

Лекция 2.

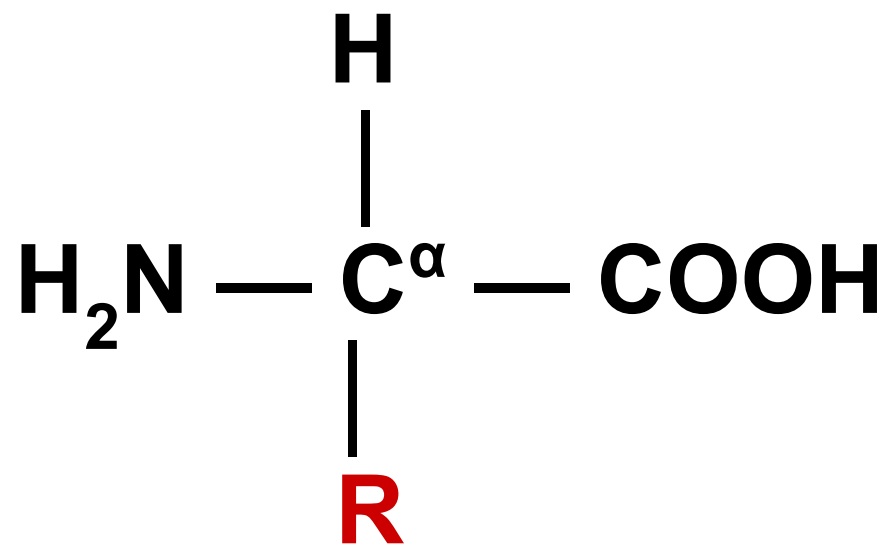
Аминокислоты. Белки

1. Классификация и физико-химические свойства протеиногенных аминокислот

Протеиногенные аминокислоты –

аминокислоты, из которых синтезируются белки, т.е. это те аминокислоты, которые кодируются геномом (20 аминокислот).

Структурная формула аминокислоты



Классификации аминокислот:

- **1. Структурная** (по строению бокового радикала) – **ациклические** (алифатические), **циклические** (ароматические, гетероциклические), **иминокислота** – пролин (относится к циклическим аминокислотам).
- **2. Электрохимическая (кисотно-основные свойства):** **кислые** аминокислоты (с дополнительными карбоксильными группами в боковом радикале – аспарагиновая, глутаминовая); **основные** аминокислоты (с дополнительными аминогруппами в боковом радикале – лизин, аргинин, гистидин); **нейтральные** аминокислоты (в боковом радикале нет группировок, проявляющих кислые или основные свойства – все остальные аминокислоты).
- **3. Биологическая, или физиологическая** (по степени незаменимости аминокислот для организма): **незаменимые** (не могут синтезироваться в организме человека из других соединений, поэтому обязательно должны поступать с пищей) – **валин, лейцин, изолейцин, треонин, лизин, метионин, фенилаланин, триптофан**; **полузаменимые** (образуются в организме человека, но в недостаточном количестве и тоже должны поступать с пищей) – аргинин, тирозин, гистидин; **заменимые** (синтезируются в организме человека в достаточном количестве из незаменимых аминокислот или других соединений).
- **4. Классификация аминокислот по растворимости их радикалов в воде:**
аминокислоты с неполярными радикалами (гидрофобные) – аланин, валин, лейцин, изолейцин, пролин, метионин, фенилаланин, триптофан;
аминокислоты с полярными незаряженными радикалами (радикалы этих аминокислот лучше, чем гидрофобные радикалы растворяются в воде) – серин, треонин, тирозин, аспарагин, глутамин, цистеин;
аминокислоты с полярными отрицательно заряженными радикалами (аминокислоты имеют в радикале дополнительную карбоксильную группу) – глутаминовая и аспарагиновая кислоты;
аминокислоты с полярными положительно заряженными радикалами – лизин, аргинин, гистидин

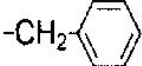

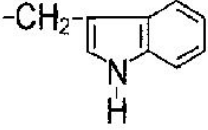
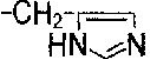
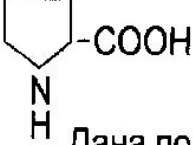
Классификация аминокислот по их химическому строению

Тривиальные названия аминокислот	Сокращённые названия		Строение радикалов
	русские	латинские	
I. Аминокислоты с алифатическими радикалами			
1. Глицин	Гли	Gly G	-H
2. Аланин	Ала	Ala A	-CH ₃
3. Валин	Вал	Val V	-CH $\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$
4. Лейцин	Лей	Leu L	-CH ₂ -CH $\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$
5. Изолейцин	Иле	Ile I	-CH-CH ₂ -CH ₃ CH ₃

Классификация аминокислот по их химическому строению

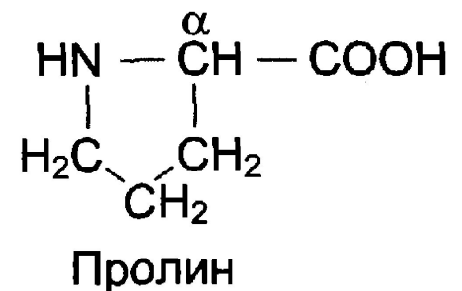
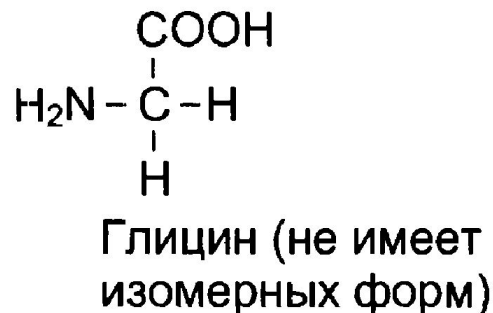
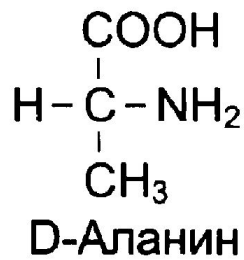
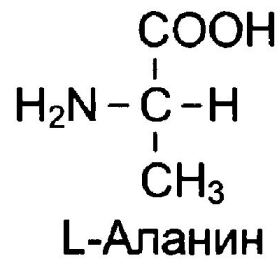
Тривиальные названия аминокислот	Сокращённые названия		Строение радикалов
	русские	латинские	
II. Аминокислоты, содержащие в алифатическом радикале дополнительную функциональную группу			
	Гидроксильную группу		
6. Серин	Сер	Ser S	-CH ₂ -OH
7. Треонин	Тре	Thr T	-CHOH-CH ₃
	Карбоксильную группу		
8. Аспарагиновая кислота	Асп	Asp D	-CH ₂ -COOH
9. Глутаминовая кислота	Глу	Glu E	-CH ₂ -CH ₂ -COOH
	Амидную группу		
10. Аспарагин	Асп	Asn N	-CH ₂ -CO-NH ₂
11. Глутамин	Глн	Gln Q	-CH ₂ -CH ₂ -CO-NH ₂
	Аминогруппу		
12. Лизин	Лиз	Lys K	-(CH ₂) ₄ -NH ₂
	Гуанидиновую группу		
13. Аргинин	Арг	Arg R	-(CH ₂) ₃ -NH-C(=NH)-NH ₂
	Серу		
14. Цистеин	Цис	Cys C	-CH ₂ -SH
15. Метионин	Мет	Met M	-CH ₂ -CH ₂ -S-CH ₃

Классификация аминокислот по их химическому строению

Тривиальные названия аминокислот	Сокращённые названия		Строение радикалов
	русские	латинские	
III. Аминокислоты, содержащие ароматический радикал			
16. Фенилаланин	Фен	Phe F	
17. Тирозин	Тир	Tyr Y	
IV. Аминокислоты с гетероциклическими радикалами			
18. Триптофан	Три	Trp W	
19. Гистидин	Гис	His H	
V. Иминокислота			
20. Пролин	Про	Pro P	 Дана полная формула

Свойства аминокислот

Все протеиногенные аминокислоты, за исключением глицина, имеют как минимум один асимметрический атом углерода и обладают оптической активностью. Такие аминокислоты существуют в виде пространственных изомеров (стереоизомеры, энантиомеры – зеркально отражены друг относительно друга). По расположению заместителей вокруг асимметрического атома углерода стереоизомеры относят к *L*- или *D*-ряду. Все аминокислоты, из которых синтезируется белок, относятся к *L*-ряду.



Свойства стереоизомеров аминокислот

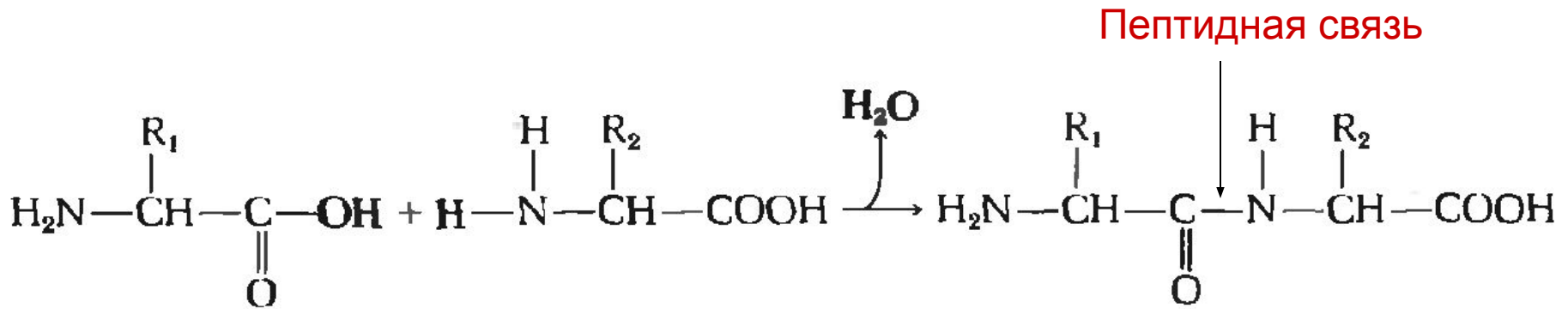
Чистые L- или D-стереоизомеры могут за длительный срок самопроизвольно и неферментативно превращаться в эквимольную смесь L- и D-изомеров. Этот процесс называют рацемизацией. Рацемизация каждой L-аминокислоты при данной температуре идёт с определённой скоростью. Это обстоятельство можно использовать для установления возраста людей и животных. Так, в твёрдой эмали зубов имеется белок дентин, в котором L-аспартат переходит в D-изомер при температуре тела человека со скоростью 0,01% в год. В период формирования зубов в дентине содержится только L-изомер, поэтому по содержанию D-аспартата можно рассчитать возраст обследуемого.

В зависимости от pH среды аминокислоты имеют суммарный нулевой, положительный или отрицательный заряд.

Состояние, в котором заряд аминокислоты равен нулю, называется изоэлектрическим.

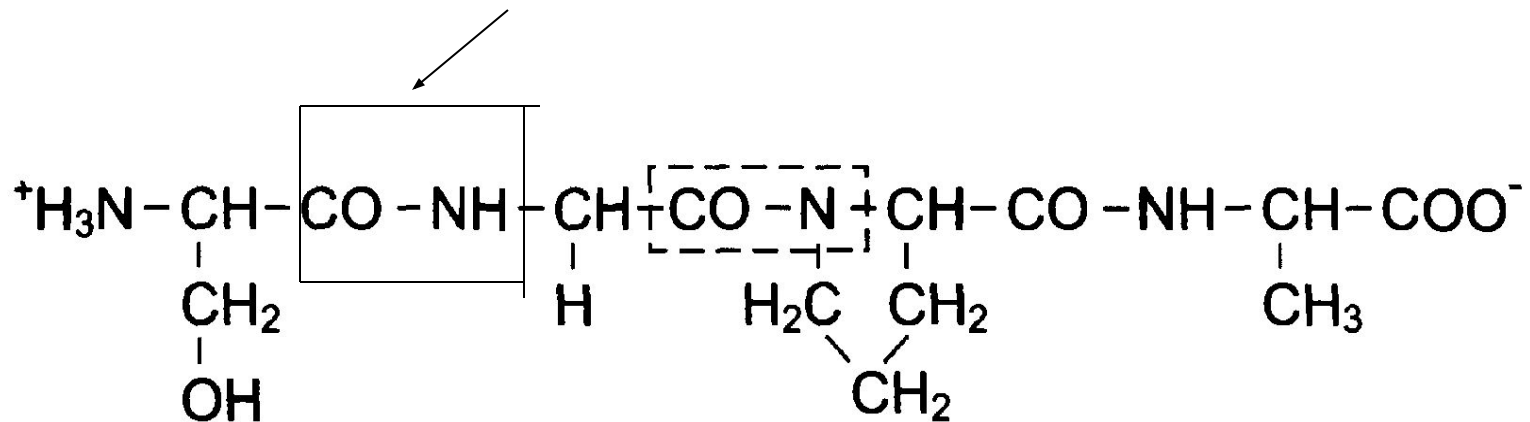
Значение pH, при котором наступает такое состояние, называется **изоэлектрической точкой**.

Образование пептидов в результате реакций конденсации



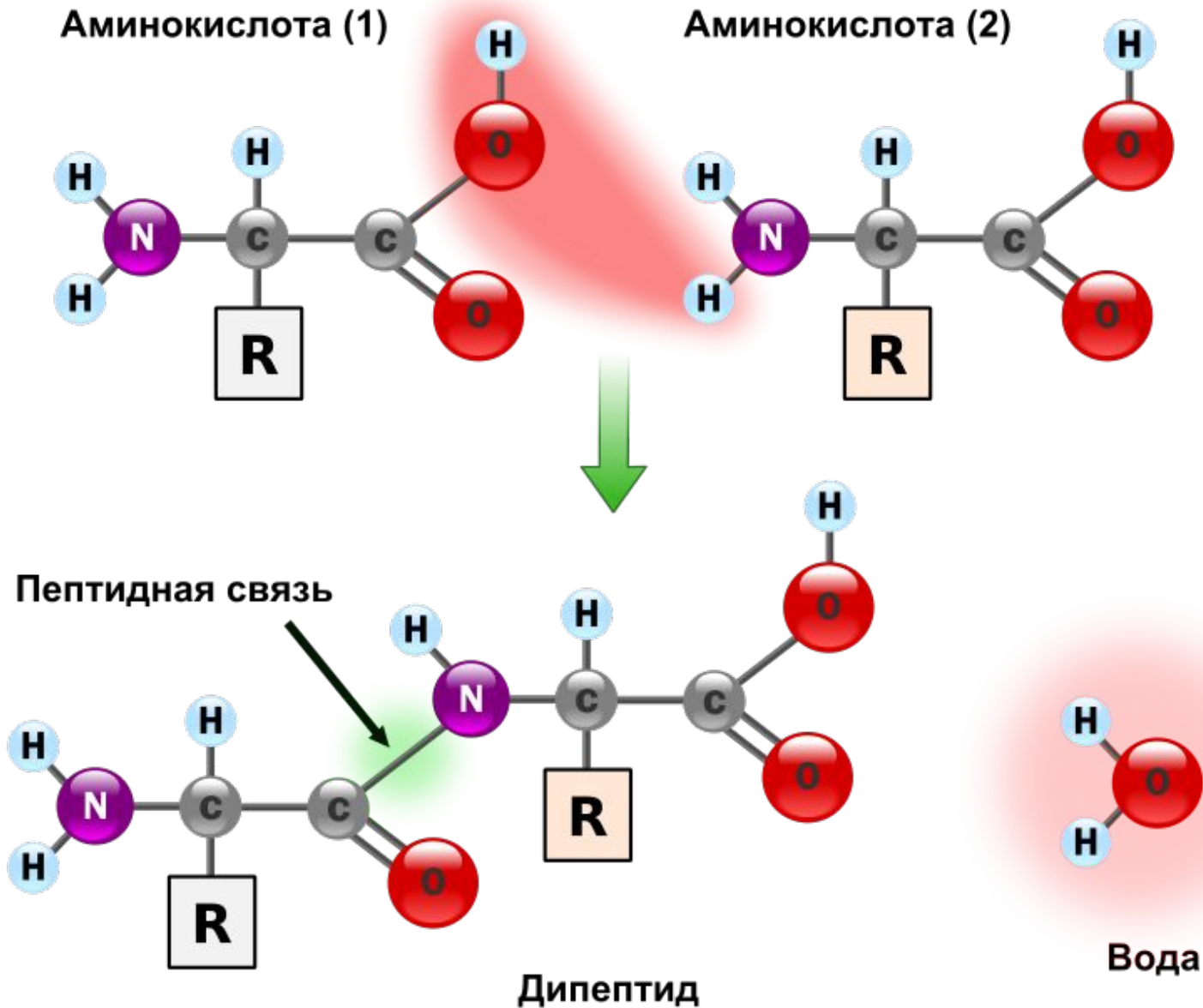
Пептидная группа

Дипептид

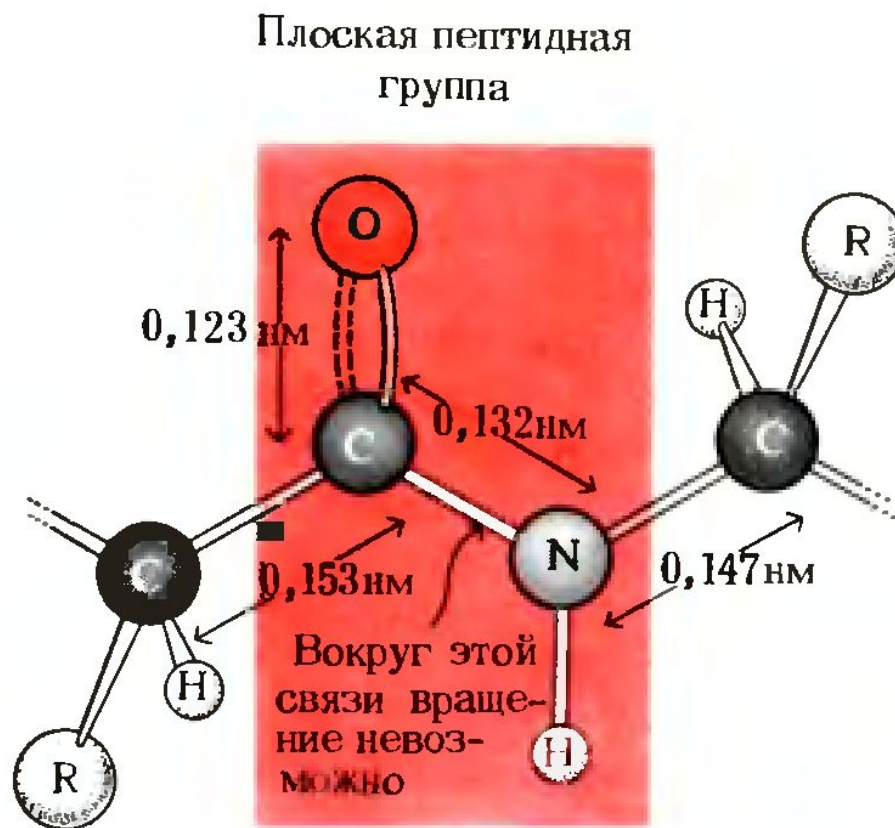


Серилглицилпролилаланин

Схема образования пептидной связи



**Плоская пептидная группа (на красном фоне).
C—N-связь частично имеет характер двойной связи и
поэтому вокруг неё свободное вращение невозможно**



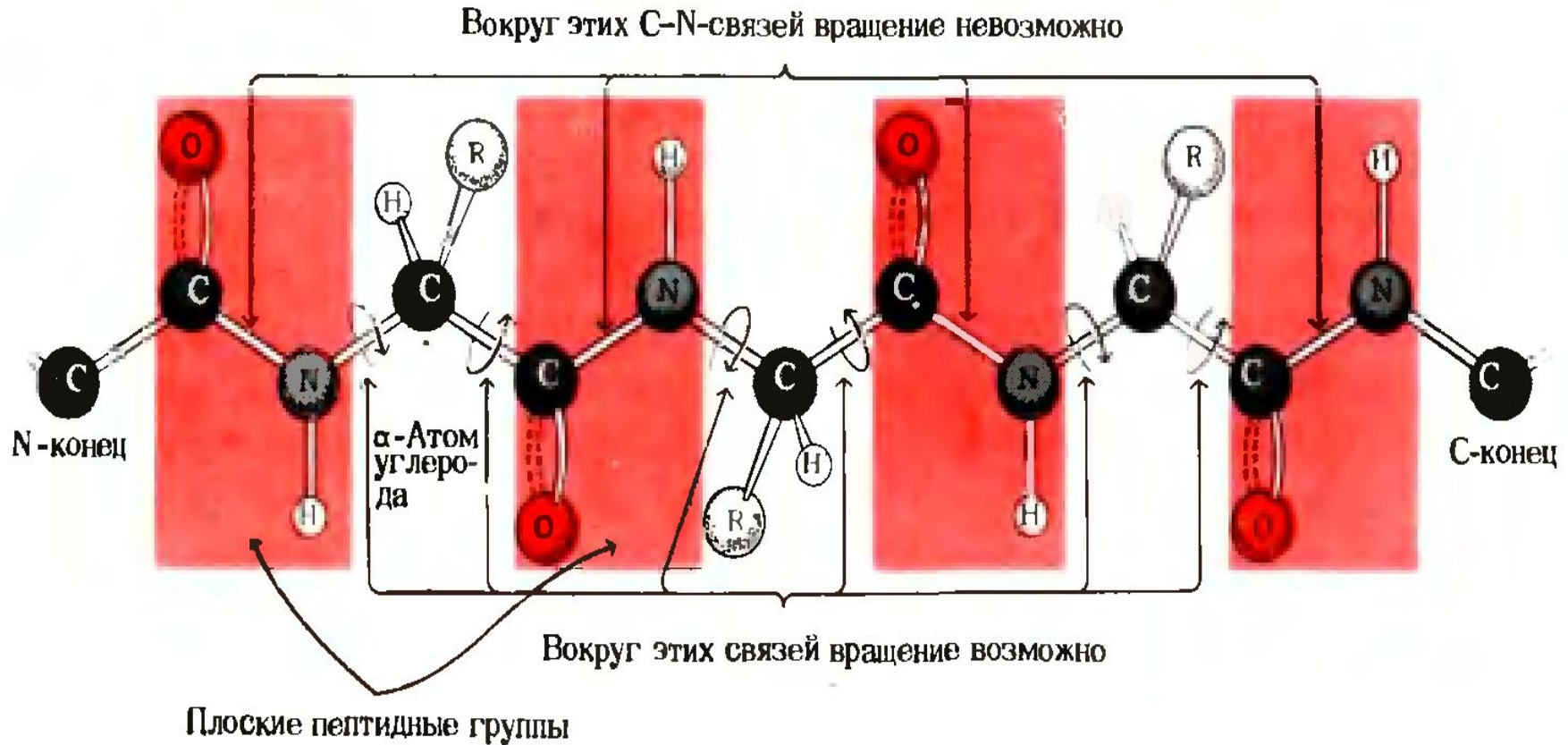
**2. Классификация белков:
простые и сложные,
глобулярные и
фибриллярные,
мономерные и
олигомерные**

Классификация пептидов и белков по количеству аминокислотных остатков

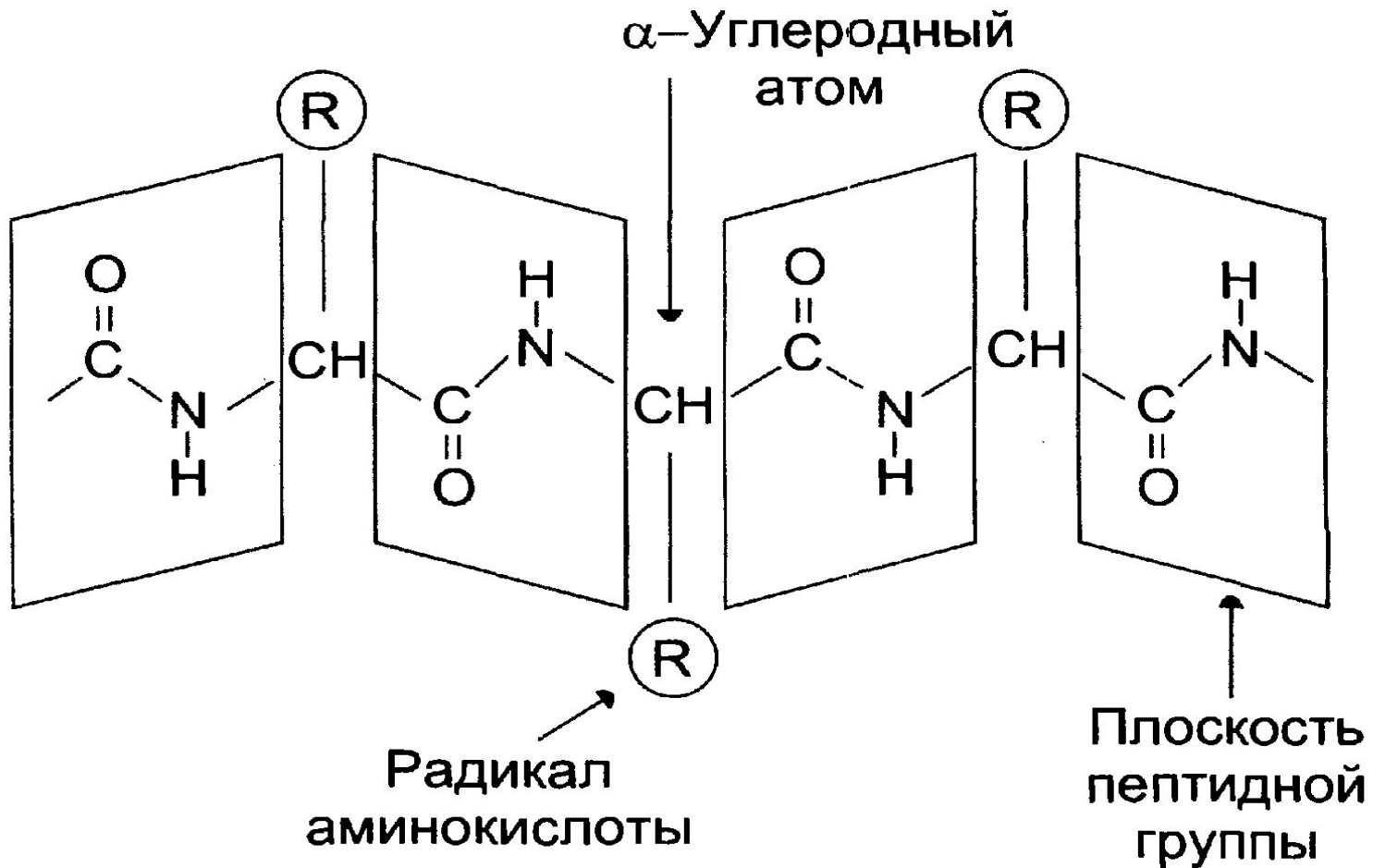
1. **Олигопептиды** – пептиды, содержащие до 10 аминокислот (трипептид, пентапептид, октапептид и т.д.).
2. **Полипептиды** – пептиды, содержащие более 10 аминокислот (окситоцин, вазопрессин и пр.).
3. **Белки** – полипептиды, состоящие из более чем 50 аминокислотных остатков (инсулин – 51 аминокислотных остатков и др.).

Ограничения, налагаемые на вращение вокруг одинарных связей полипептидной цепи.

C—N-связи, входящие в состав плоских пептидных групп (показаны на красном фоне), не допускают свободного вращения



Плоскости расположения пептидных групп и α -углеродных атомов в пространстве



Классификация пептидов по физиологическому действию

- 1. Пептиды, обладающие гормональной активностью**
(окситоцин, вазопрессин, рилизинг-гормоны, меланоцитстимулирующий гормон, глюкагон и др.).
- 2. Пептиды, регулирующие процессы пищеварения**
(гастрин, холецистокинин, вазоинтестинальный пептид, желудочный ингибирующий пептид и др.).
- 3. Пептиды, регулирующий тонус сосудов и артериальное давление** (брадикинин, калидин, ангиотензин II).
- 4. Пептиды, регулирующие аппетит** (лептин, нейропептид Y, меланоцитстимулирующий гормон, β -эндорфины).
- 5. Пептиды, обладающие обезболивающим действием**
(энкефалины, эндорфины и другие опиоидные пептиды).
Обезболивающий эффект этих пептидов в сотни раз превосходит анальгезирующий эффект морфина.
- 6. Пептиды, участвующие в регуляции высшей нервной деятельности**, в биохимических процессах, связанных с механизмами сна, обучения, памяти, возникновения чувства страха и т.д.

Виды классификаций белков:

1. По составу (простые и сложные).
2. По форме (глобулярные и фибриллярные).
3. По количеству составляющих макромолекулу белка мономерных структур (мономерные и олигомерные).
4. По пространственной структуре (первичная, вторичная, сверхвторичная, третичная, четвертичная).
5. По функциям (белки могут выполнять множество функций, но не могут служить матрицей для собственного синтеза).

Классификации белков

По молекулярной массе - низкомолекулярные, высокомолекулярные.

Глюкагон	4 000
Инсулин	6 000
Рибонуклеаза	13 700
Трипсин	23 800
Церуллоплазмин	160 000
Фибриноген	341 000
Глутаматдегидрогеназа	1 000 000
Гемоцианин улитки	9 000 000

Классификации белков

По химическому строению (отсутствие или наличие небелковой части – простые или сложные):

- **простые** (при гидролизе дают только аминокислоты). Простые белки – гистоны, эластин, альбумины крови и пр.
- **сложные** (кроме аминокислот содержат небелковые – простетические – группы) белки. Сложные белки – классифицируются в зависимости от химической природы простетической группы (гемопротейды – гемоглобин, миоглобин, цитохромы; фосфопротейды – казеин молока; гликопротейды – белки плазматической мембраны; липопротейды – белки мембран; металлопротейды – некоторые ферменты).

Классификации белков

По локализации в клетке (ядерные, цитоплазматические, мембраносвязанные, лизосомальные и др.).

По локализации в организме (белки крови, печени и др.).

По возможности адаптивно регулировать количество данных белков: белки, синтезирующиеся с постоянной скоростью (конститутивные) и белки, синтез которых может усиливаться при воздействии факторов среды (индуцибельные).

По продолжительности жизни в клетке (от быстро обновляющихся белков до обновляющихся через недели и месяцы).

По схожим участкам первичной структуры и родственным функциям (семейства белков).

Количество протомеров в структуре олигомерных белков

В состав олигомерных белков может входить от 2 до нескольких десятков протомеров.

Фермент гексокиназа содержит в своём составе 2 протомера.

Белок эритроцитов гемоглобин и фермент лактатдегидрогеназа содержат по 4 протомера.

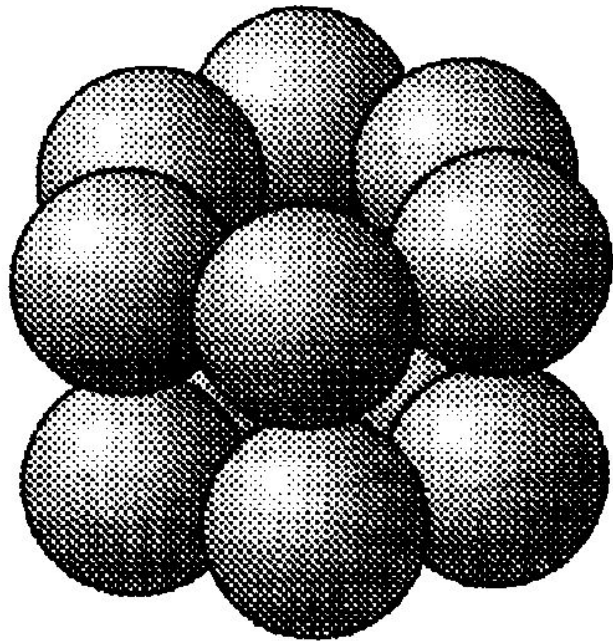
Фермент глутаминсинтетаза состоит из 12 протомеров.

Фермент внутренней мембраны митохондрий цитохромоксидаза содержит 13 протомеров.

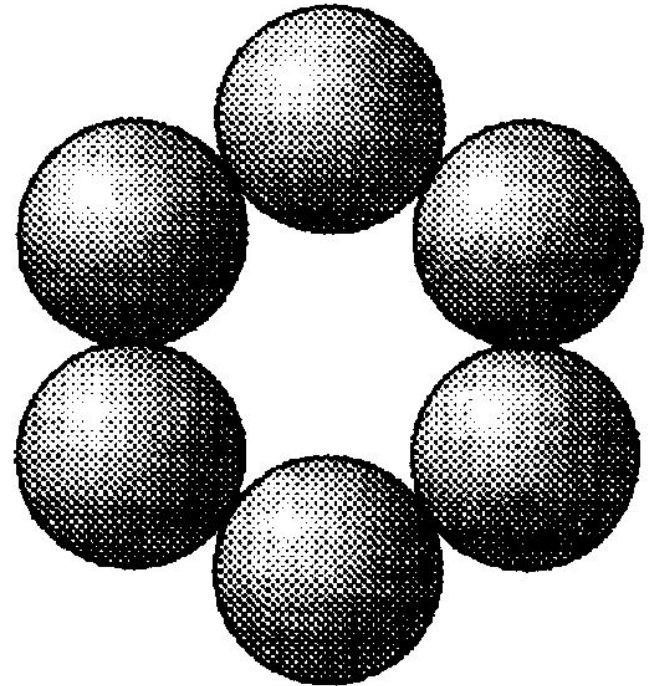
Пируватдегидрогеназный комплекс содержит в своём составе 312 протомеров.

Субъединичная структура глутаминсинтетазы

Вид сбоку



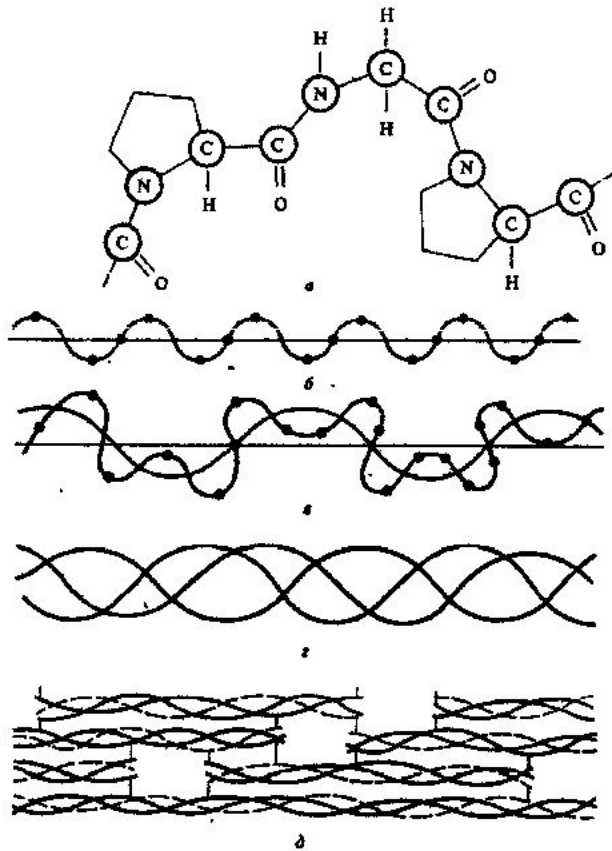
Вид сверху



Классификации белков

По форме молекул (глобулярные, фибриллярные). **Глобулярные** (соотношение продольной и поперечной осей не превышает 1:10, чаще – 1:3, 1:4). Глобулярные белки – миоглобин, гемоглобин, большинство рецепторов, ферментов. **Фибриллярные** (соотношение продольной и поперечной осей более 1:10). Фибриллярные – эластин, коллаген, белок свёртывающей системы крови, кератин.

Схема структурной организации коллагена



- а – первичная структура коллагена;
- б – первичная структура коллагена в виде спирали;
- в – вторичная и третичная структуры коллагена;
- г – три нити коллагена скручены одна относительно другой и формируют повторяющуюся структуру коллагена, которая называется *тропоколлагеном*;
- д – тропоколлаген является субъединицей фибрилл коллагена.
- Укладка тропоколлагеновых субъединиц в четвертичную структуру коллагена происходит ступенеобразно.
- Стабилизация структур коллагена происходит за счёт межцепочечных водородных, ионных и ван-дер-ваальсовых связей и небольшого количества ковалентных связей.

**3. Физико-химические
свойства белков:
растворимость,
амфотерность, ионизация,
гидратация, осаждение**

Физико-химические свойства белков:

- растворимость;
- амфотерность;
- ионизация;
- гидратация белков;
- осаждение;
- буферные свойства;
- коллоидные и осмотические свойства;
- оптические свойства;
- малая скорость диффузии;
- высокая вязкость растворов белков;
- способность белков к образованию гелей;
- высаливание;
- денатурация и ренатурация.

4. Уровни структурной организации белков: первичная, вторичная, надвторичная, третичная и четвертичная структуры, домены, надмолекулярные структуры. Связи, поддерживающие структуры белка: дисульфидные, ионные, водородные, гидрофобные

Структура белков

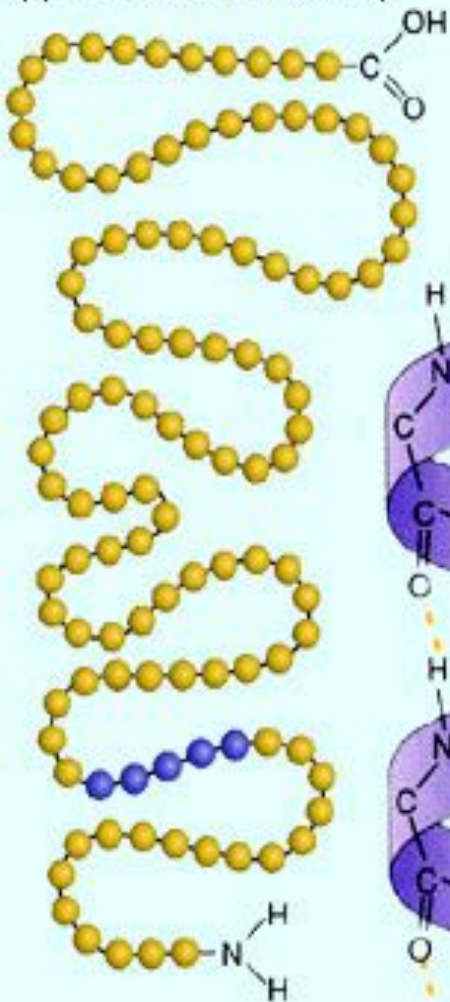
Белки представляют собой цепи, содержащие десятки, сотни и тысячи аминокислотных остатков, соединённых прочными ковалентными пептидными связями. За счёт внутримолекулярных взаимодействий белки образуют определённую пространственную структуру, называемую **«конформация белков»**.

Линейная последовательность аминокислот в белке, кодируемая геномом клетки, содержит информацию о построении трёхмерной пространственной структуры, свойствах и функциях белка.

Различают 4 уровня структурной организации белков: **первичная, вторичная, третичная и четвертичная структуры**.

Возможные конформации белков

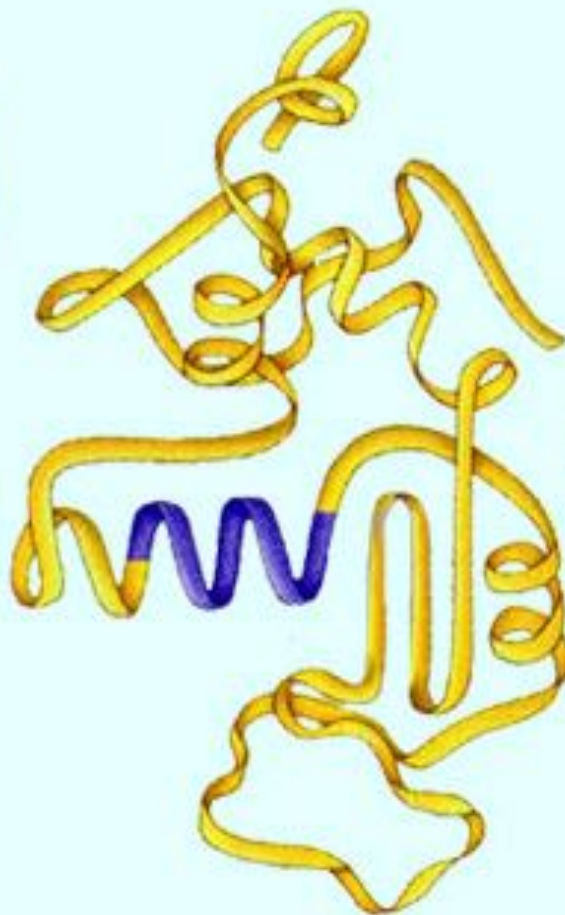
Первичная структура
(цепочка аминокислот)



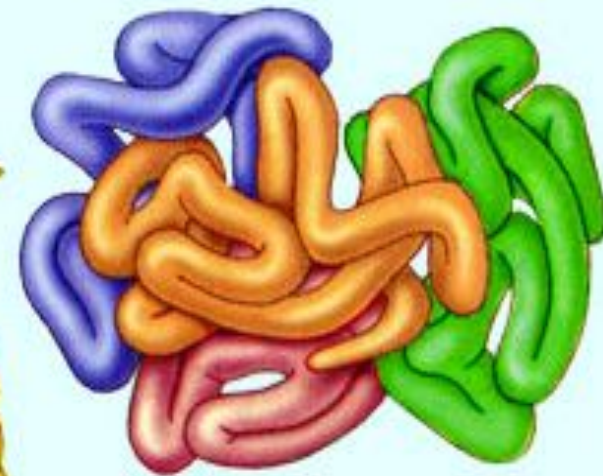
Вторичная структура
(α -спираль)



Третичная структура



Четвертичная структура
(клубок белков)



Первичная структура белков

- **Первичная структура белков – последовательность аминокислот в полипептидной цепи, качественный и количественный состав аминокислот в белке.**

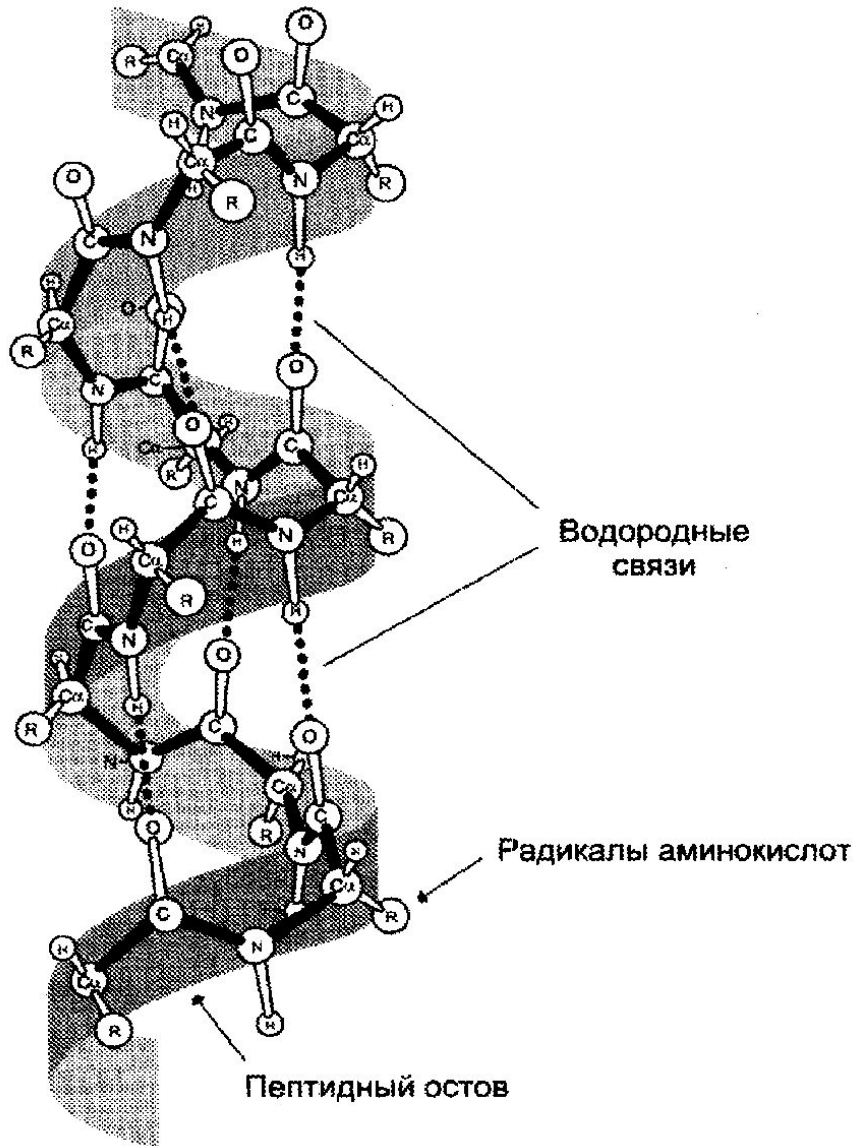
Вторичная структура белков

Вторичная структура белков –

пространственная структура, образующаяся в результате взаимодействий между функциональными группами, входящими в состав полипептидного остова.

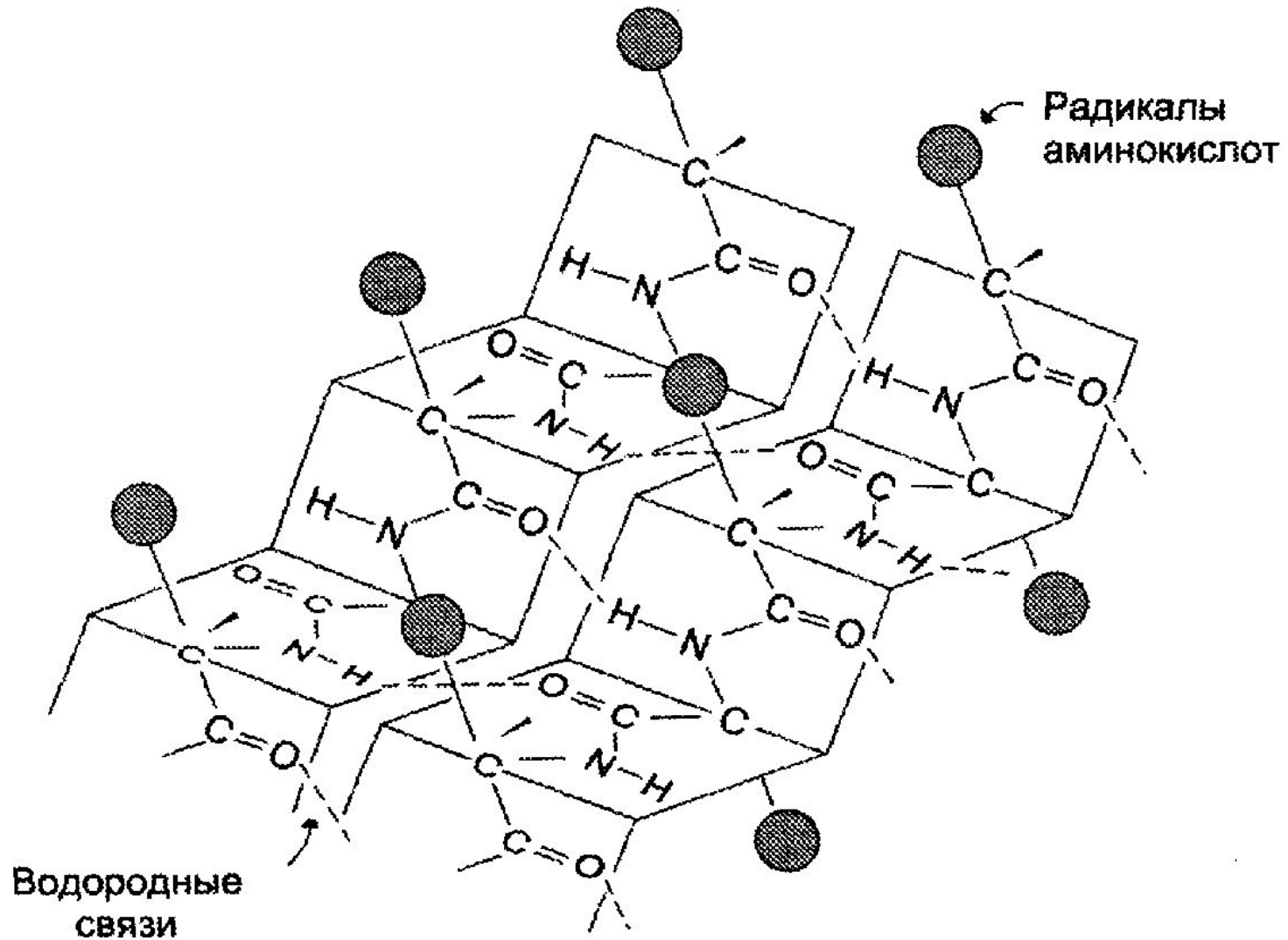
При этом пептидные цепи могут приобретать регулярные структуры двух основных типов: **α -спираль** и **β -структура**.

α-Спираль

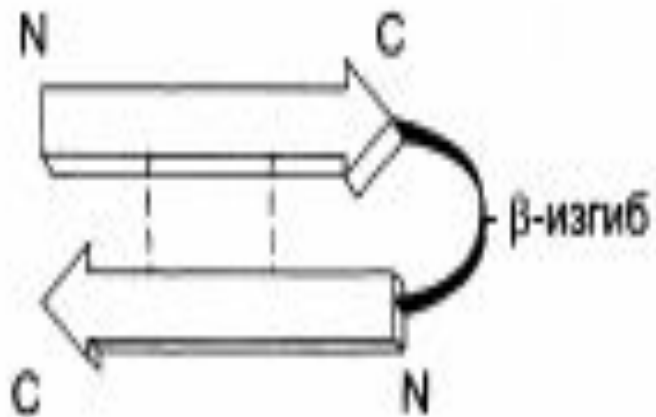


Пространственное строение α -спирализованного участка полипептидной цепи и образование водородных связей, участвующих в формировании α -спирали

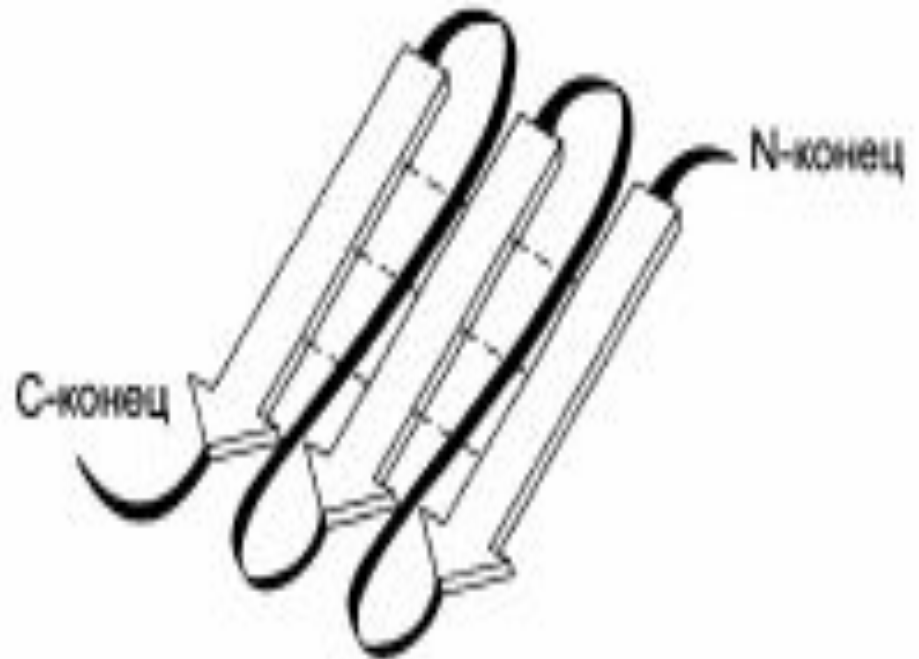
Вторичная структура белка в виде β -складчатого слоя



Параллельный и антипараллельный β -складчатые слои



А



Б

β -структуры обозначены широкими стрелками.
А – антипараллельная β -структура;
Б – параллельные β -складчатые структуры.

Супервторичная (надвторичная) структура белков

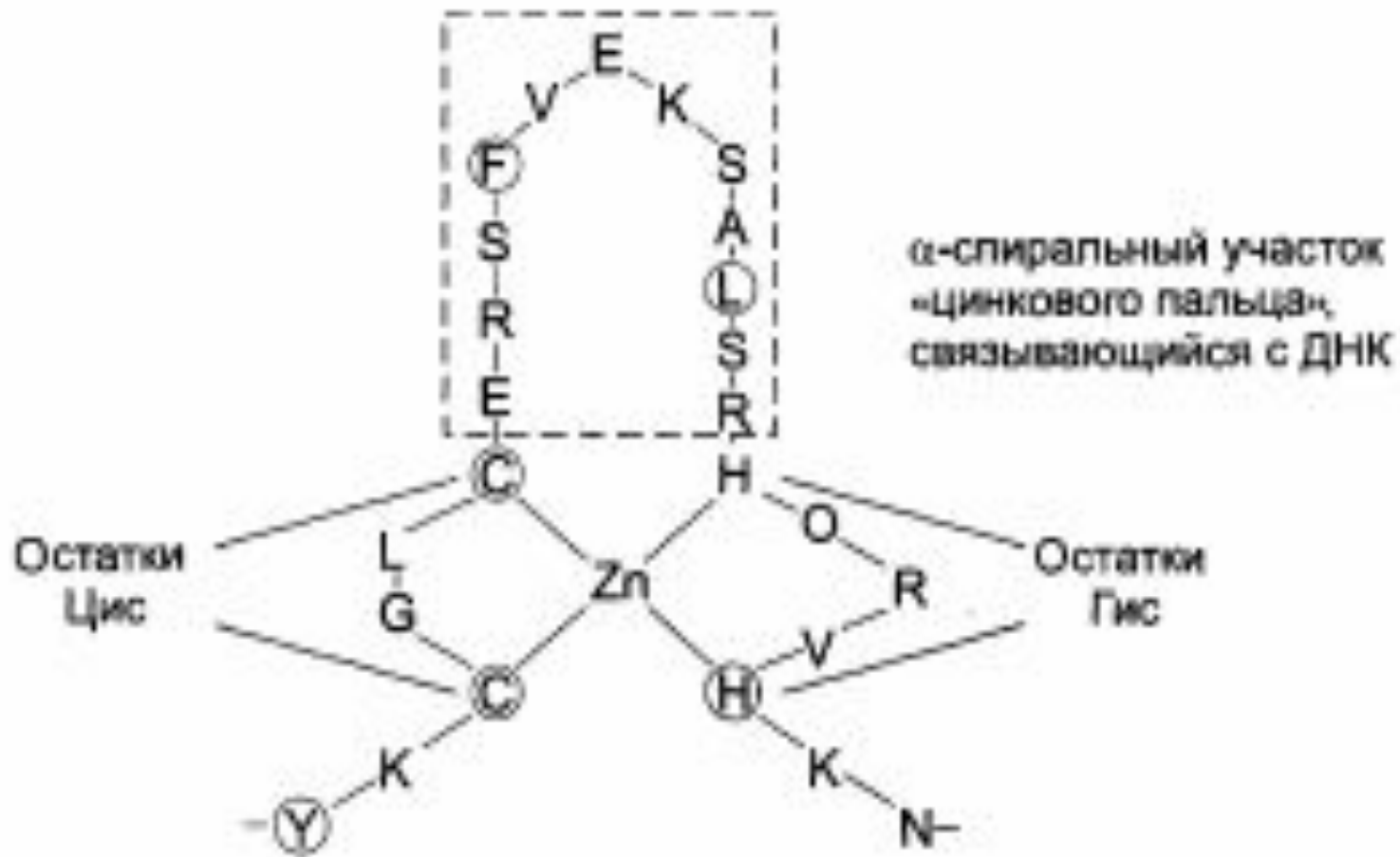
Специфический порядок формирования вторичной структуры, содержащий сочетания элементов вторичной структуры (α -спирали и β -структуры), называют **супервторичной (сверхвторичной) структурой белков.**

Такая структура формируется за счёт межрадикальных взаимодействий.

Классификация супервторичных структур («структурные мотивы»)

- « α -спираль-поворот- α -спираль» (ДНК-связывающий белок);
- «структура β -бочонка» (домен пируваткиназы, триозофосфатизомераза);
- «лейциновая застёжка-молния» (молекулы белков связаны с помощью гидрофобных взаимодействий остатков лейцина этих белков, например, соединения гистонов);
- «цинковый палец» (фрагмент ДНК-связывающего белка).

Фрагмент ДНК-связывающего белка в форме «цинкового пальца»



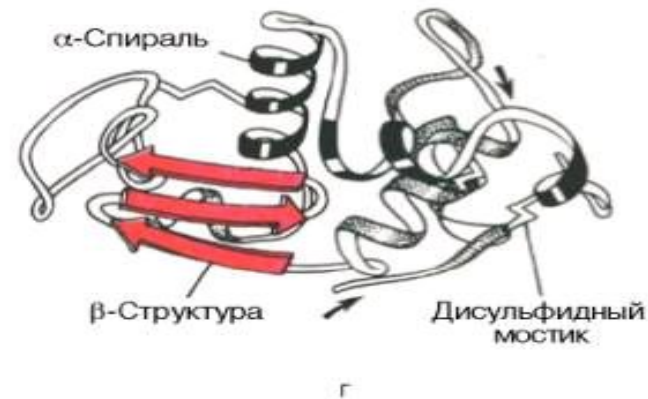
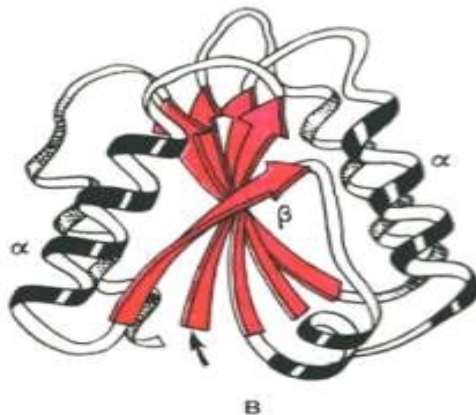
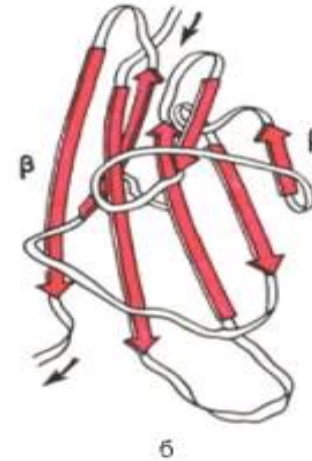
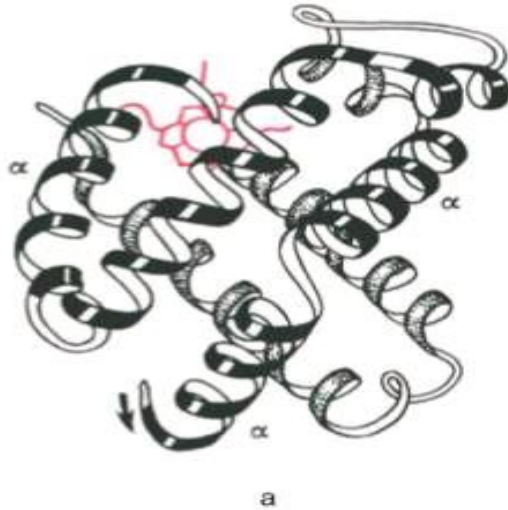
Если полипептидная цепь белка содержит более 200 аминокислот, то, как правило, её пространственная структура сформирована в виде двух или более доменов. **Домен** – это участок полипептидной цепи, который в процессе формирования пространственной структуры приобрёл независимо от других участков той же цепи конформацию глобулярного белка.

Так, лёгкая цепь иммуноглобулина G состоит из двух доменов. В некоторых случаях доменами называют отдельные структурные участки полипептидной цепи.

Конформации белков

Доменное строение глобулярных белков:

а – β -субъединица гемоглобина; б – константный домен иммуноглобулина; в – флаводоксин; г – лизоцим куриного яйца



Конформации белков

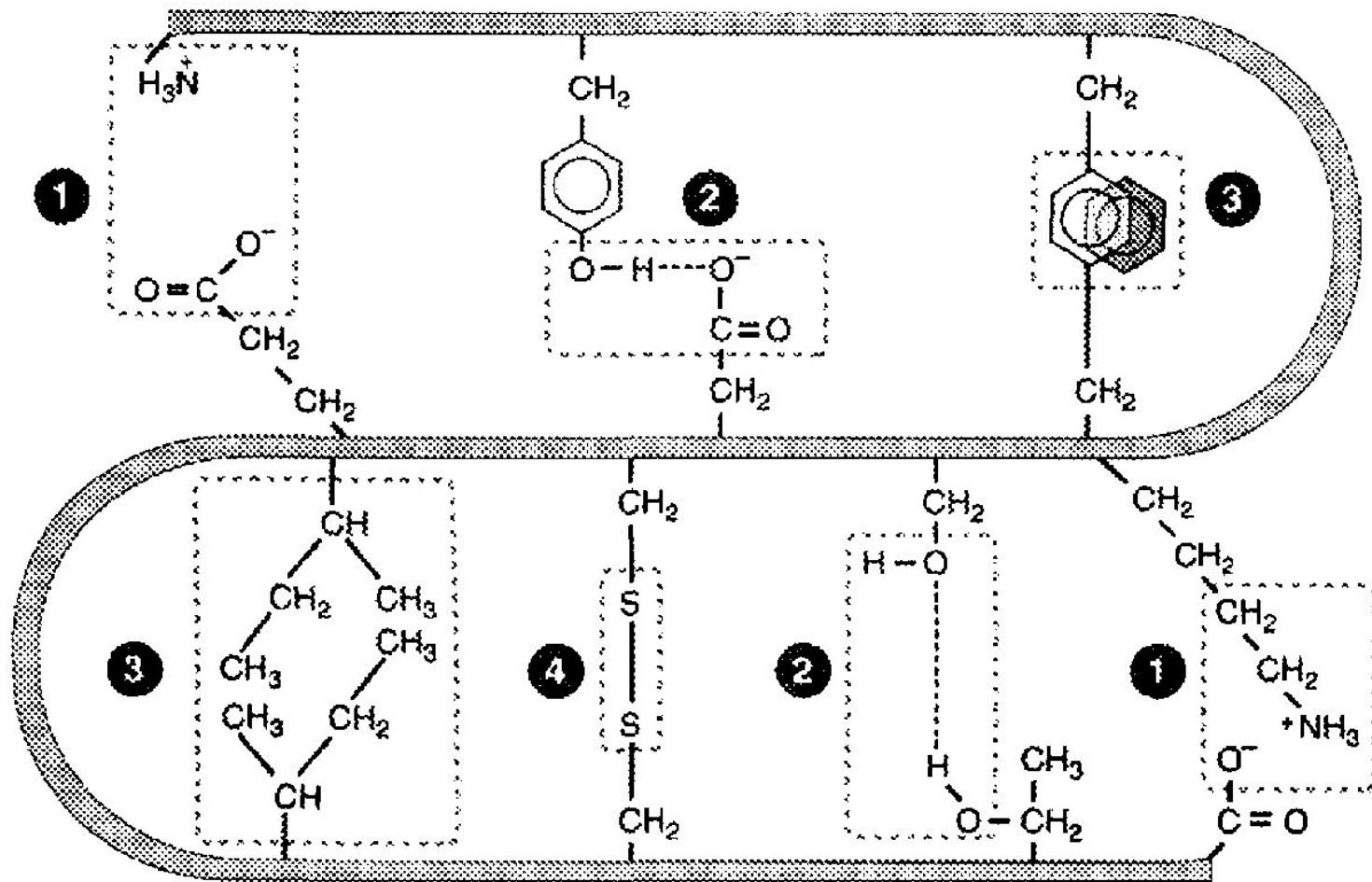
Третичная структура белков –

трехмерная пространственная структура, образующаяся за счет взаимодействий между радикалами аминокислот, которые могут располагаться на значительном расстоянии друг от друга в полипептидной цепи.

Связи, принимающие участие в формировании третичной структуры белков

При укладке полипептидная цепь белка стремится принять энергетически выгодную форму, характеризующуюся минимумом свободной энергии. Поэтому гидрофобные радикалы аминокислот стремятся к объединению внутри глобулярной структуры растворимых в воде белков. Между ними возникают так называемые **гидрофобные взаимодействия**, а также силы ван дер Ваальса между близко прилегающими друг к другу атомами. В результате внутри белковой глобулы формируется **гидрофобное ядро**. Гидрофильные группы пептидного остова при формировании вторичной структуры образуют множество водородных связей, благодаря чему исключается связывание с ними воды и разрушение внутренней, плотной структуры белка.

Типы связей, возникающих между радикалами аминокислот при формировании третичной структуры



1. Ионные связи

3. Гидрофобные взаимодействия

2. Водородные связи

4. Дисульфидные связи

Связи, принимающие участие в формировании третичной структуры белков

Гидрофобные радикалы аминокислот стремятся к объединению внутри глобулярной структуры растворимых в воде белков. Между ними возникают так называемые **гидрофобные взаимодействия**.

В результате внутри белковой глобулы формируется гидрофобное ядро.

Связи, принимающие участие в формировании третичной структуры белков

Ионные связи могут возникать между отрицательно заряженными (анионными) карбоксильными группами радикалов аспарагиновой и глутаминовой кислот и положительно заряженными (катионными) группами радикалов лизина, аргинина или гистидина.

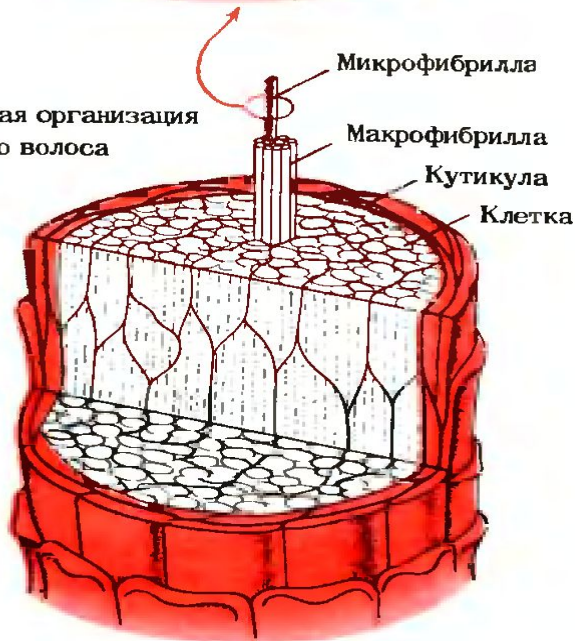
Водородные связи возникают между гидрофильными незаряженными группами (-ОН, -CONH₂, SH-группы) и любыми другими гидрофильными группами.

Третичную структуру некоторых белков стабилизируют **дисульфидные связи**, образующиеся за счёт взаимодействия SH-групп двух остатков цистеина. Эти два остатка цистеина могут находиться далеко друг от друга в линейной первичной структуре белка, но при формировании третичной структуры они сближаются и образуют прочное ковалентное связывание радикалов.

Структурная организация кератина волос



Структурная организация отдельного волоса

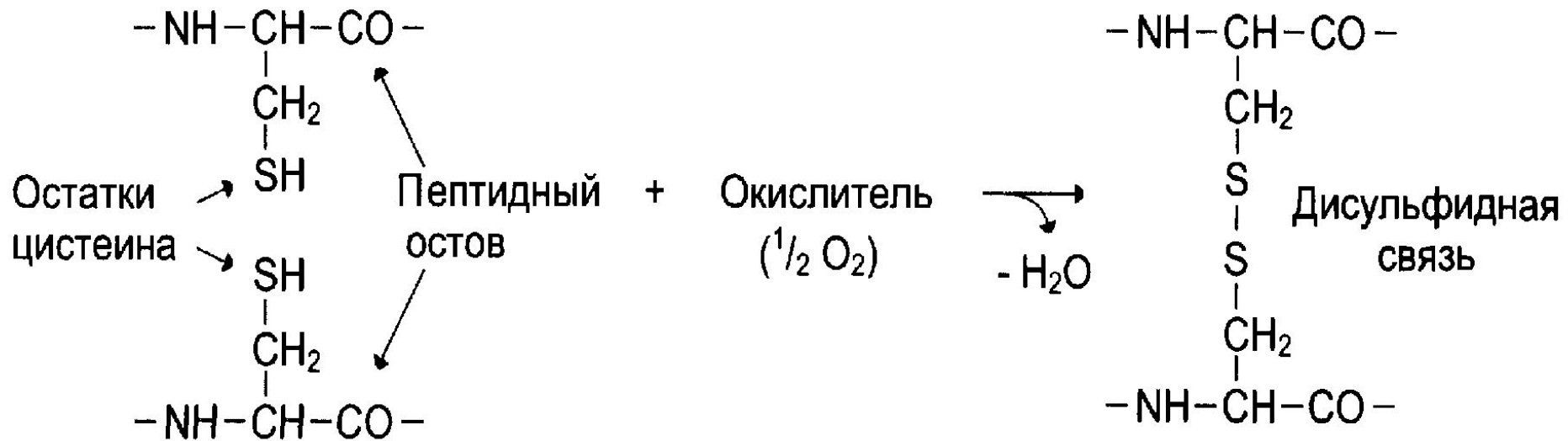


Структура волоса и входящего в его состав α -кератина.

Три α -спиральные цепи образуют скрученный (суперспирализованный) трёхжильный «канат».

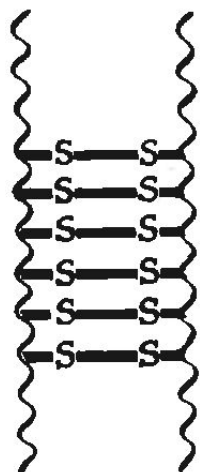
11 таких канатов составляют микрофибриллу волоса

Аминокислота цистеин, имеющая в R-группе атом серы, способна с такой же молекулой образовывать прочную, ковалентную дисульфидную связь (S—S- мостик):

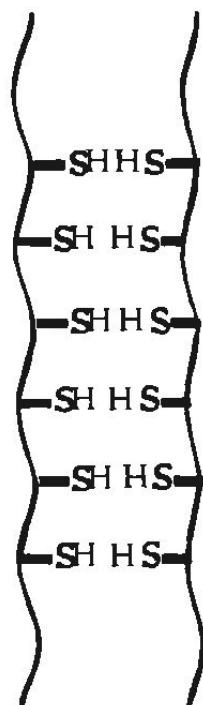


Последовательные стадии перманентной завивки ВОЛОС.

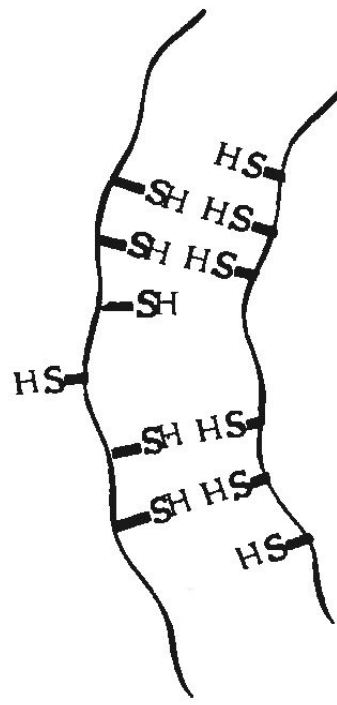
А – прямой волос. Б – Разрушение поперечных связей. В – Механическое изгибание волос. Г – Окисление SH-групп (образование новых S-S-связей)



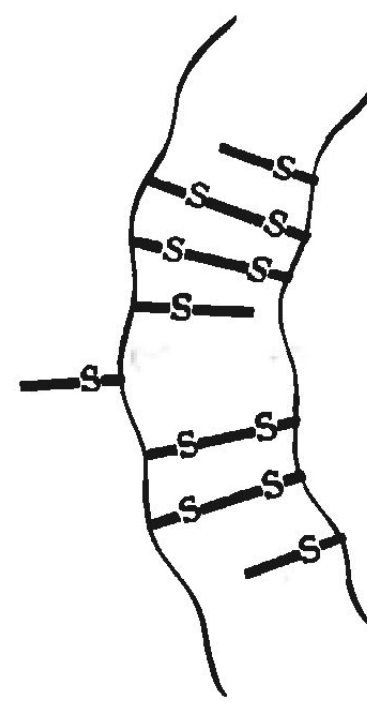
A



B

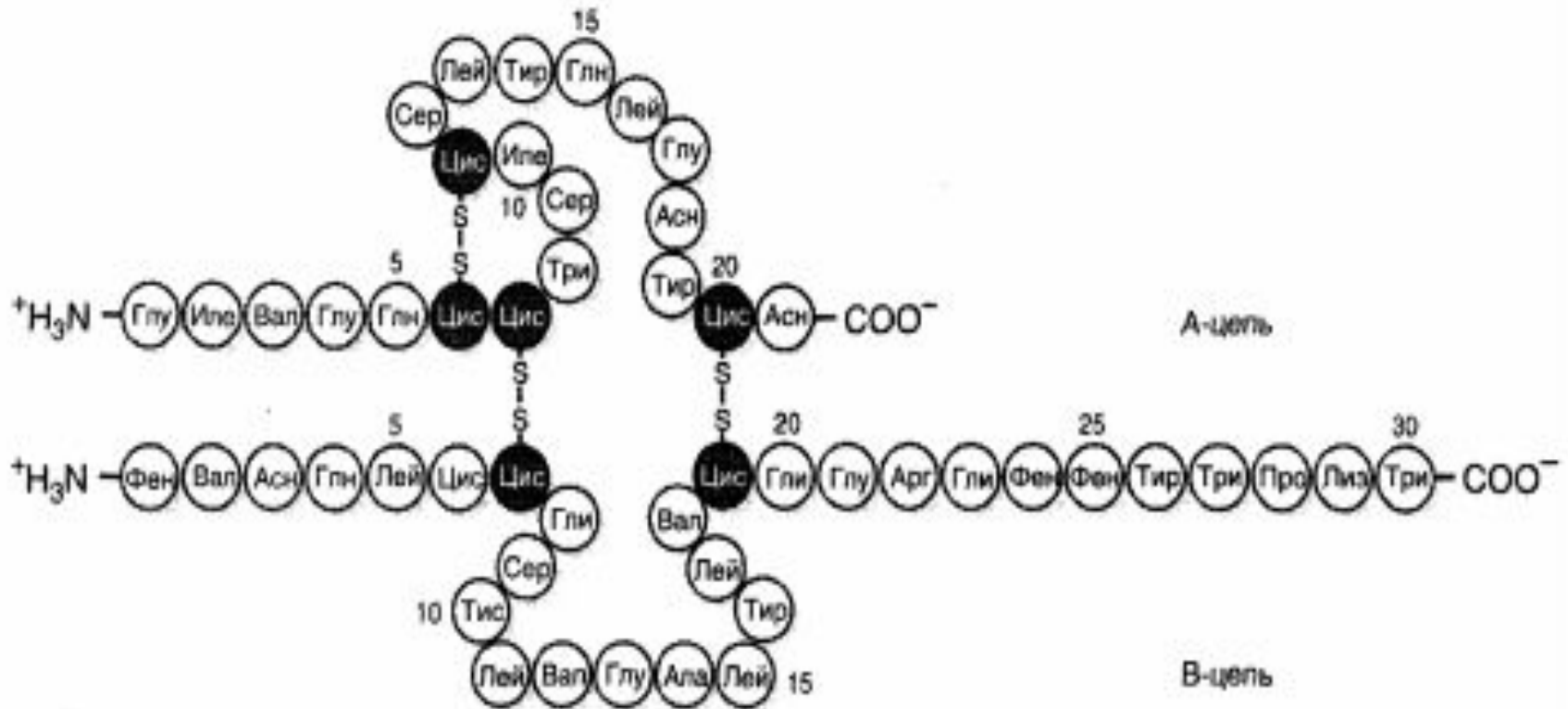


B



Г

Дисульфидные связи в структуре гормона инсулина



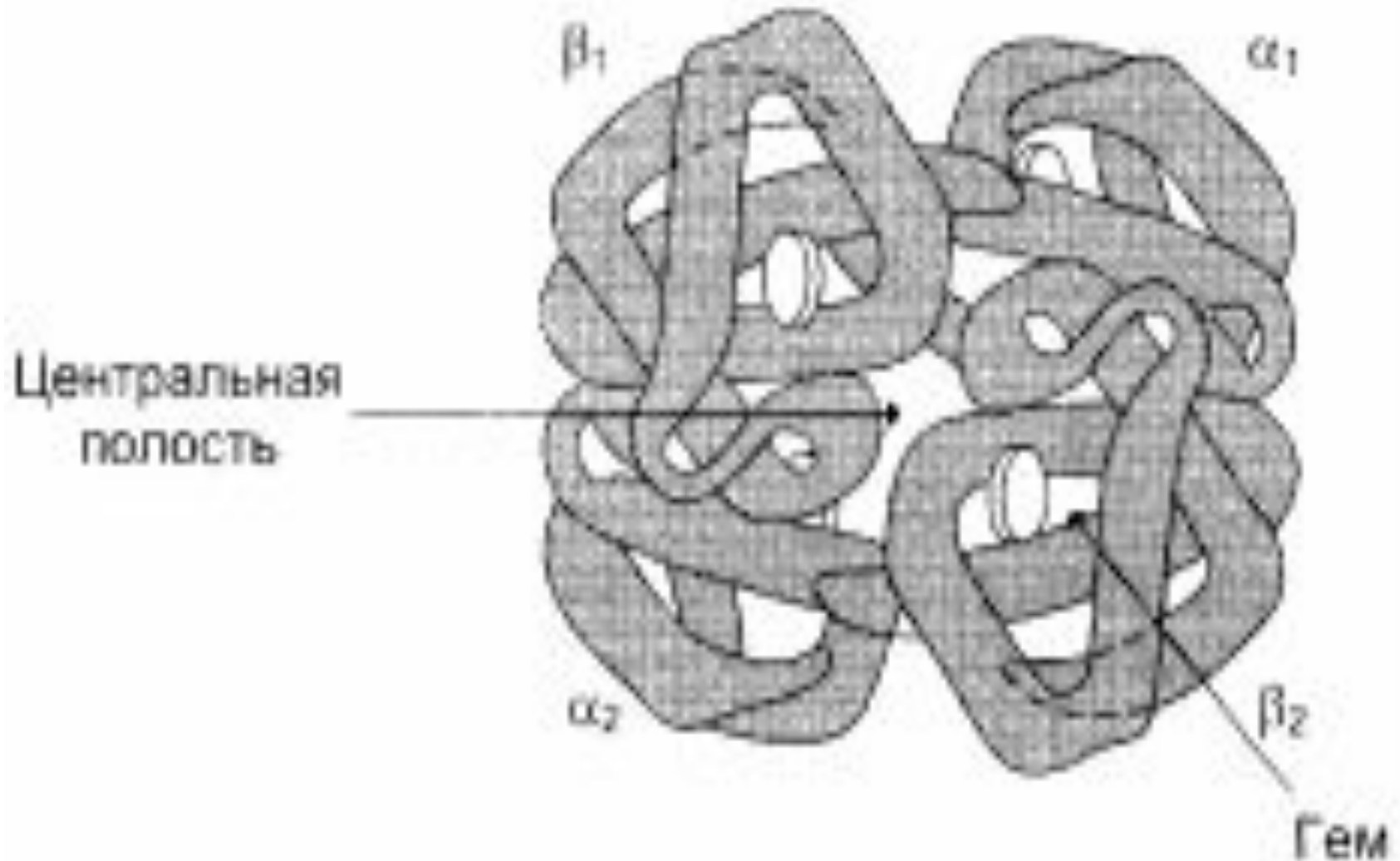
Все белки с одинаковой первичной структурой, находящиеся в одинаковых условиях, приобретают одинаковую, характерную для данного индивидуального белка конформацию, определяющую его специфическую функцию.

Функционально активную конформацию белка называют **нативной структурой.**

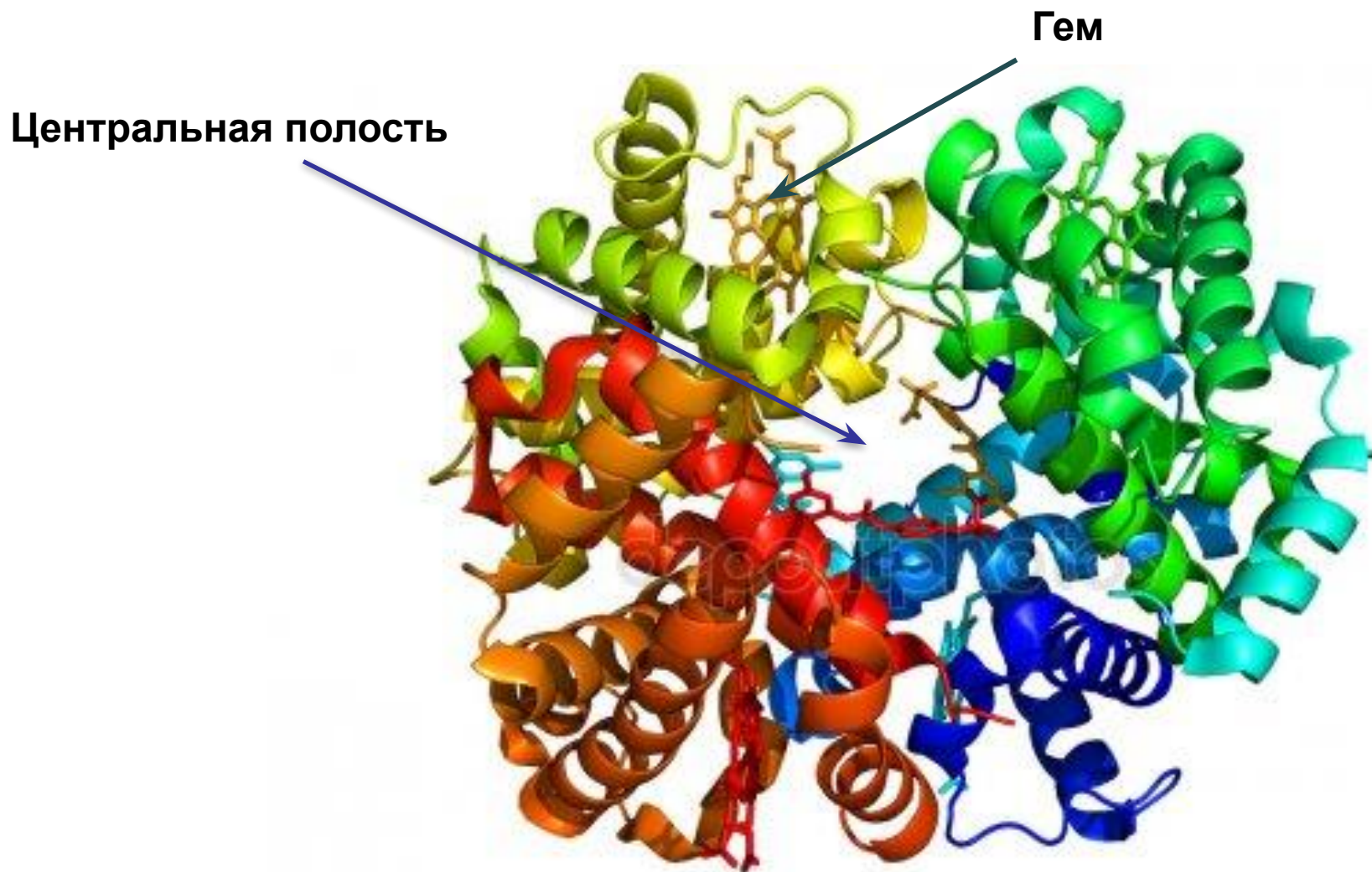
Конформации белков

Количество и взаиморасположение полипептидных цепей в пространстве называют **«четвертичная структура белков»**. Отдельные полипептидные цепи в таком белке носят название **протомеров**, или **субъединиц**. Белок, содержащий в своём составе несколько протомеров, называют **олигомерным белком**.

Строение гемоглобина



Модель гемоглобина человека

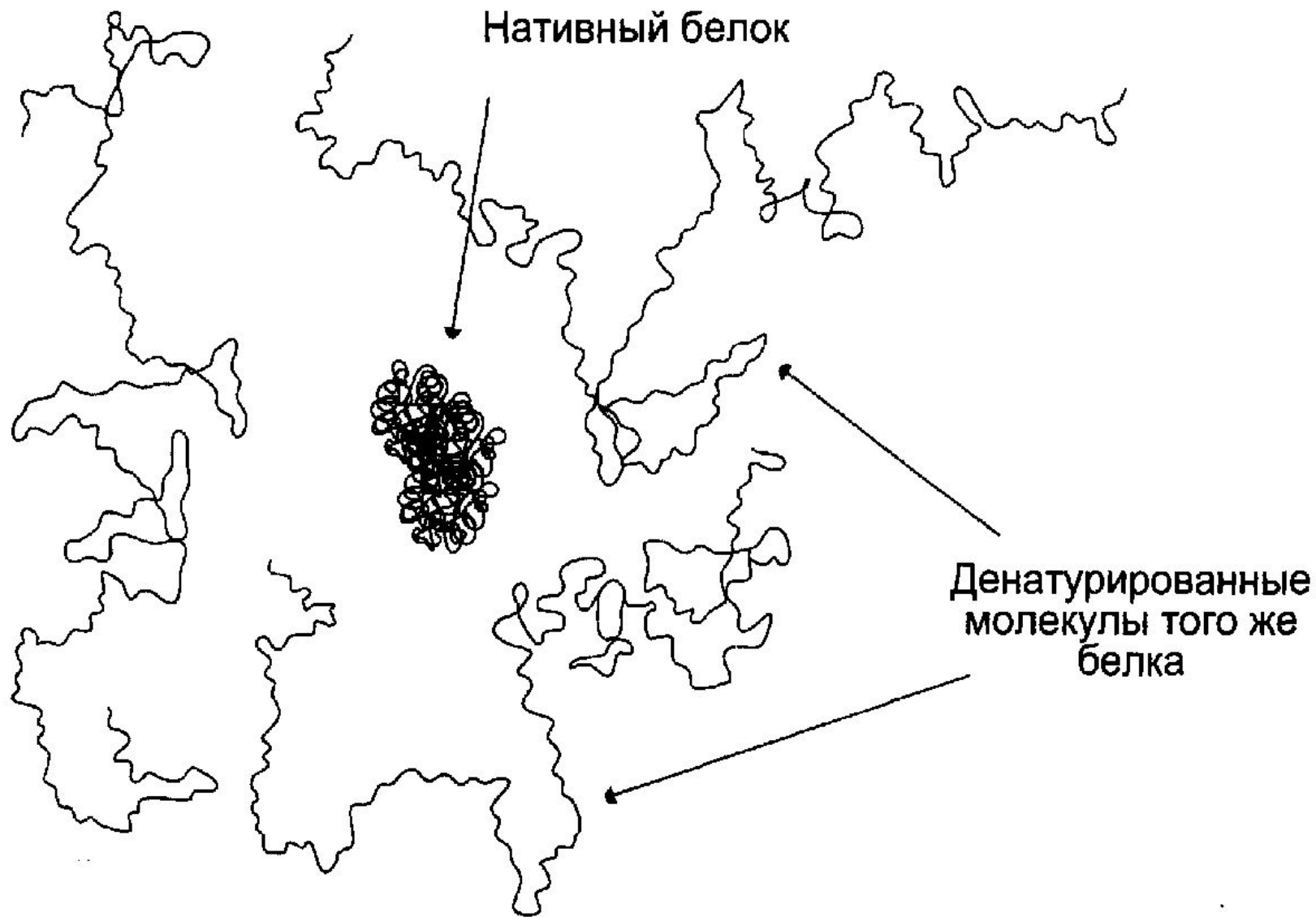


5. Взаимосвязь структуры и функции. Денатурация и ренатурация

Денатурация – изменение нативной структуры белка под действием различных факторов (химические – концентрированные кислоты, щёлочи, спирты и пр., физические – температура, радиация и пр.).

Если после снятия действия фактора белок вновь приобретает нативную конформацию и функции, то говорят о его **ренатурации**.

Структура нативной молекулы белка (в центре) и трех денатурированных молекул этого же белка



Денатурация и ренатурация рибонуклеазы



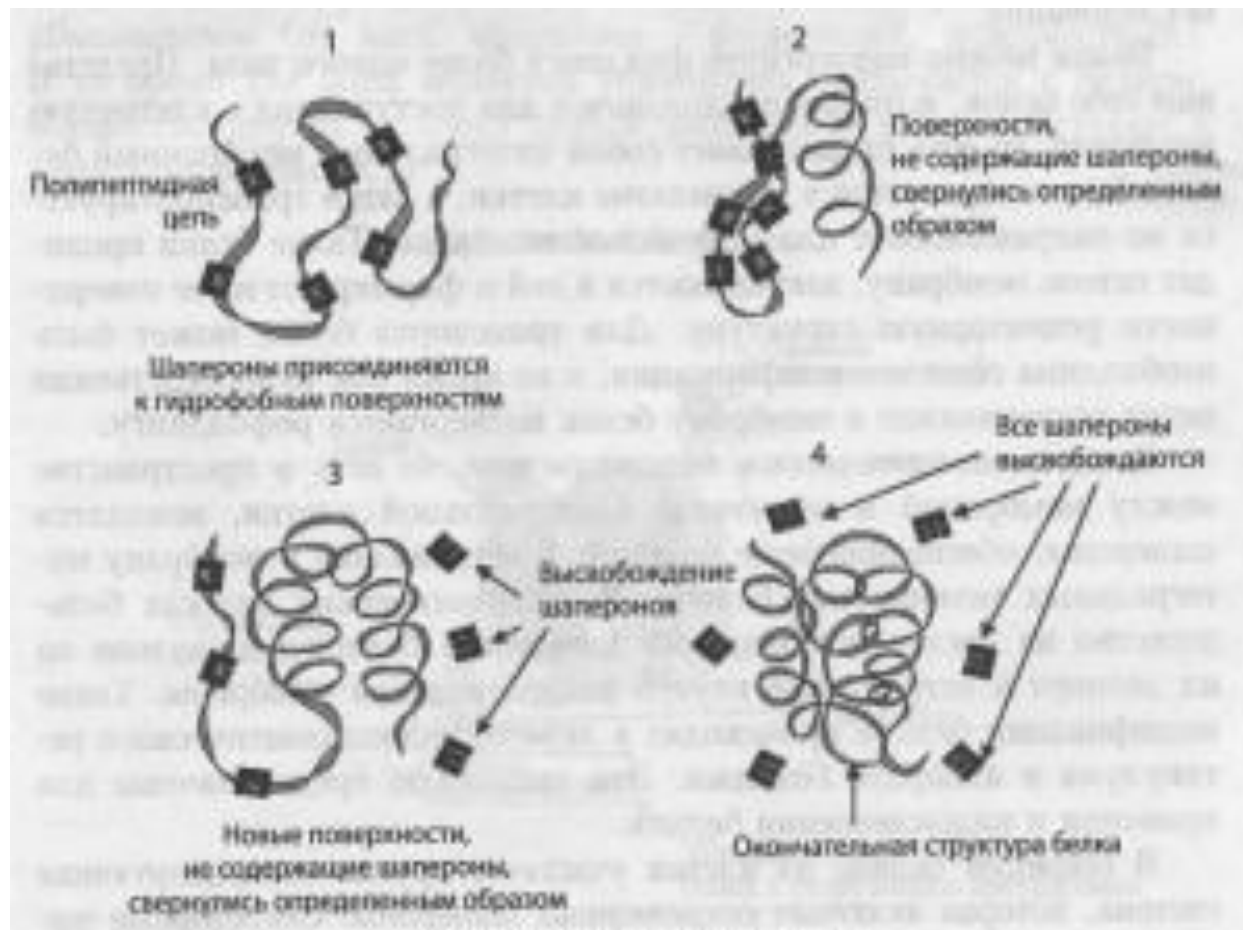
А – нативная молекула рибонуклеазы, в третичной структуре которой имеются 4 дисульфидных связи; Б – денатурированная молекула рибонуклеазы; В – ренатурированная (нативная) молекула рибонуклеазы, в структуре которой вновь образованы 4 дисульфидные связи между теми же остатками цистеина

Формирование трёхмерной структуры белка в клетке

Формирование трёхмерной структуры белков — важнейший биологический процесс, так как от пространственной структуры белков зависит их биологическая функция.

Процесс сворачивания полипептидной цепи в правильную пространственную структуру получил название «**фолдинг белков**». Индивидуальные белки, продукты одного гена, имеют идентичную аминокислотную последовательность и приобретают в одинаковых условиях клетки одинаковую конформацию и функцию. Это положение подтверждается способностью некоторых белков после денатурации (при которой происходит разрыв слабых связей, но не повреждается первичная структура белков) спонтанно восстанавливать свою уникальную конформацию и функцию.

Форма белка определяется с помощью шаперонов



Болезни, связанные с нарушением фолдинга белков

Некоторые растворимые в воде белки при изменении условий могут приобретать конформацию плохо растворимых, способных к агрегации молекул, образующих в клетках фибриллярные отложения, именуемые **амилоидом**.

В результате отложения амилоида в органах и тканях нарушаются структура и функция клеток, наблюдают их дегенеративные изменения и разрастание соединительнотканых или глиальных клеток.

Развиваются болезни, называемые **амилоидозами**. Для каждого вида амилоидоза характерен определённый тип амилоида.

В настоящее время известно и описано более 15 таких болезней. Наиболее известными и распространёнными заболеваниями, вызванными накоплением амилоида, являются:

- Болезнь Альцхаймера (β -амилоидоз нервной системы).
- Прионные болезни (в ЦНС образуются и накапливаются прионы – белки, обладающие инфекционными свойствами).

**6. Функции белков:
структурная,
каталитическая,
транспортная, рецепторная,
регуляторная, защитная,
сократительная и др.**

Классификации белков

По выполняемым функциям:

- **ферменты** (катализаторы – каталаза, амилаза и др.),
- **регуляторные** (гормоны и др.),
- **рецепторные** (белки плазматических мембран),
- **транспортные** (альбумин крови переносит гидрофобные молекулы, транспортные молекулы мембран, гемоглобин и др.),
- **структурные** (коллаген, эластин),
- **защитные** (иммуноглобулины, белки свёртывания крови),
- **сократительные** (актин, миозин, тубулин и пр.),
- **резервные** (овальбумин, глютелины и др.),
- **токсигенные** (ботулинический токсин, токсины змей и пр.),
- **источник энергии.**

**7. Свойства простых
белков. Гистоны,
альбумины. Структурные
белки: тубулины, кератины,
коллаген, эластин**

**Простые белки при гидролизе
распадаются только на
свободные аминокислоты.**

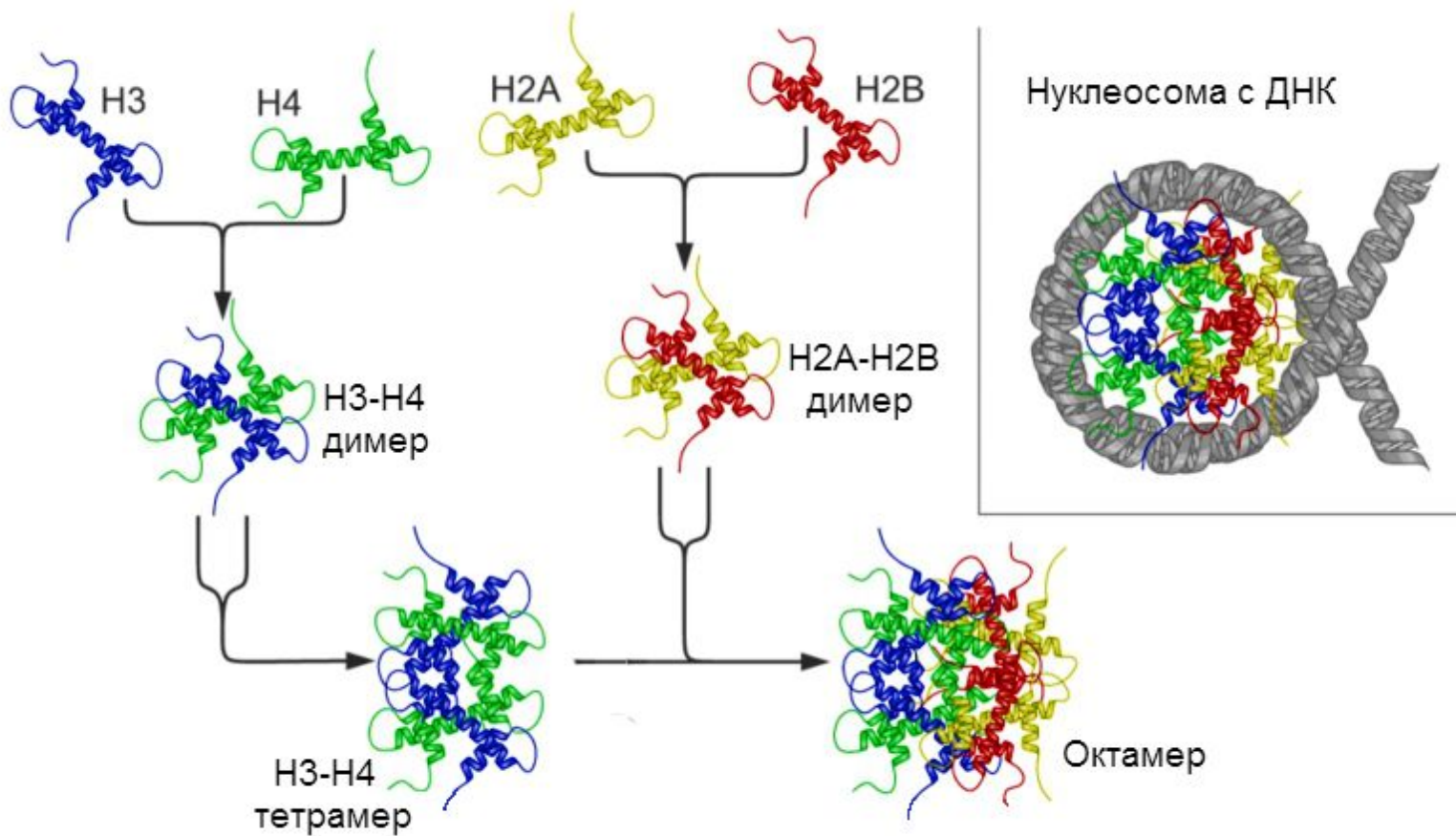
Простые белки делятся на основании некоторых условно выбранных критериев на ряд подгрупп: протамины, гистоны, альбумины, глобулины, проламины, глютелины и др.

Гистоны – являются белками основного характера, растворимы в солевых растворах.

Гистоны выполняют две основные функции: они участвуют в упаковке нитей ДНК в ядре и в эпигенетической регуляции таких ядерных процессов, как транскрипция, репликация и репарация.

Существует пять различных типов гистонов H1/H5, H2A, H2B, H3, H4. Гистоны H2A, H2B, H3, H4, называемых *кóровыми* гистонами (от англ. *core* – сердцевина), формируют нуклеосому, представляющую собой белковую глобулу (нуклеосомный кор), вокруг которой накручена нить ДНК (1,75 оборота – около 146 пар нуклеотидов). Гистон H1/H5, называемый *линкерным* гистоном (от англ. *link* – связь), связывается с внешней стороной нуклеосомы, фиксируя на ней нить ДНК.

Формирование нуклеосомы



Альбумины (от лат. *albumen*, род. падеж *albuminis* – белок) – растворимы в воде и солевых растворах, водорастворимые глобулярные белки, входящие в состав сыворотки крови, цитоплазмы клеток животных и растений, молока.

К альбуминам относятся: сывороточный и яичный альбумин, а также лактальбумин.

Кератины – семейство фибриллярных белков, обладающих механической прочностью, которая среди материалов биологического происхождения уступает лишь хитину. В основном из кератинов состоят роговые производные эпидермиса кожи – такие структуры, как волосы, ногти, рога носорогов, перья и рамфотека клюва птиц и др.

Тубулин – основной белок микротрубочек, обладающий сократительными функциями; димер, состоящий из α - и β -цепей с молекулярными массами 55 кДа.

Коллаген – составляет 25-33% от общего количества белка организма взрослого человека, или 6% от массы тела.

Коллагены – семейство фибриллярных белков, секретируемых клетками соединительной ткани.

Коллагеновые фибриллы входят в состав кожи, сухожилий, хрящей и костей.

Эластин – основной белковый компонент, из которого состоят эластические волокна.

При ферментативном гидролизе эластина в гидролизате обнаруживаются десмозин и изодесмозин. Эти соединения содержатся только в эластине. Считают, что при образовании десмозина сначала 3 остатка лизина окисляются до соответствующих ϵ -альдегидов, а затем происходит их соединение с четвертым остатком лизина. Очевидно, именно благодаря своей структуре десмозин и изодесмозин могут одновременно входить в состав четырех пептидных цепей. По-видимому, этим можно объяснить, что эластин в отличие от других фибриллярных белков способен растягиваться в двух направлениях.

Десмозин

