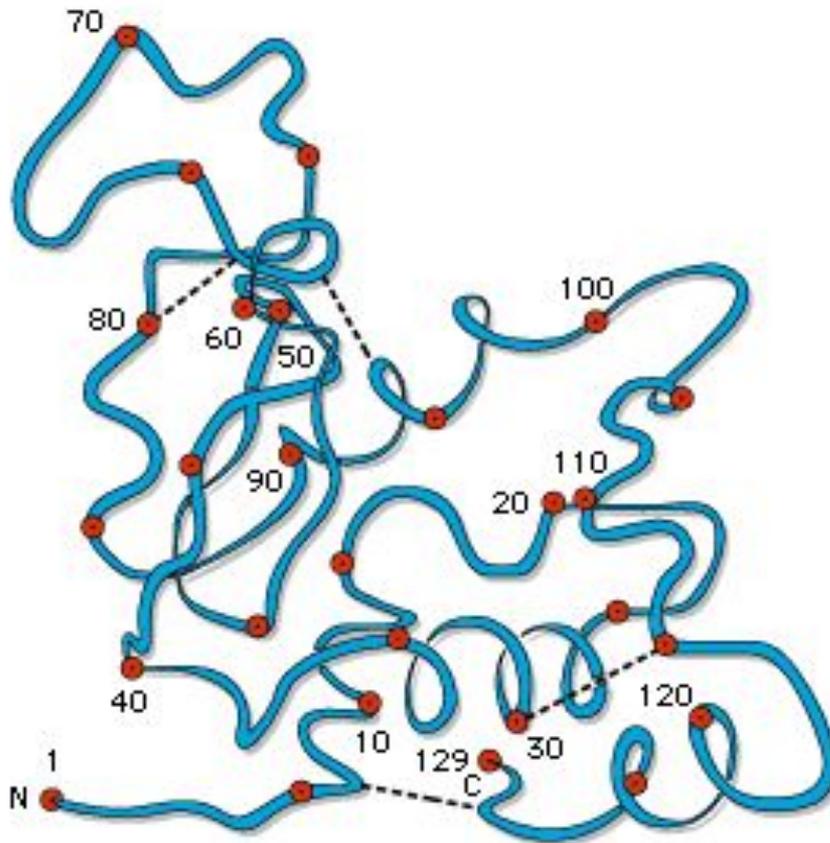


Quaternary

# Дисульфидные связи в цистине



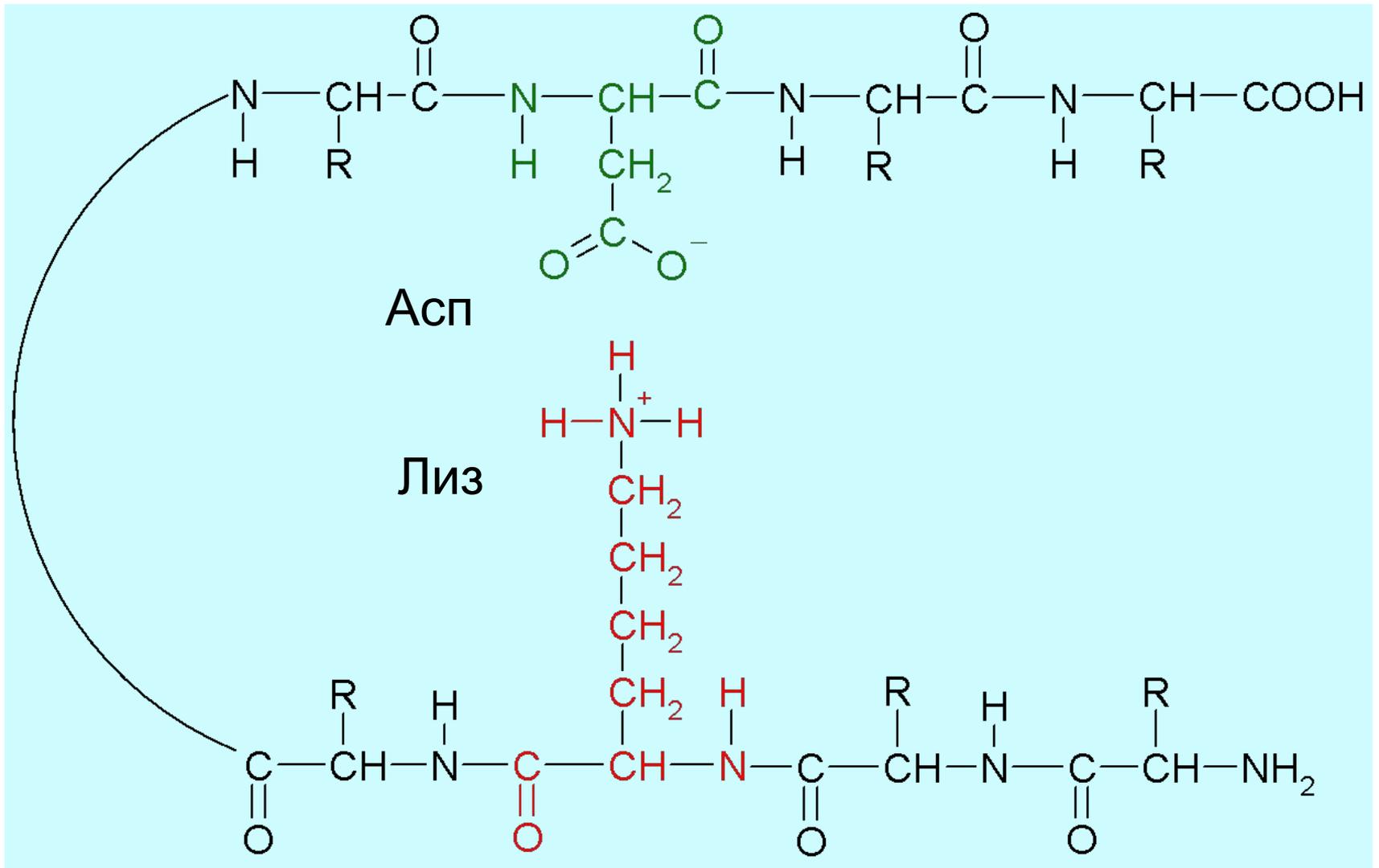
# Дисульфидные связи



Структура лизоцима.

Дисульфидные связи  
показаны пунктиром

# Ионные связи



## Третичная структура

По третичной структуре белки делят на:

**глобулярные** - для них характерна  $\alpha$ -спиральная структура (яичный белок, ферменты, глобин в составе гемоглобина);

**фибриллярные** - для них характерна  $\beta$ -структура (белки мышечной ткани - миоинозин, бетта-кератин волос).

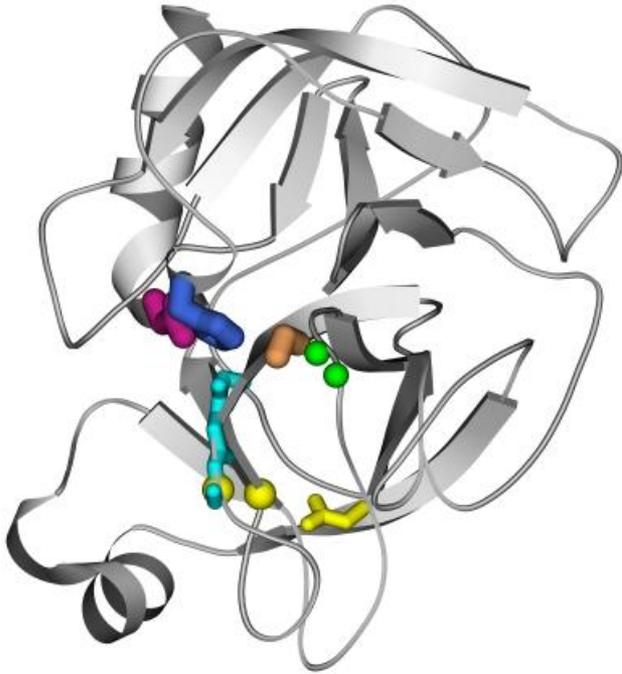
**Глобулярные белки выполняют функции, требующие подвижности и, следовательно, растворимости.**

***Они участвуют в регуляции жизненных процессов: гемоглобин переносит кислород из лёгких в ткани, ферменты катализируют многочисленные химические реакции, протекающие в организме, антитела обеспечивают защиту от чужеродных организмов и т.д.***

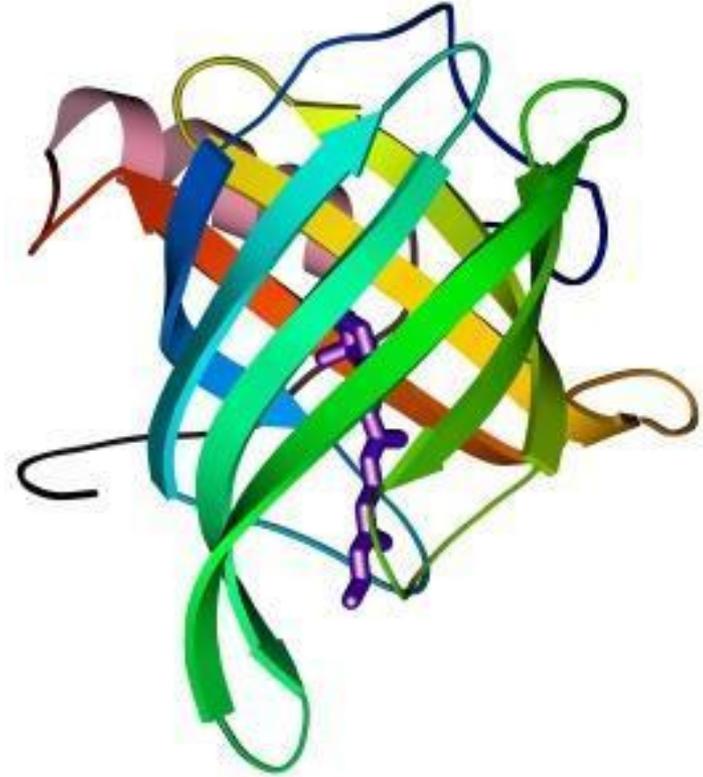
**Фибриллярные белки нерастворимы, склонны к образованию волокон и потому служат основным строительным материалом животных клеток.**

***К числу фибриллярных белков относятся кератин (в коже, волосах, рогах, ногтях, перьях), коллаген (в сухожилиях), миозин (в мышцах).***

*Третичная структура*

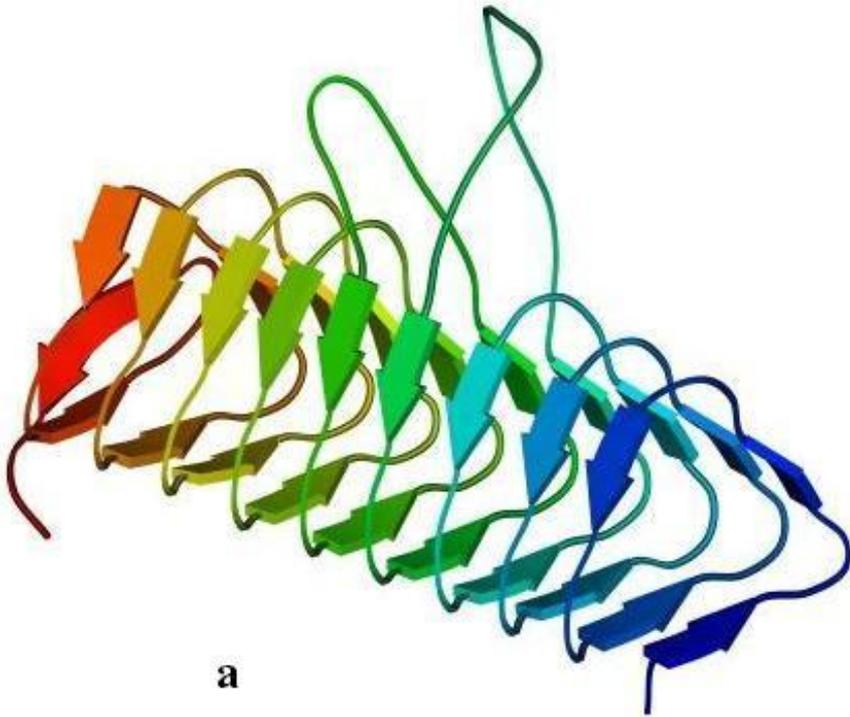


**Сериновая протеиназа - трипсин**

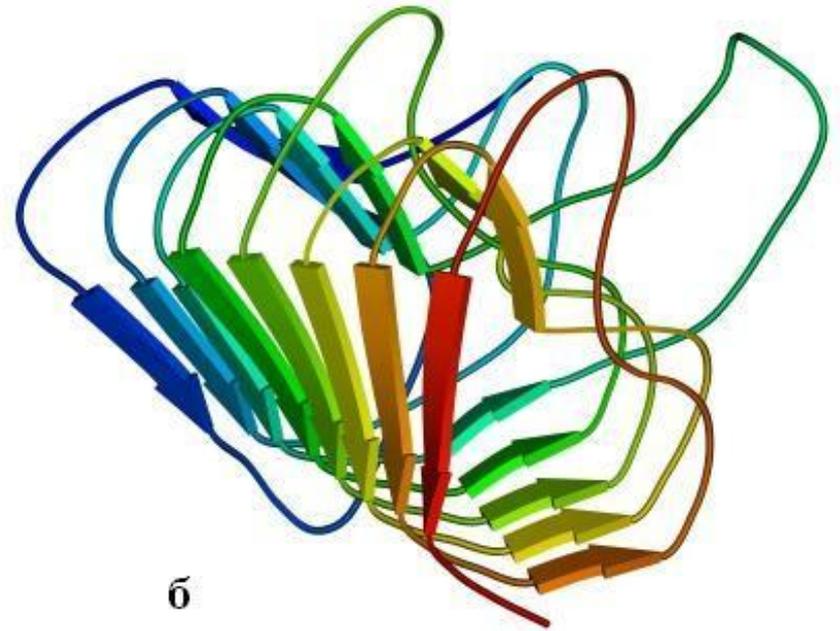


**Родопсин**

*Третичная структура*

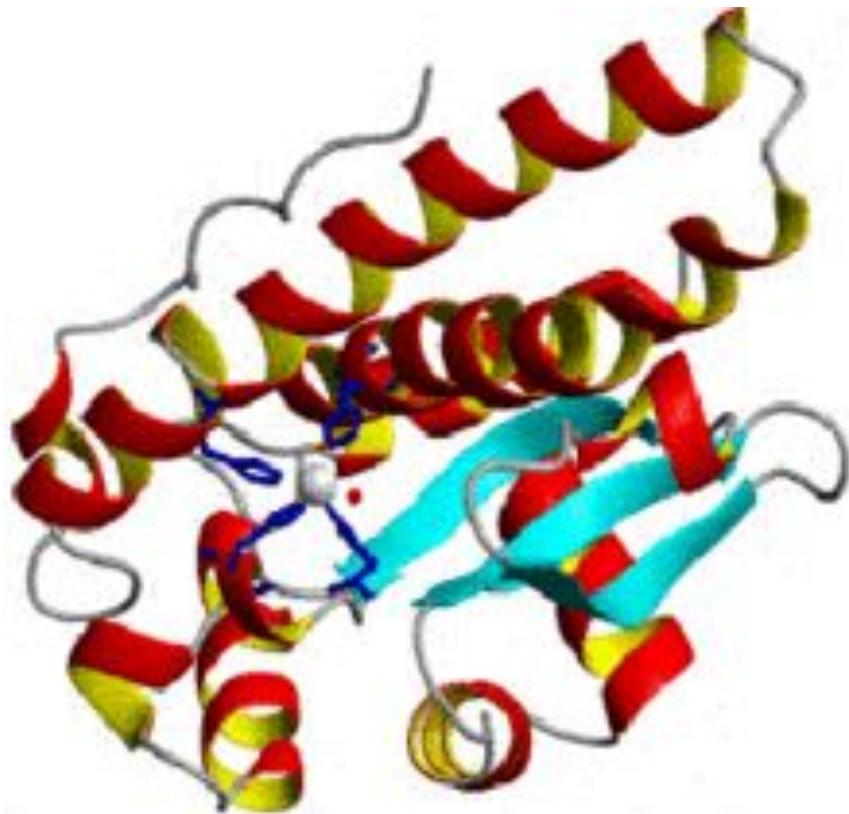


**Ацилтрансфераза (КФ 2.3)**

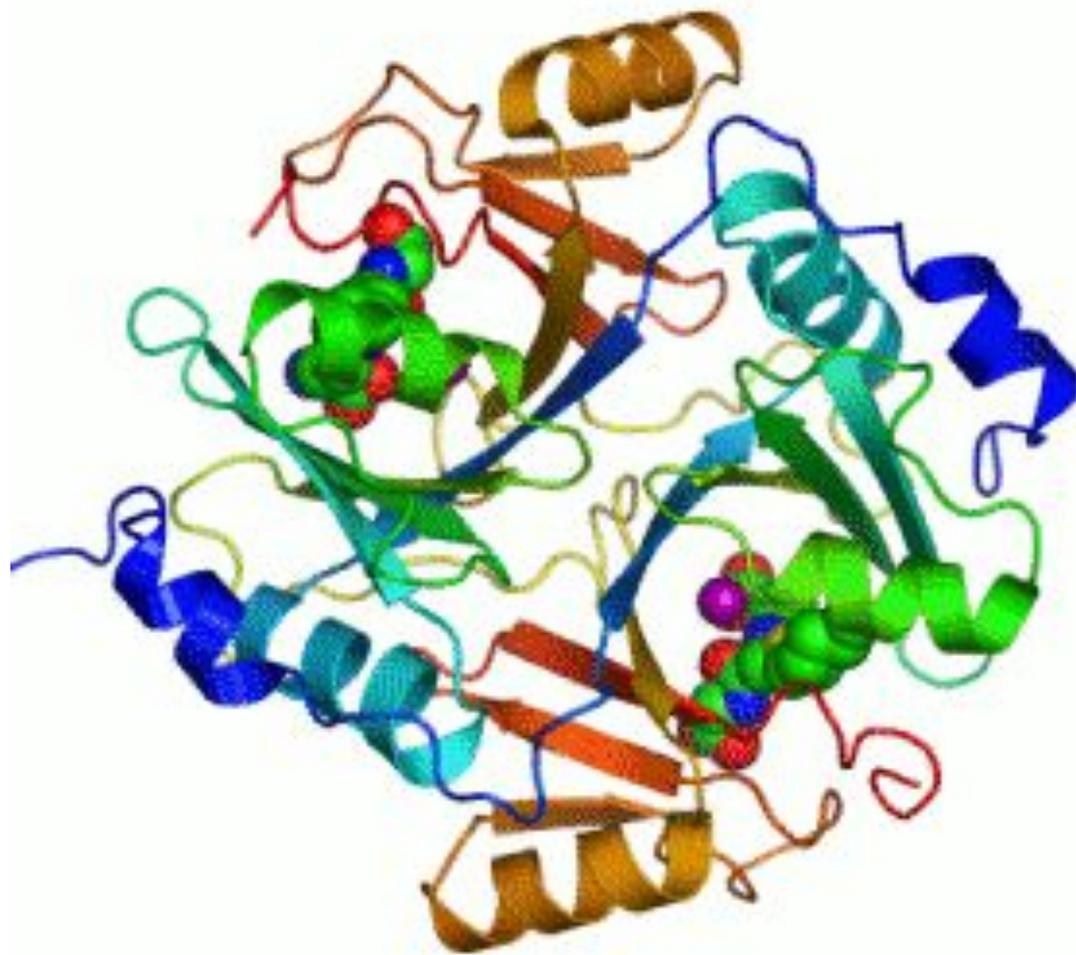


**Пиктатлиаза С**

*Третичная структура*



**Митохондриальная  
супероксиддисмутаза (КФ 1.15.1.1)**

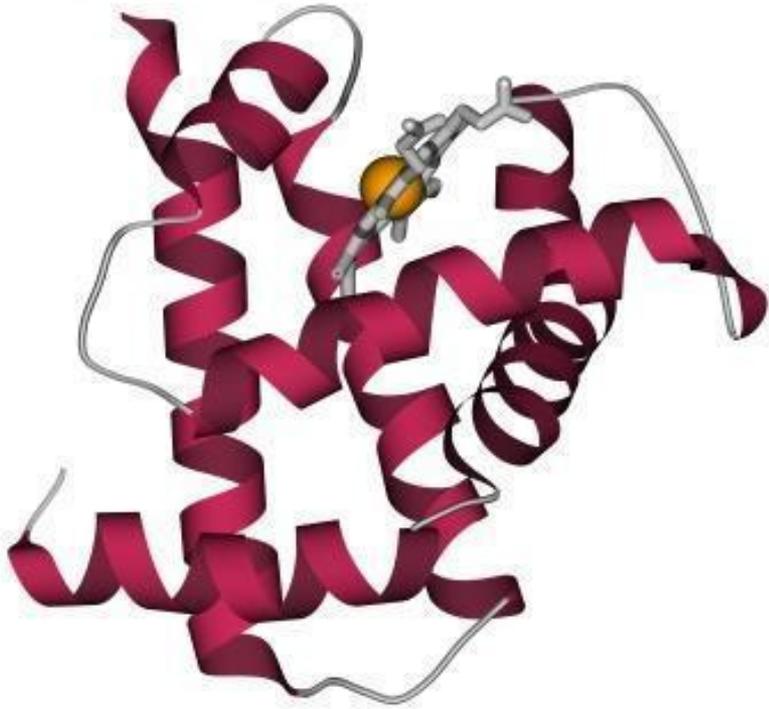


**Глиоксилаза I (КФ 4.4.1.5)**

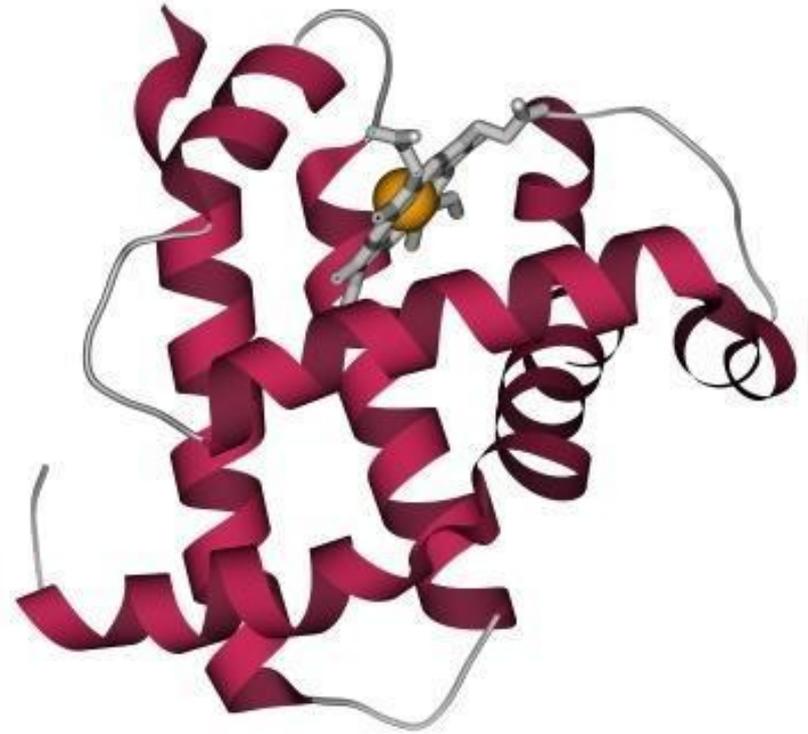


**Цитохром С**

*Третичная структура*



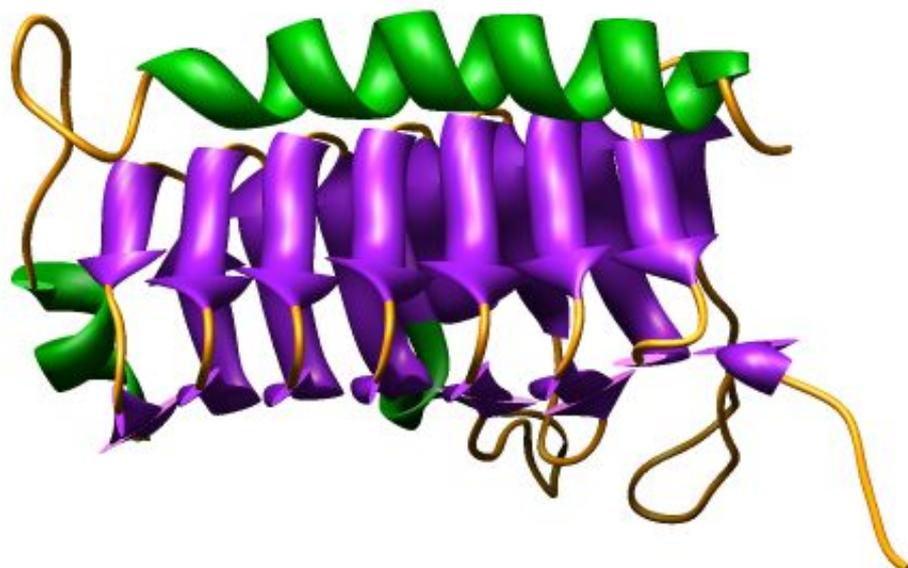
$\alpha$



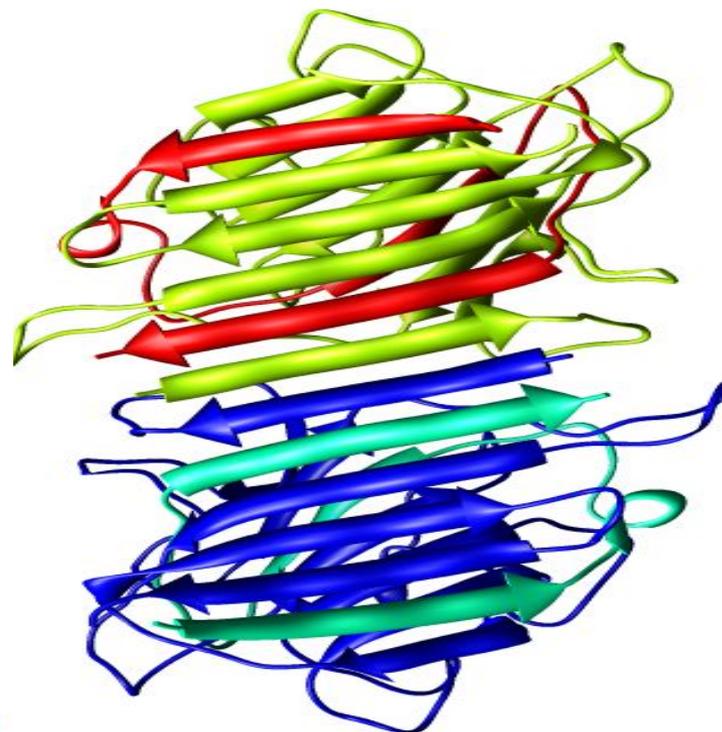
$\beta$

**$\alpha$ - и  $\beta$ -цепи гемоглобина лошади**

*Третичная структура*



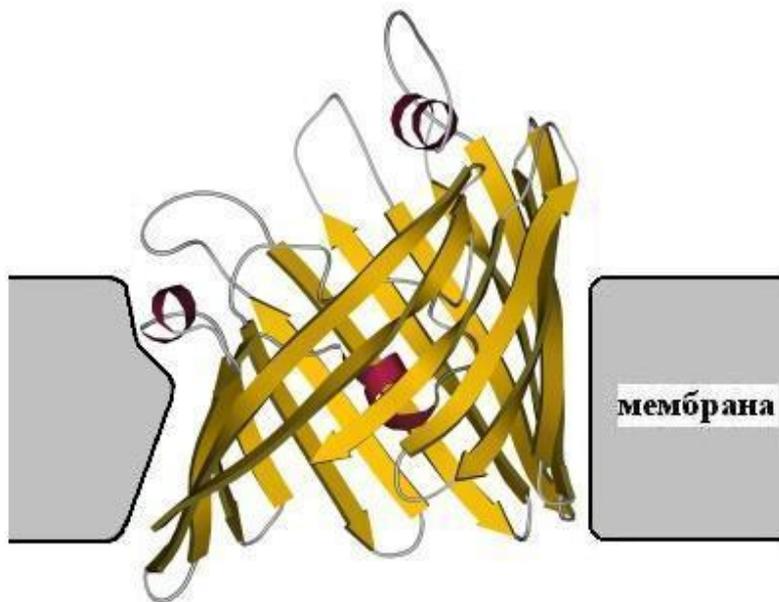
**Параллельные  $\beta$ -слои  
карбоангидразы**



**Антипараллельные  $\beta$ -слои  
лектина**

## Третичная структура

а

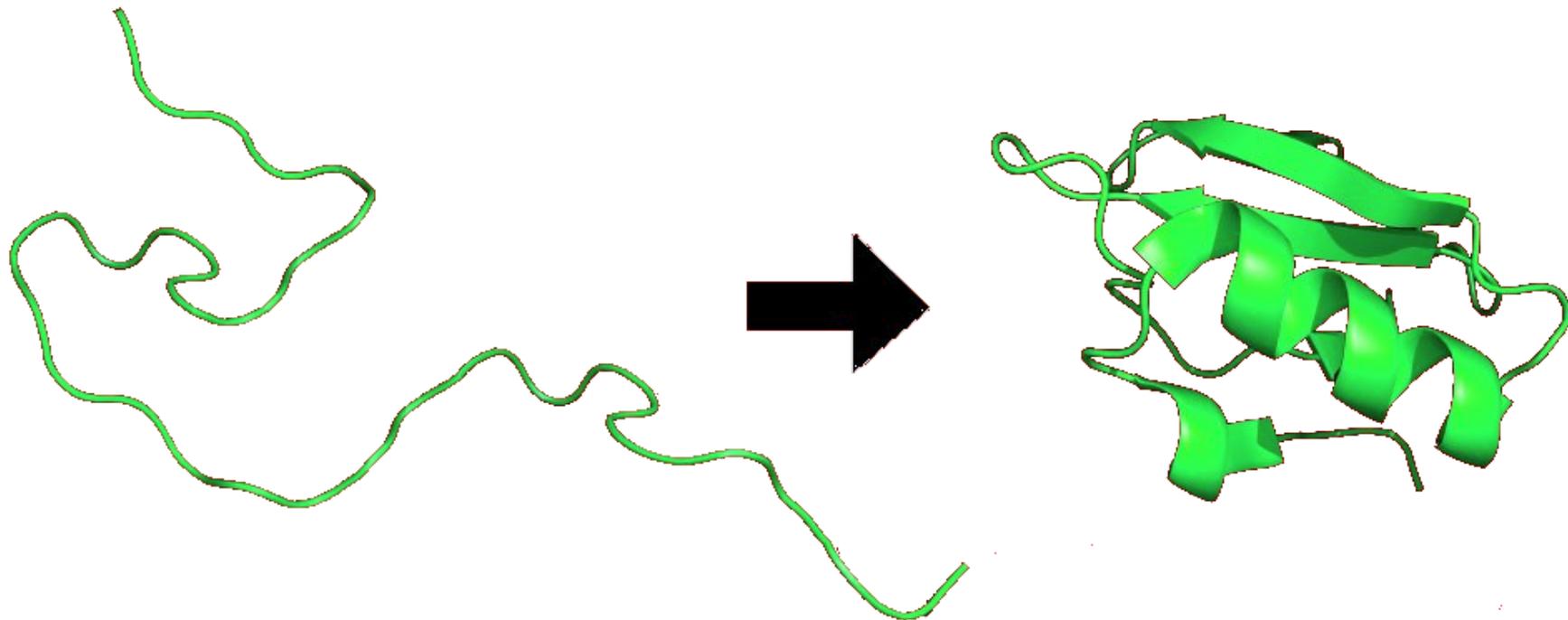


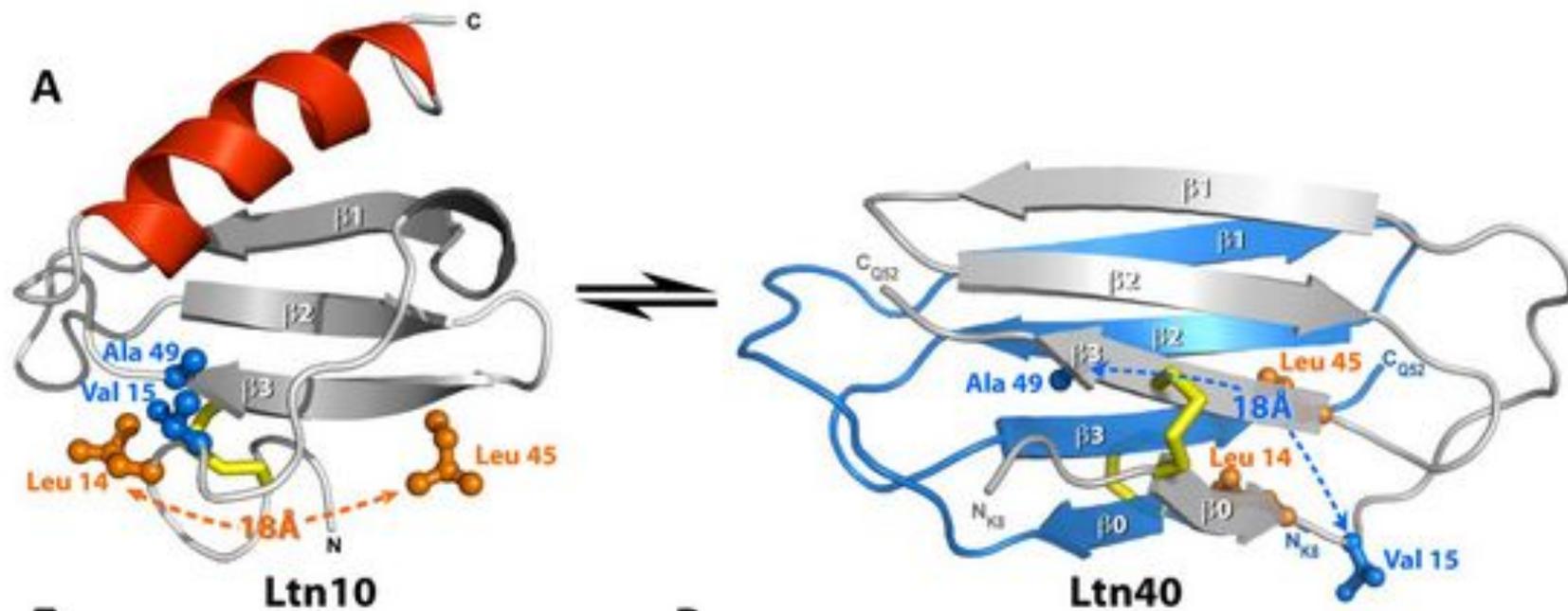
б



**Порин**

**Фолдинг – сворачивание белковой цепи с образованием нативной структуры.**

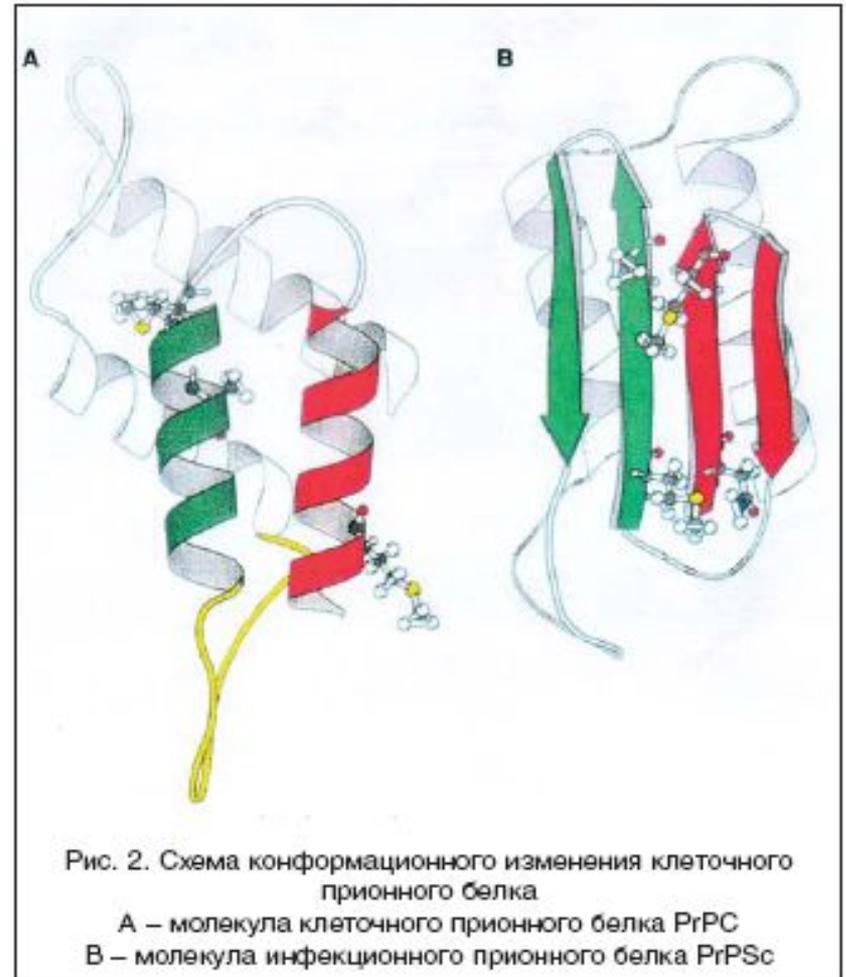




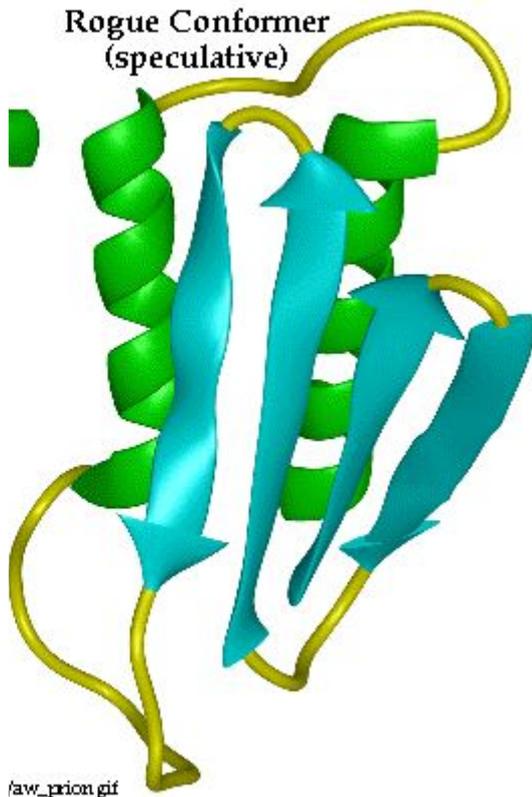
Две нативные конформации  
лимфотактина

# Белок PrP<sup>C</sup>

Этот белок может существовать в двух конформациях – “здоровой” PrP<sup>C</sup>, которую можно обнаружить в здоровых клетках и “патологической” – PrP<sup>Sc</sup>, которая является прионом. Для PrP<sup>C</sup> формы характерно преобладание  $\alpha$ -спиралей, а для PrP<sup>Sc</sup> – наличие  $\beta$ -складчатых слоёв.



# Губчатые энцефалопатии (прионные болезни)



Пространственная структура приона – аномального инфекционного белка.

- Болезнь Крейтцфельда-Якоба
- Новый вариант Крейтцфельда-Якоба – коровье бешенство
- Болезнь Герстманна-Штройслера
- Летальная семейная инсомния,
- куру

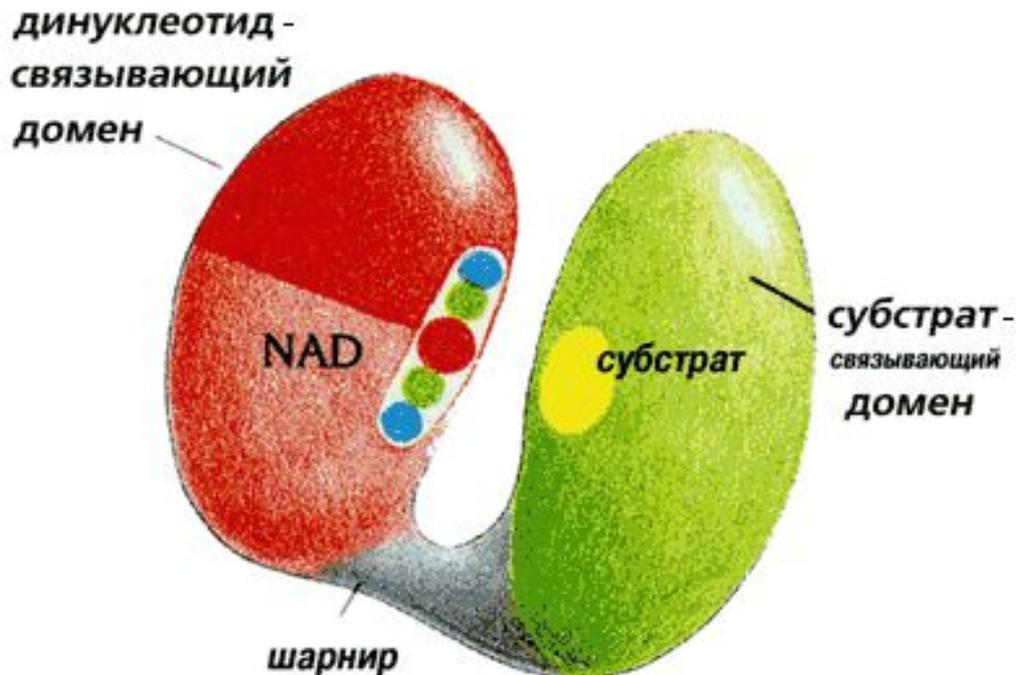


Абориген с Южных гор Папуа-Новая Гвинея.

# Домены

**Домены** – глобулярные области в пределах одной белковой молекулы.

**Домены** соединены шарнирным участком.



**Доменная структура**  
**NAD<sup>+</sup>-зависимой дегидрогеназы**

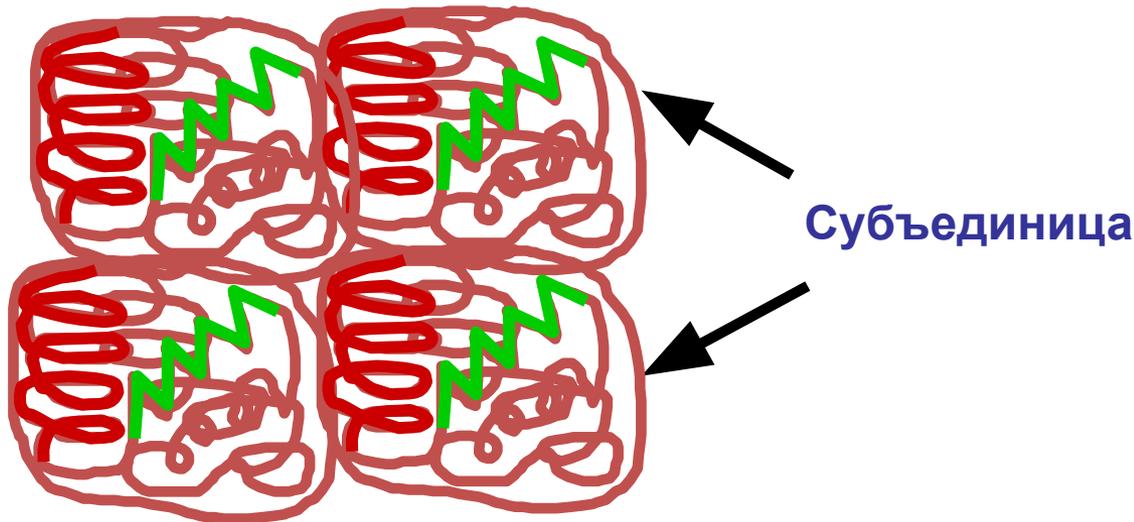
# Четвертичная структура

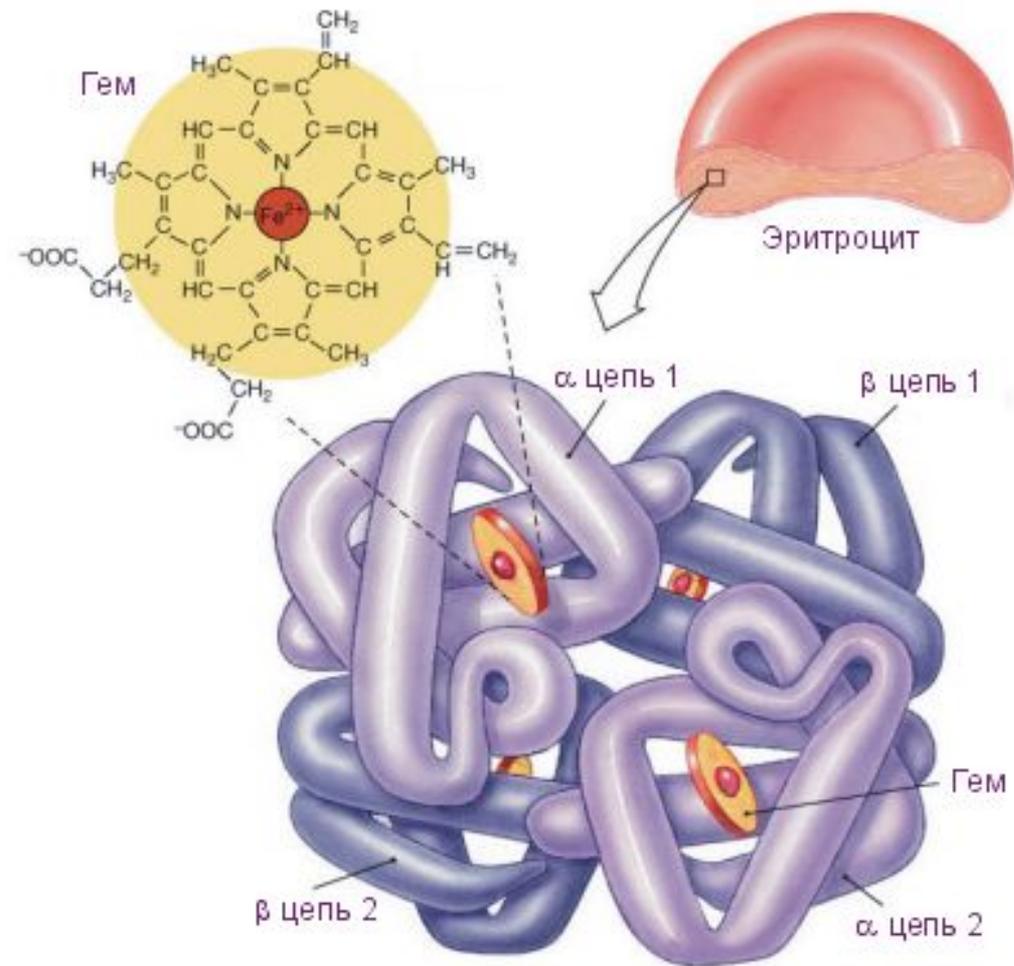
**Четвертичная структура - агрегат нескольких белковых молекул, образующих одну структуру.**

**Взаимодействия: ионные, водородные, гидрофобные, ковалентные (дисульфидные).**

**Протомер - отдельная полипептидная цепь**

**Субъединица - функциональная единица.**

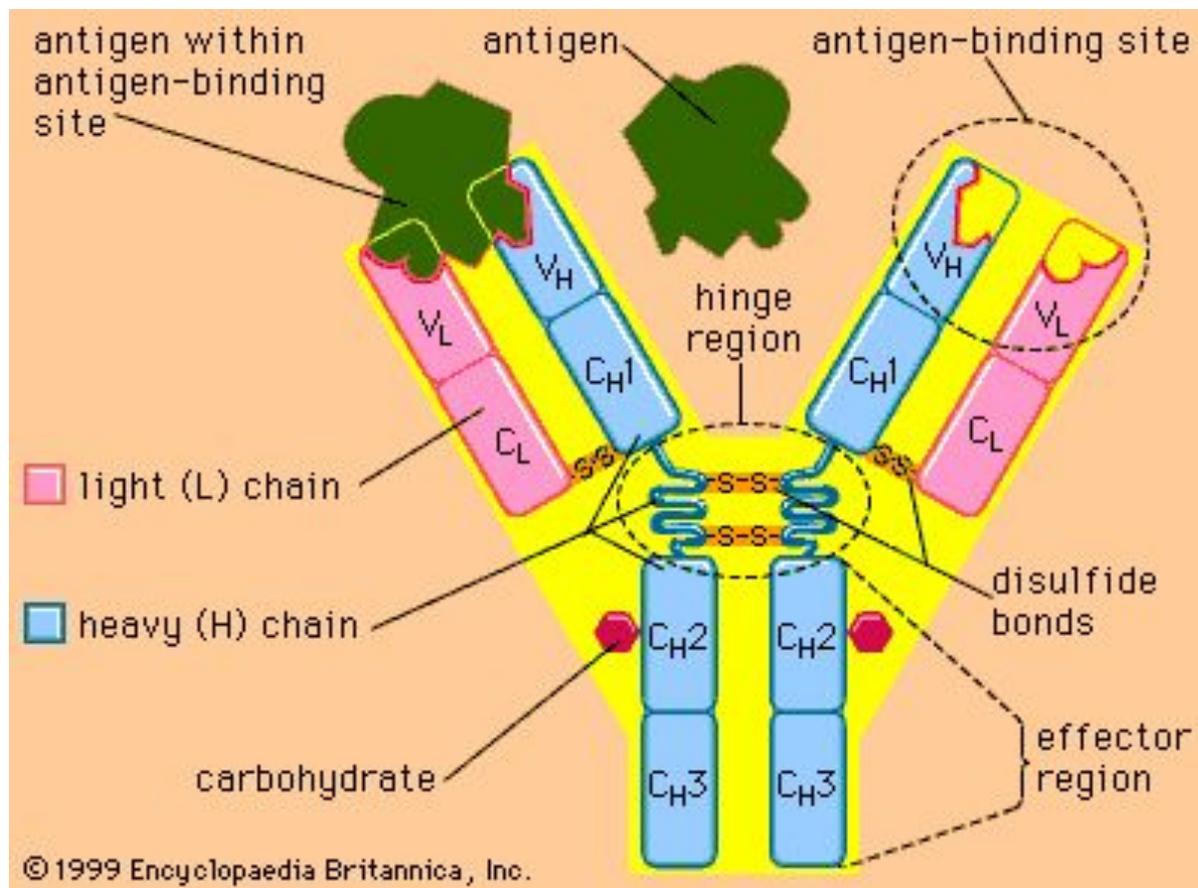




Молекула гемоглобина

**Молекула гемоглобина состоит из 4-х субъединиц, каждая из которых включает в себя активный центр – гем. Субъединицы удерживаются друг около друга гидрофобными связями.**

## Дисульфидные связи



Дисульфидные связи в иммуноглобулине G

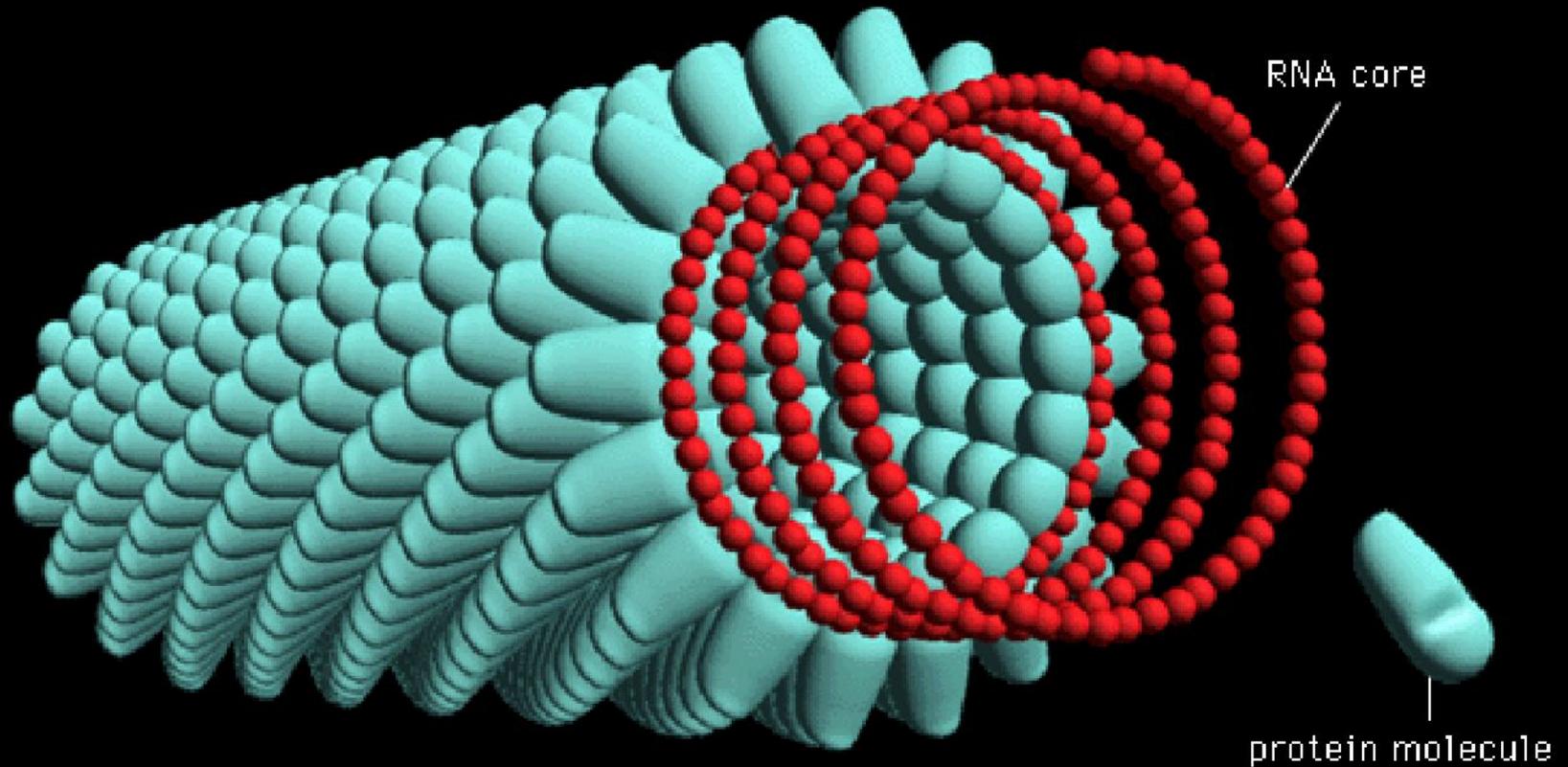
*Четвертичная структура*



**Фермент состоит из полипептидных цепей двух типов — М (*от* англ. muscle - мышца) и Н (*от* англ. heart – сердце).**

**Лактатдегидрогеназа (КФ 1.1.1.27)**

## Четвертичная структура



©1996 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Пример четвертичной структуры - вирус табачной мозаики: 2130 одинаковых молекул белка расположены вокруг РНК вируса.



## Вопросы для самоконтроля

1. **Приведите классификацию  $\alpha$ -аминокислот в зависимости от характера радикала.**
2. **Охарактеризуйте химические свойства  $\alpha$ -аминокислот.**
3. **Перечислите известные Вам цветные реакции на  $\alpha$ -аминокислоты и белки.**
4. **Какие уровни структурной организации белков Вы знаете?**

**Спасибо за Ваше  
внимание!**