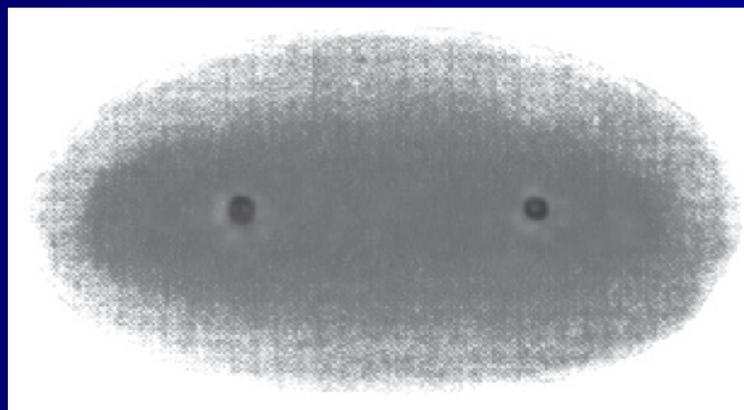
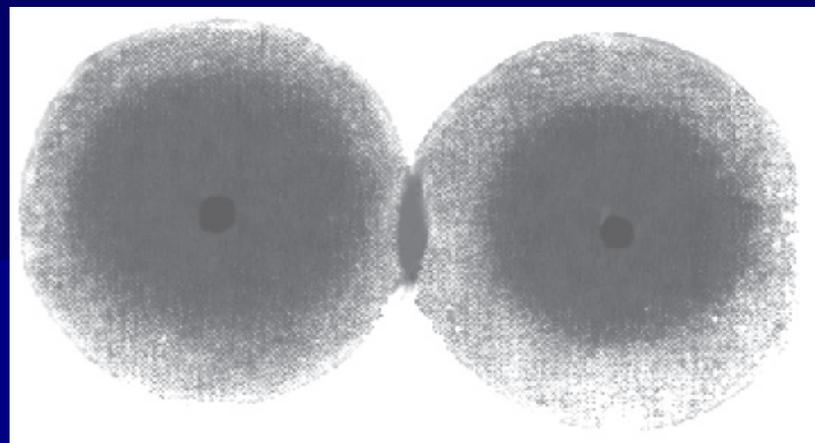
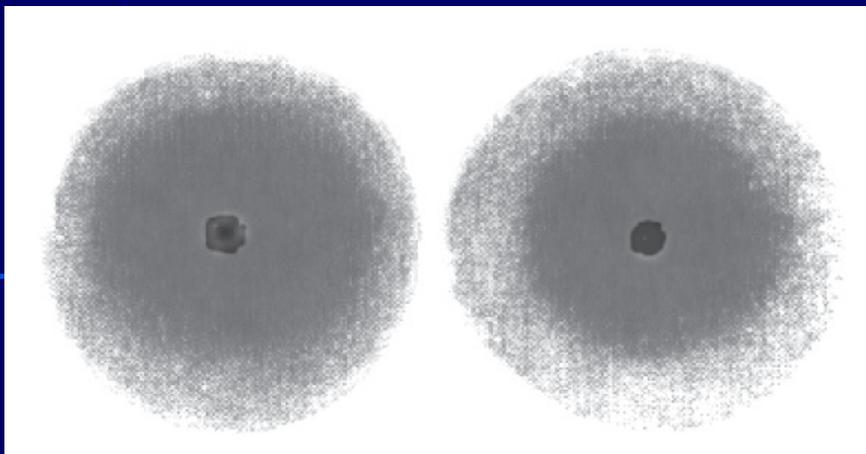
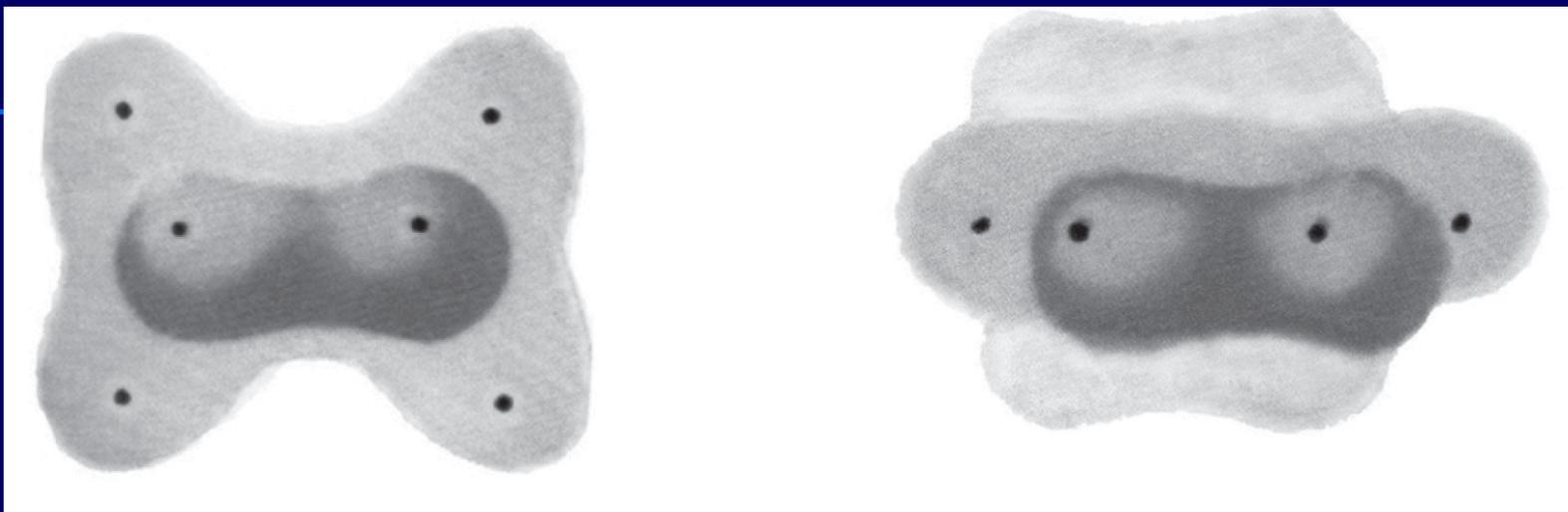


**Живая клетка  
глазами  
химика-органика**



*Рис. 1. S-электронные облака атома водорода (1) и образование двухядерной системы (2, 3). Это простейший тип ковалентной  $\sigma$ -связи.*



*Рис. 2. Электронные облака в молекулах этилена (1) и ацетилена (2).*



*Рис. 3. Электронные облака в молекулах бензола (1)  
и бутадиена (2).*

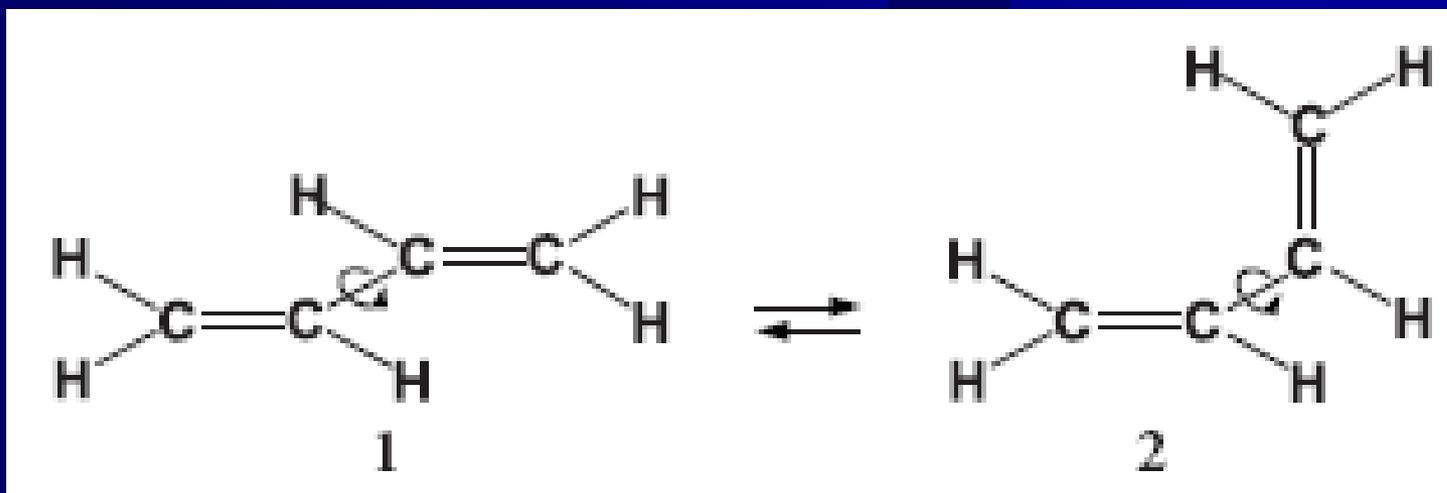


Рис. 4

$$G = H - TS$$

**H – энтальпия**

**S – энтропия (мера упорядоченности)**

**Так как абсолютные величины этих функций не известны рассчитывают их изменения**

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

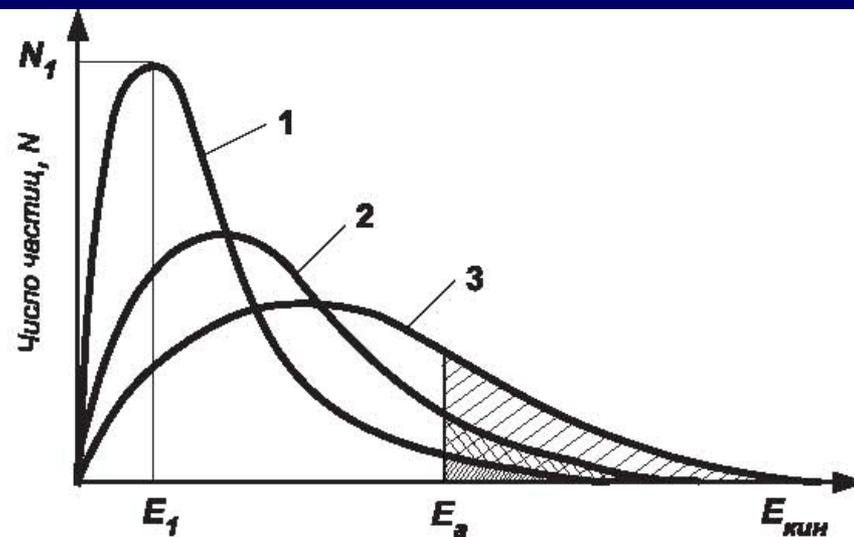
**Химикам, и тем более биологам, при оценке энтропийной составляющей, удобнее иметь дело энтропии данное Больцманом**

$$S = k/nW$$

**k-постоянная Больцмана**

**W-вероятность зависящая от множественности микросостояний.**

Рис. 5



*Рис. 6. Распределение частиц газа по кинетической энергии при различных температурах: 1 —  $T_1$ ; 2 —  $T_2$ ; 3 —  $T_3$ ;  $T_1 < T_2 < T_3$ .*

## Иерархия построения материального мира

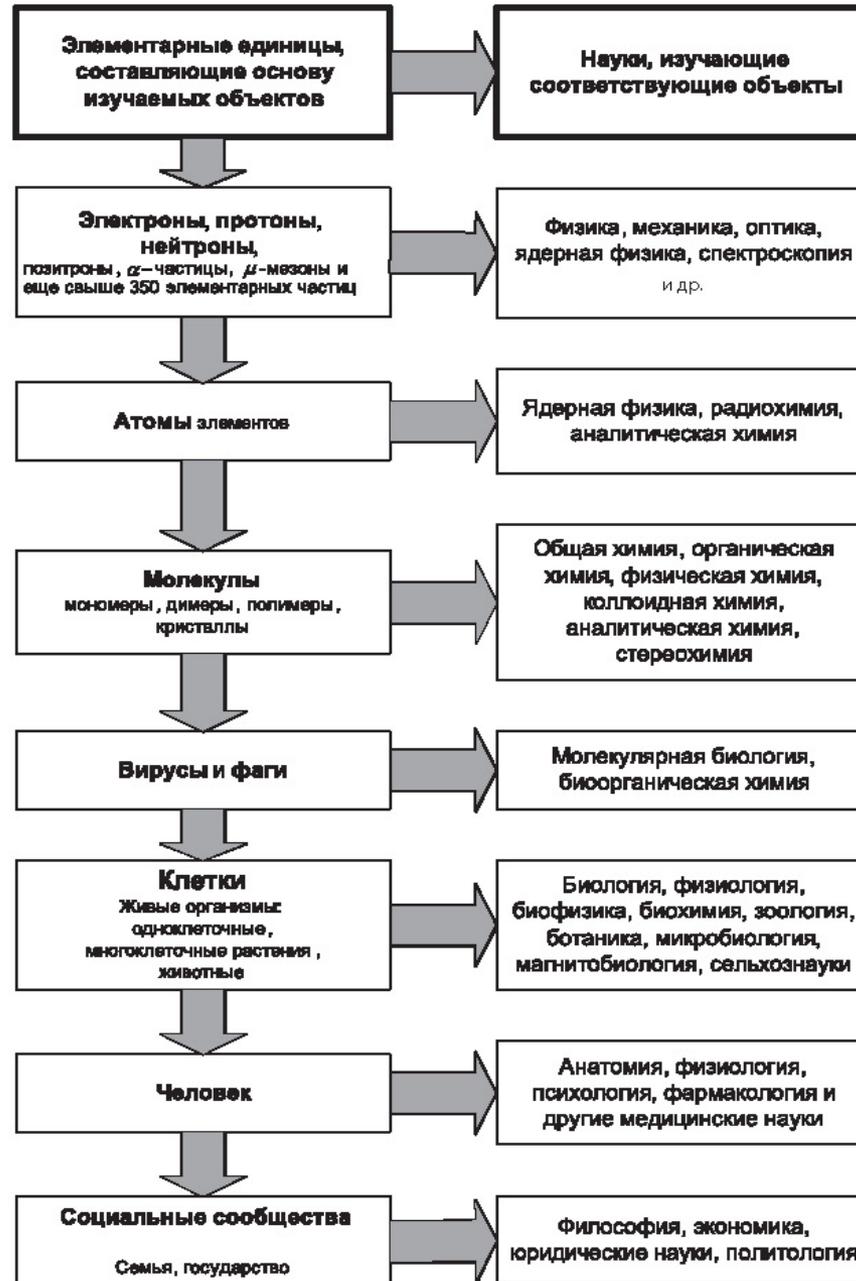
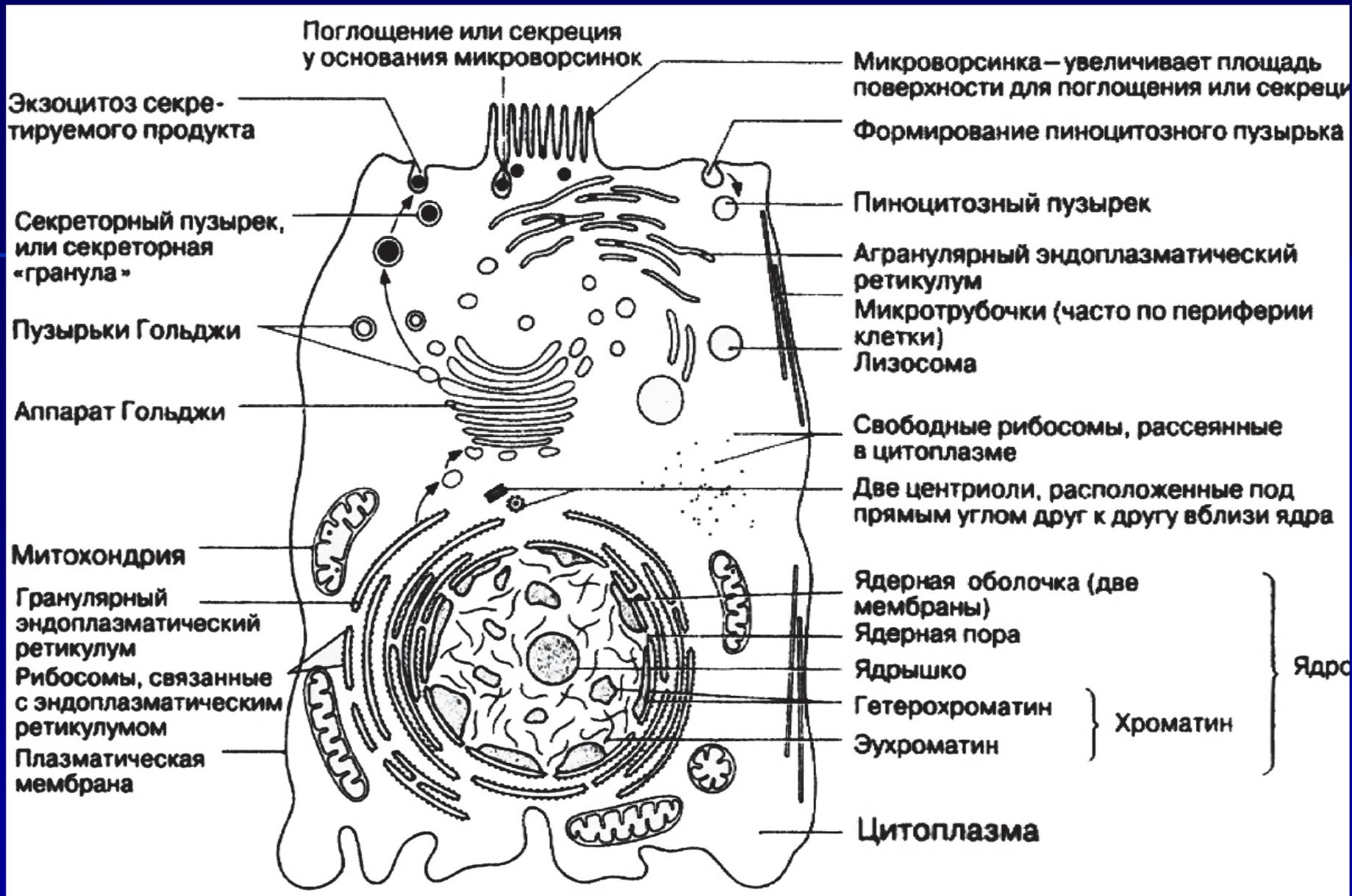
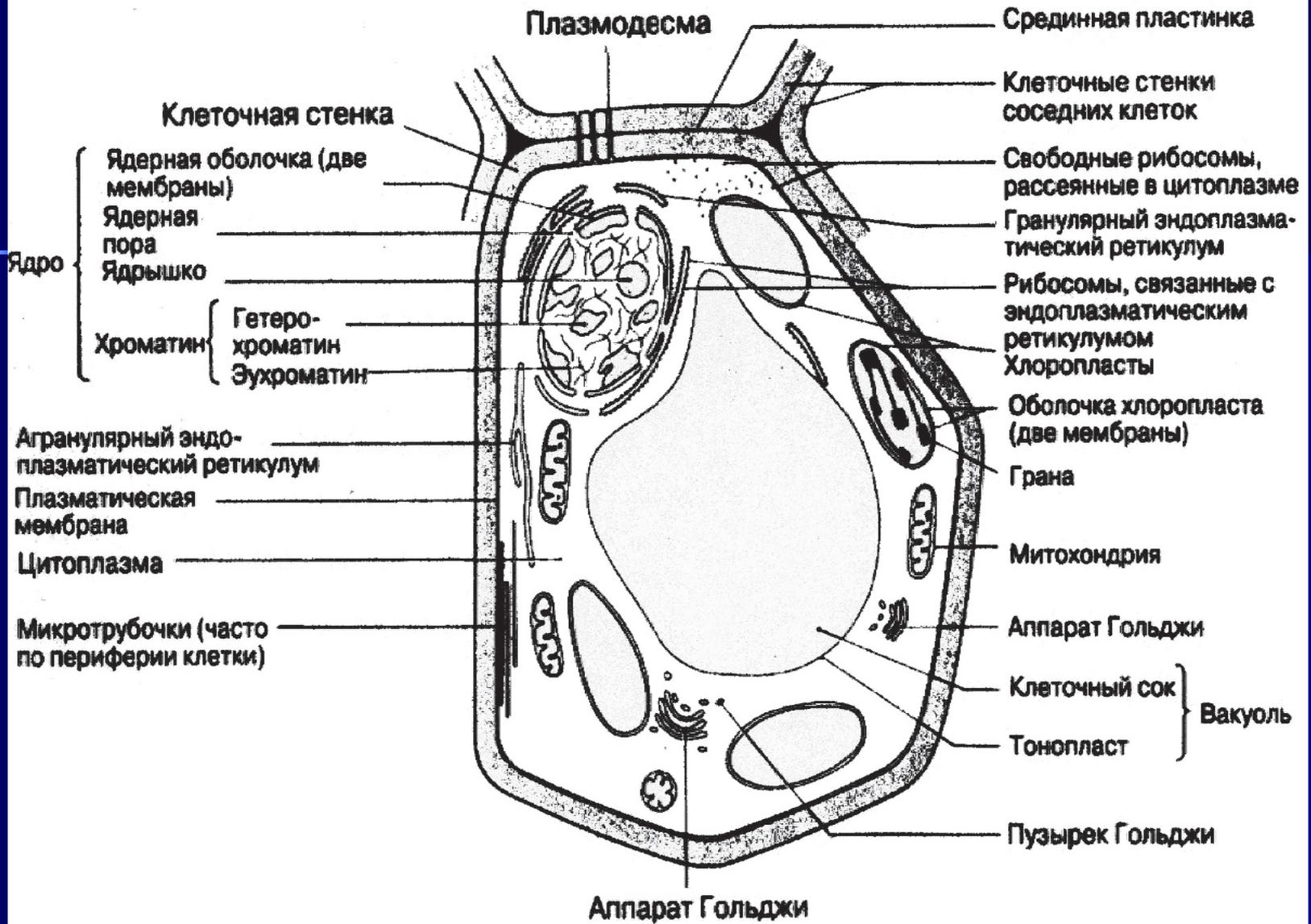


Рис. 7

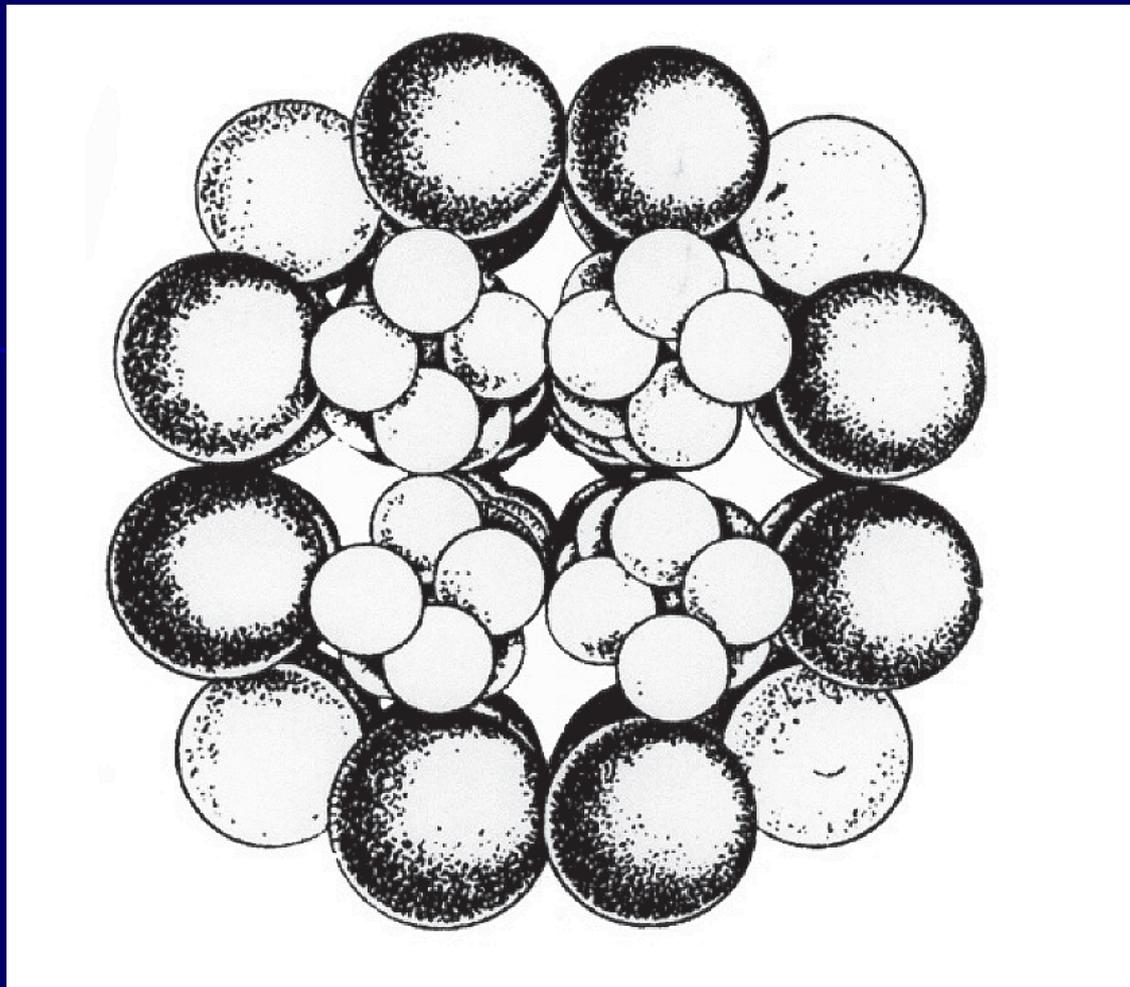




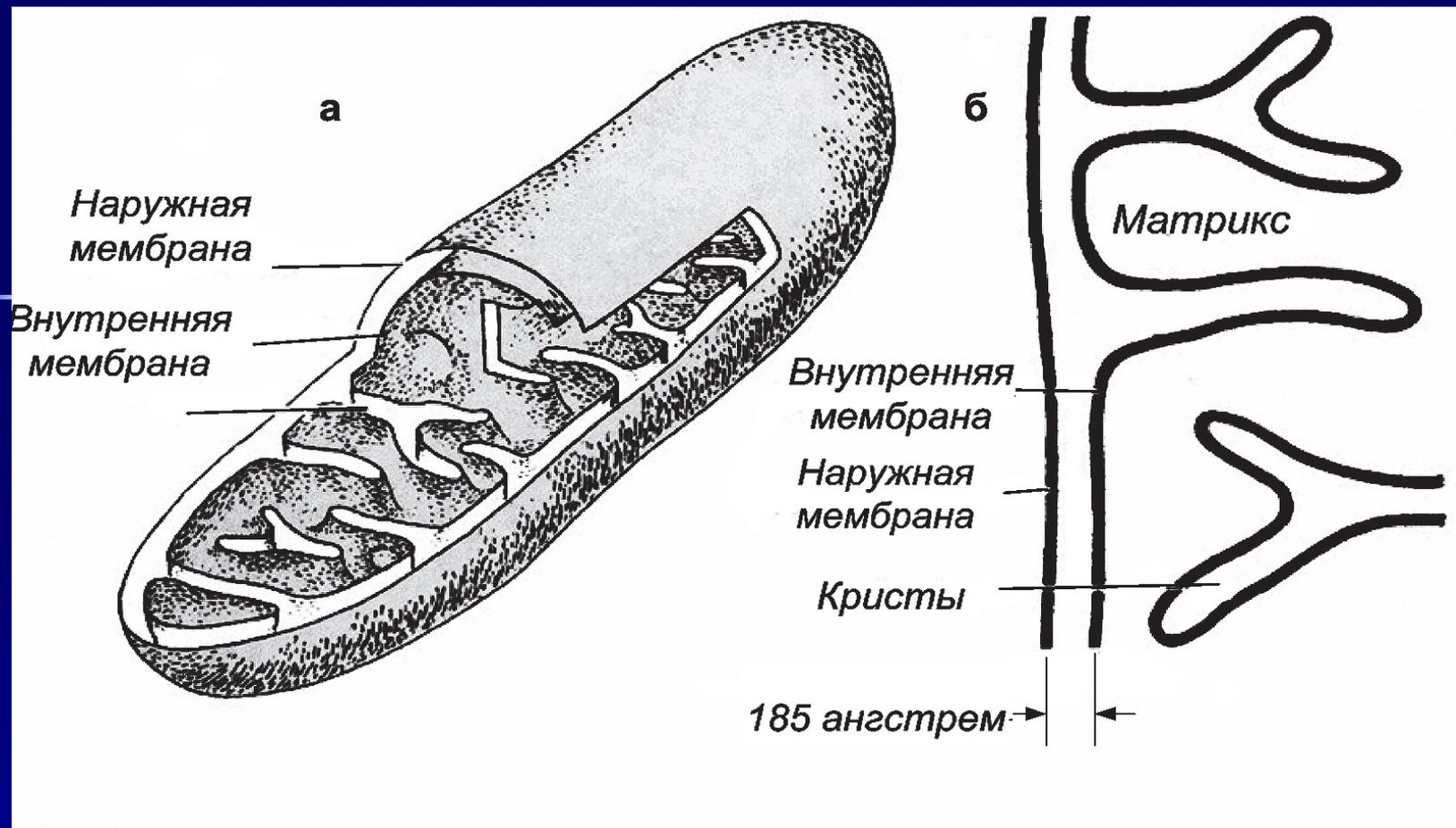
*Рис. 8. Ультраструктура обобщенной животной клетки, выявляемая при помощи электронного микроскопа.*



*Рис. 9. Ультраструктура обобщенной растительной клетки, выявляется при помощи электронного микроскопа.*



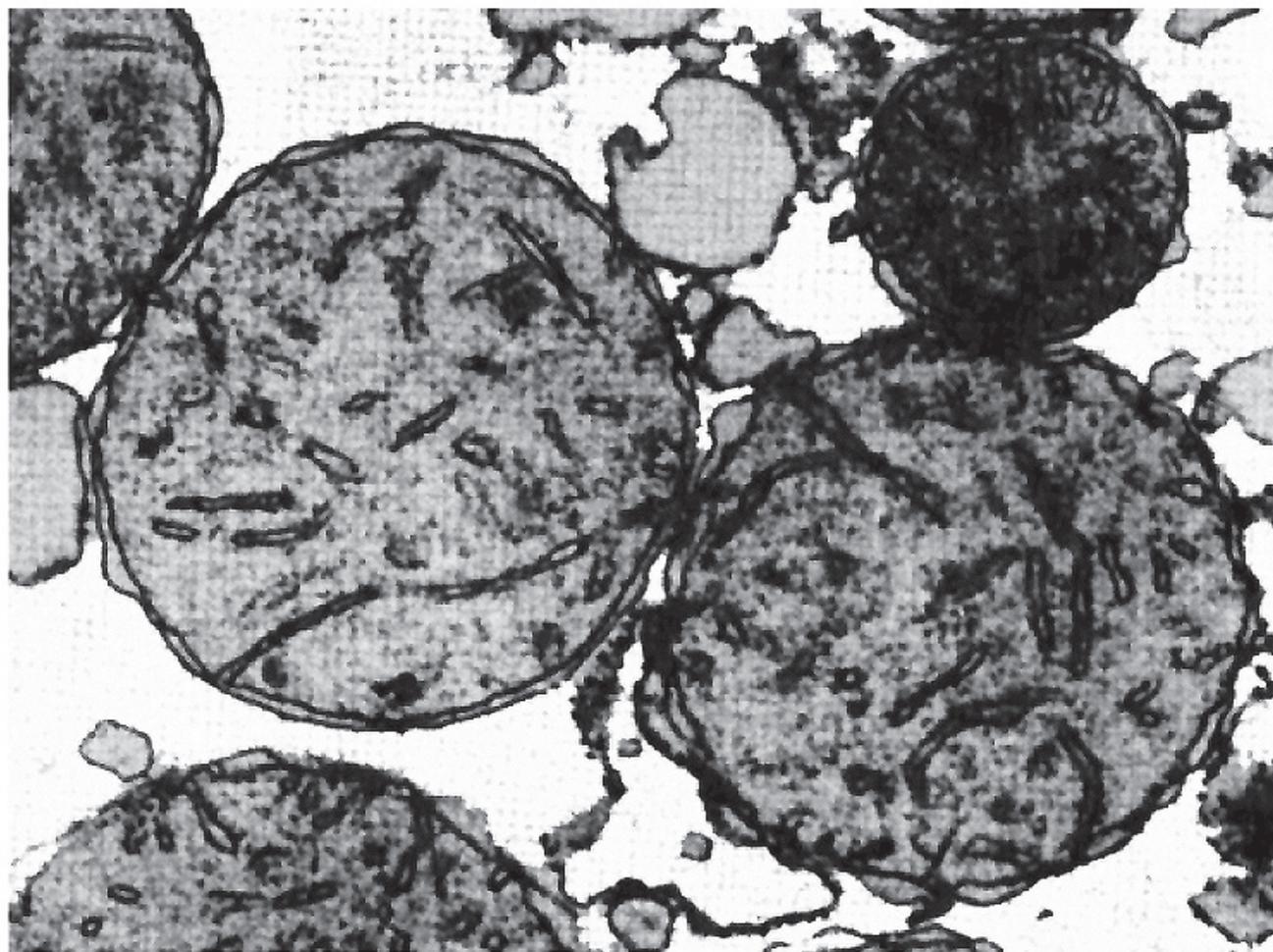
*Рис.10. Модель надмолекулярной организации пируватдегидрогеназы: 64 протомера редуктазы-трансцетилазы липоевой кислоты образуют центральный тетраэдр, состоящий из маленьких сферических тел; вокруг нее расположены в виде двух колец (одно над другим) 16 протомеров декарбоксилазы пирувата (большие сферы) и 8 протомеров дегидрогеназы дигидролипата (средние сферы).*



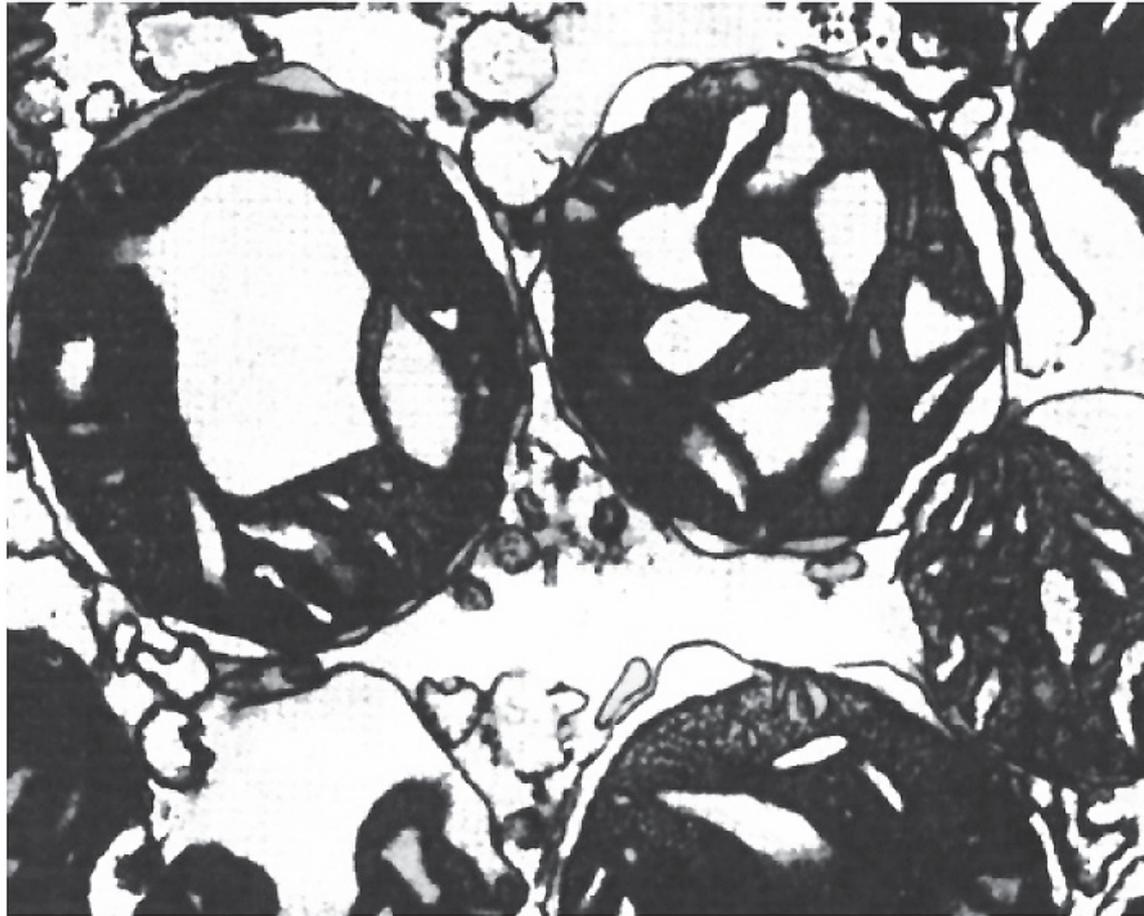
*Рис. 11. Строение митохондрии:*

*а — митохондрия в целом напоминает наполненный жидкостью сосуд с заходящими внутрь стенками;*

*б — стенка митохондрии состоит из двойной мембраны, причем складки внутренней заходят внутрь, образуя кристы.*



*Рис. 12. Электронно-микроскопическое изображение печеночных митохондрий после 15-минутной инкубации в условиях метаболического состояния.*



*Рис. 13. Такой же образец митохондрий, как и на рис. 12, фиксированный через 35 секунд после того, как были переведены добавлением АДФ из состояния покоя в активное состояние. Видна глубокая перестройка внутренней структуры — внутренняя мембрана резко сокращена, уплотнена, матрикс конденсирован, слился с гребнями (X 50000).*

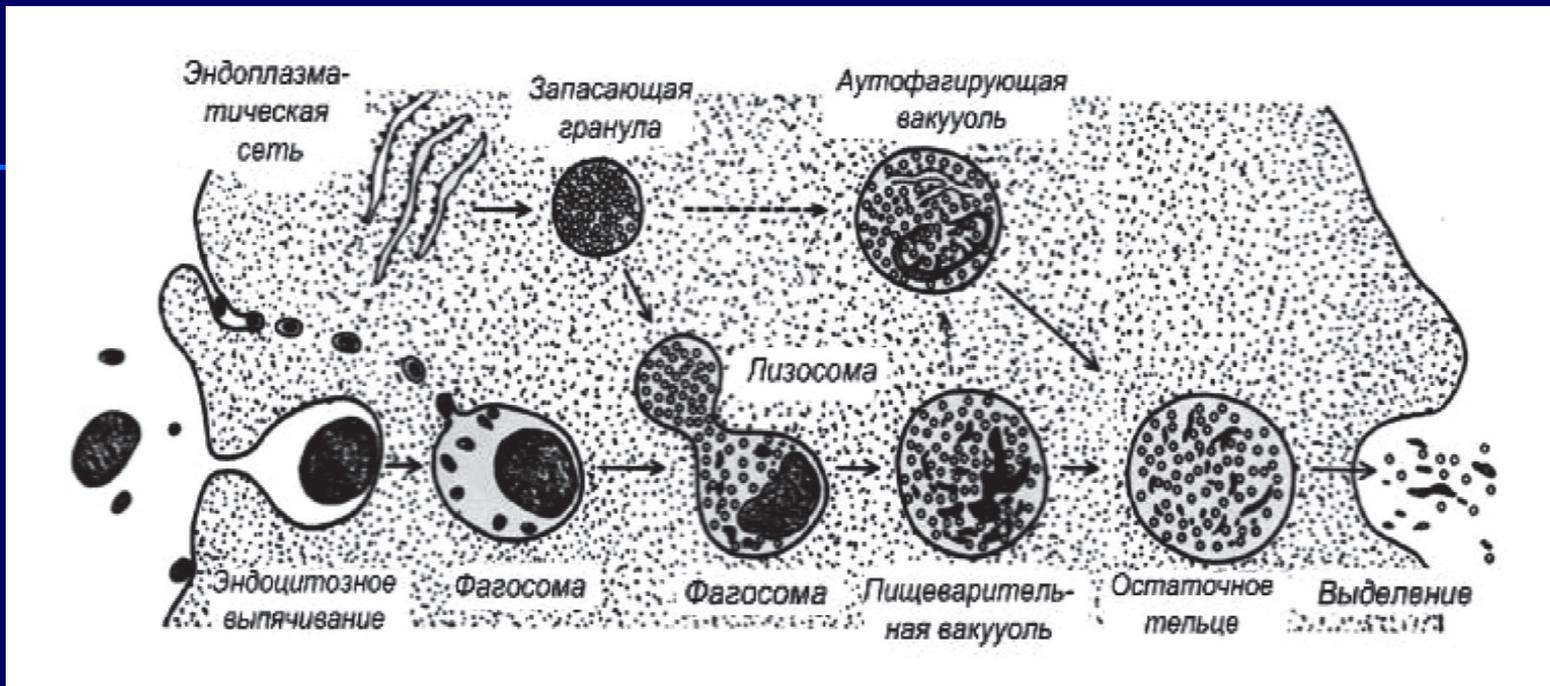


Рис. 14. Типы лизосом и их функционирование.

*Лизосомы различным образом участвуют во внутриклеточном переваривании.*

*Следует различать четыре вида лизосом:*

- \* «запасающие гранулы,*
- \* пищеварительные вакуоли,*
- \* остаточные тельца и*
- \* аутотрофирующие вакуоли».*

*Запасающая гранула — это исходная форма лизосомы, содержащиеся в ней ферменты образуются, видимо, в рибосомах, связанных с эндоплазматической сетью.*

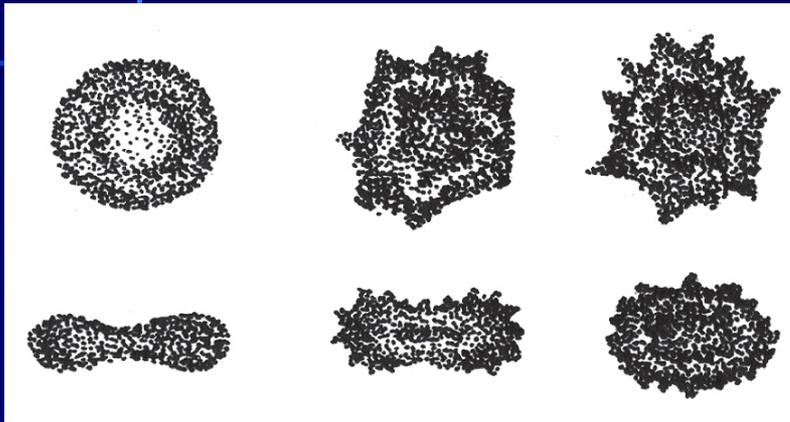
*Когда клетка заглатывает вещества, образуется фагосома.*

*Запасающая гранула или другая лизосома сливается с фагосомой, образуя пищеварительную вакуоль.*

*Продукты переваривания диффундируют через мембрану в клетку.*

*Пищеварительная вакуоль продолжает функционировать, постепенно накапливая неперевариваемые вещества, пока не превратится в остаточное тельце, которое исчезает при слиянии с клеточной мембраной.*

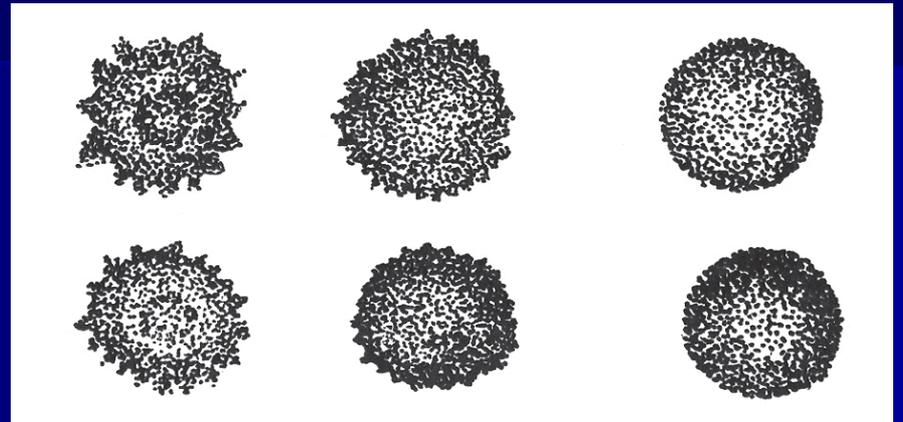




1,0

0,8

0,6



0,4

0,2

0,0

*Рис. 16. Микрорисовки эритроцитов мышей в процессе их превращений «диск—сфера». Цифры внизу — принятые коэффициенты для расчета морфологического индекса. Первый ряд — вид сверху; второй — вид сбоку.*

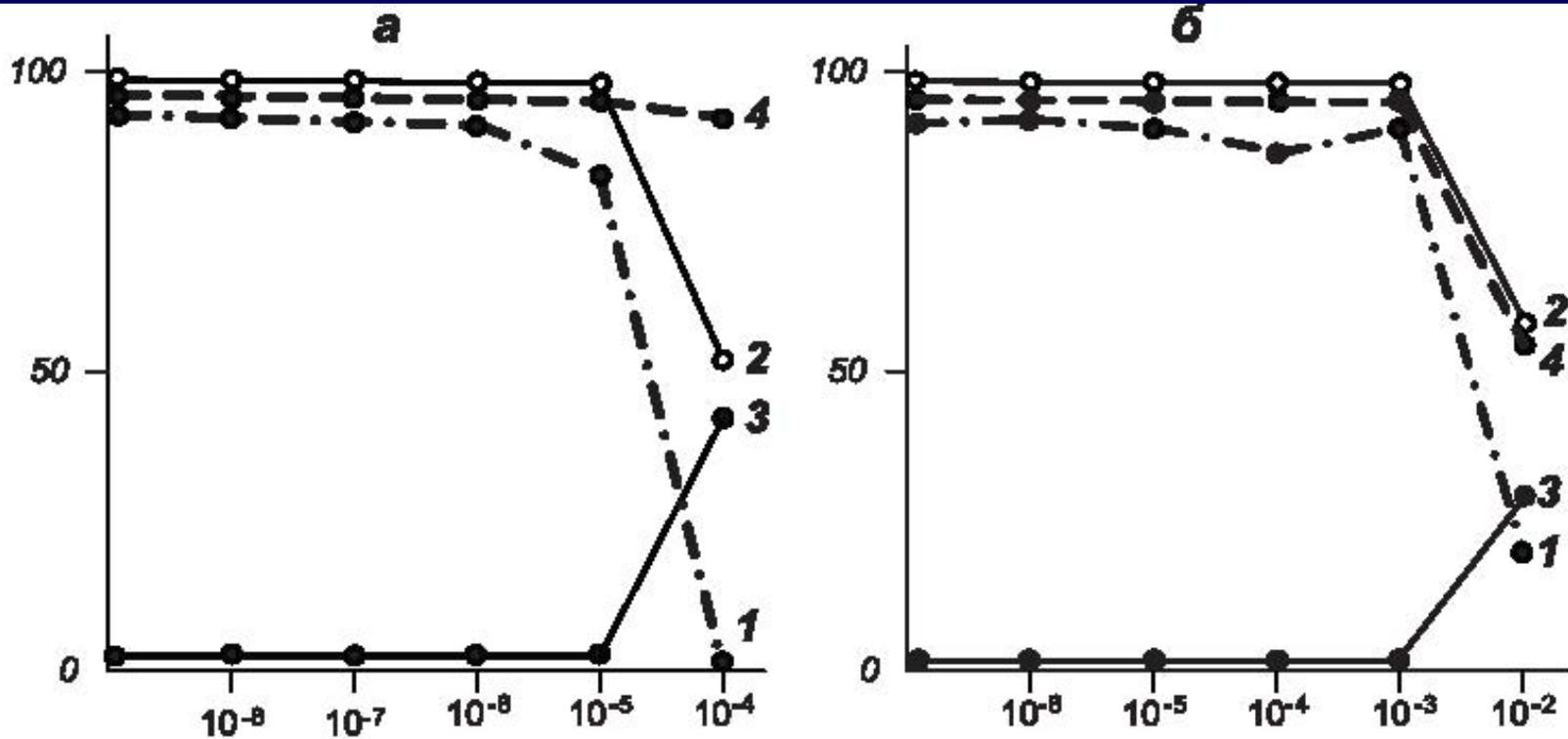


Рис. 17. Кривые изменений морфологического индекса (1), гемолиза (2 и 3) и оседания эритроцитов (4) под действием ртути (а) и кадмия (б) в течение 1 часа. По оси абсцисс — концентрация (в М) ртути (а) и кадмия (б); По оси ординат — изменения (в %) морфологического индекса (1); количество гемоглобина, вышедшего из эритроцитов (2); количество эритроцитов, полностью потерявших гемоглобин (3), и оседание эритроцитов (4). Гемоглобин определяли спектрофотометрически.

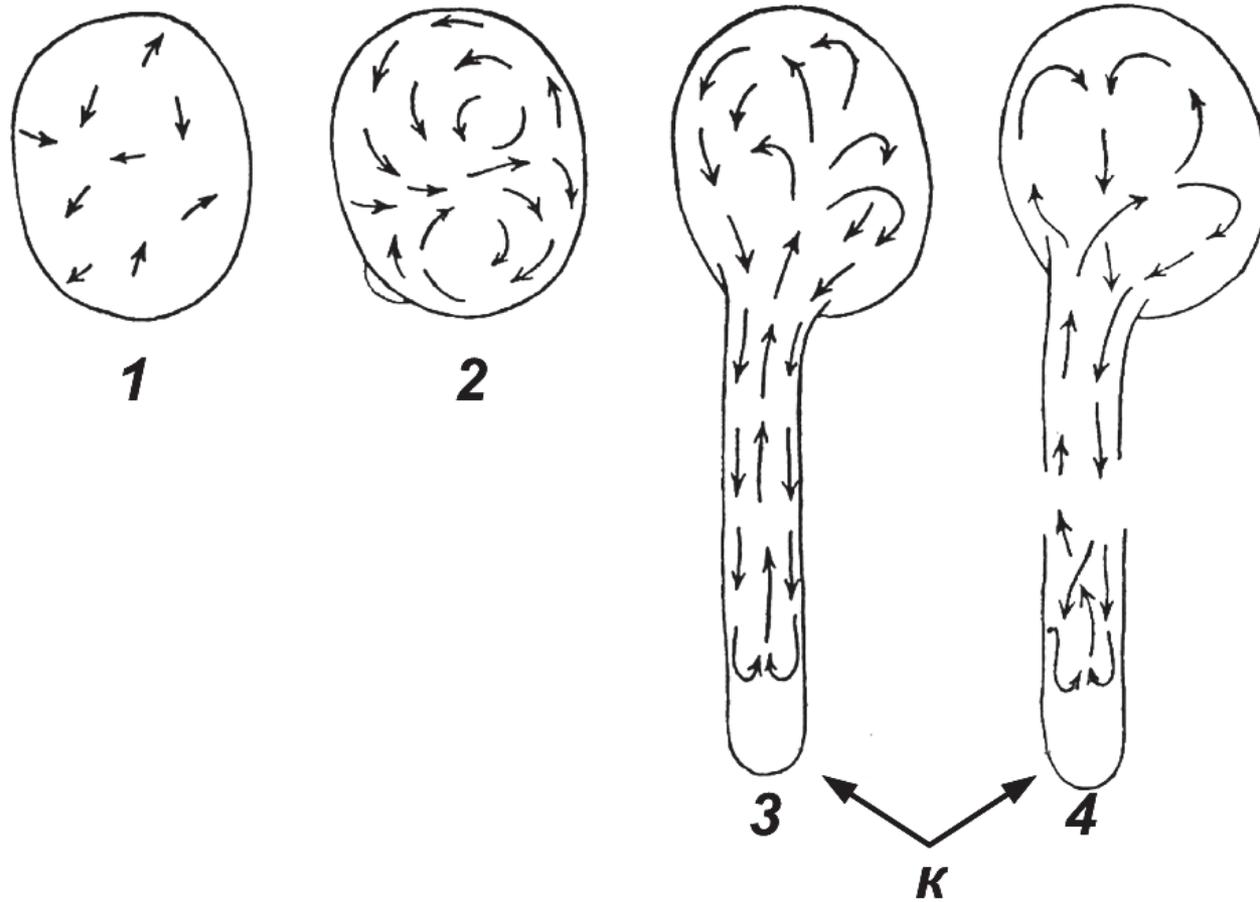
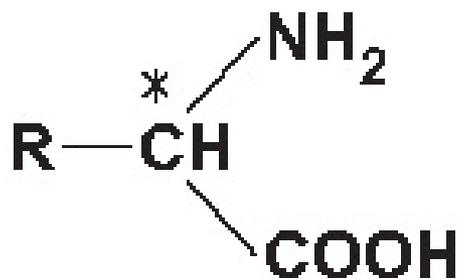


Рис. 18. В пыльцевых зернах и молодых пыльцевых трубках *Lilium annatum* обнаруживается колебательное, циркуляционное и ротационное движение протоплазмы. Вблизи кончика (к) растущей пыльцевой трубки движение протоплазмы имеет характер обратного фонтанирующего движения: 1 — колебательное движение; 2 — циркуляционное движение; 3, 4 — ротационное движение.

# Структура белковой молекулы

Общая формула аминокислоты:



или с учетом тетраэдрического строения атома углерода:

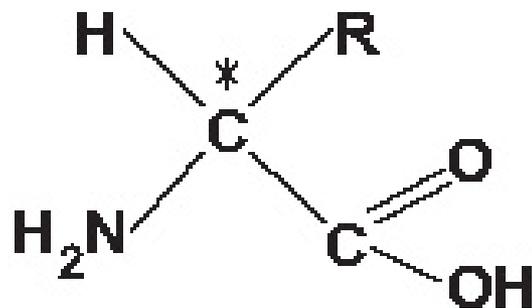
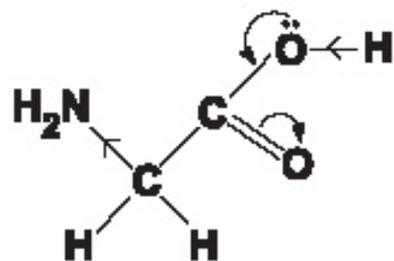
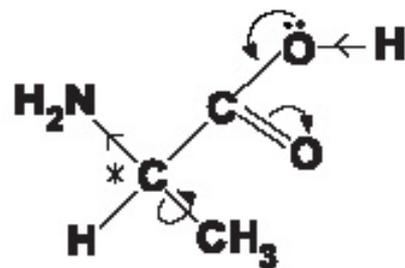


Рис. 19

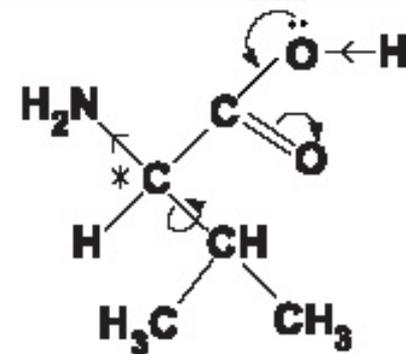
Примеры аминокислот с алкильной (гидрофобной) группировкой R



2.1. Глицин (гли)



2.2. Аланин (ала)



2.3. Валин (вал)

здесь и далее используются следующие обозначения:

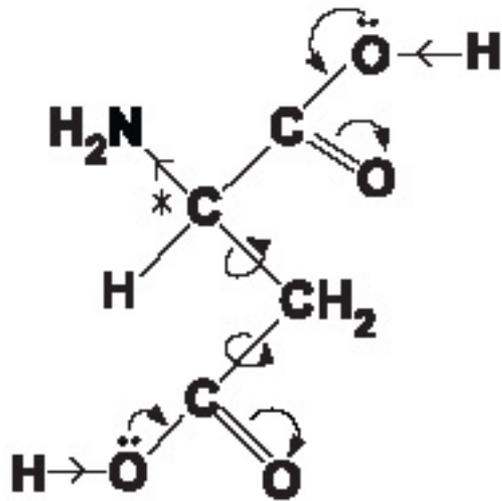
$EL_1 \rightarrow EL_2$  — электронных облаков по  $\sigma$ -связи;  
(индукционный эффект)

$EL_1 \rightleftharpoons EL_2$  — смещение электронных облаков по  $\pi$ -связи;

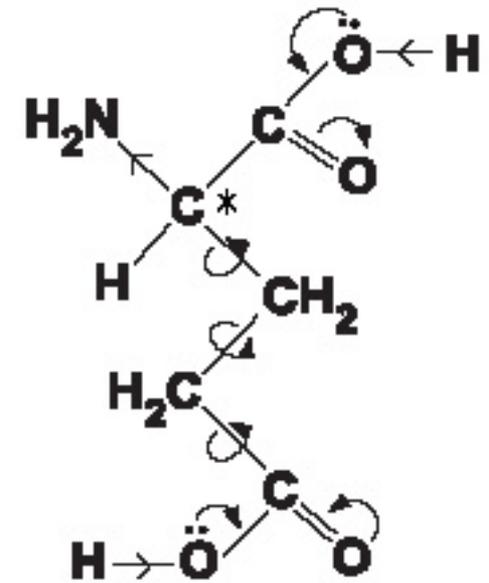
$EL_1 \curvearrowright EL_2$  — свободный поворот вокруг  $\sigma$ -связи;

в тех случаях, когда гидроксильная группа обладает кислотными свойствами, т. е. диссоциирует на анион и катион водорода, будет указываться индукционное смещение электрона по связи,  $O \leftarrow H$ , в остальных случаях обозначается просто — OH. В этом случае гидроксил может участвовать в образовании водородной связи.

Аминокислоты с карбоксильной и оксигруппой в боковой группировке R



2.6. Аспарагиновая кислота (асп)



2.7. Глутаминовая кислота (глу)



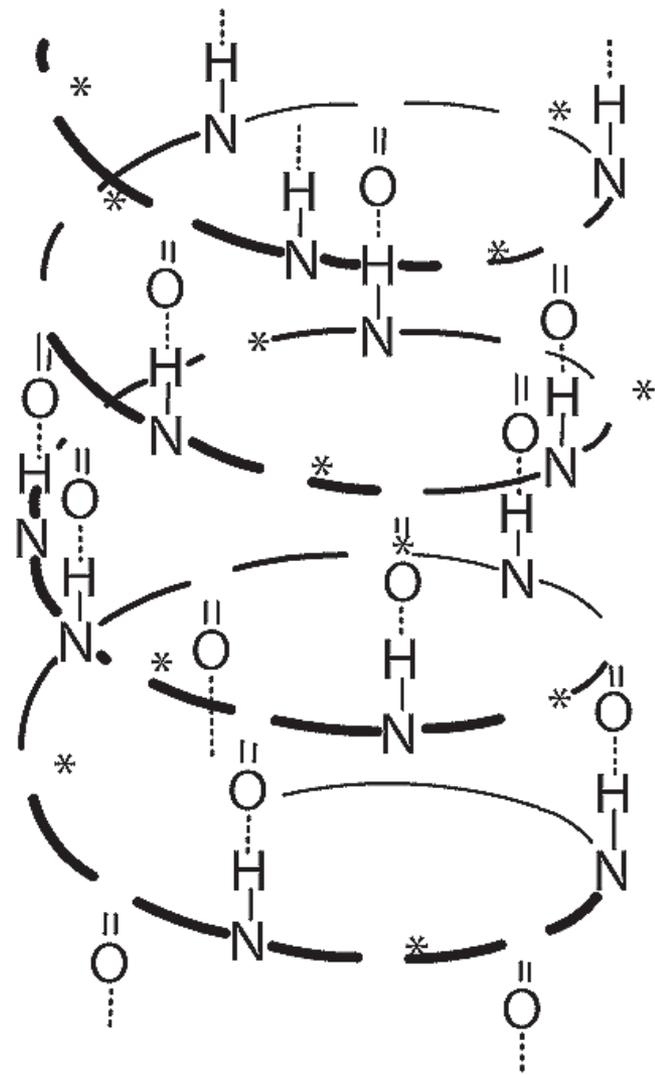
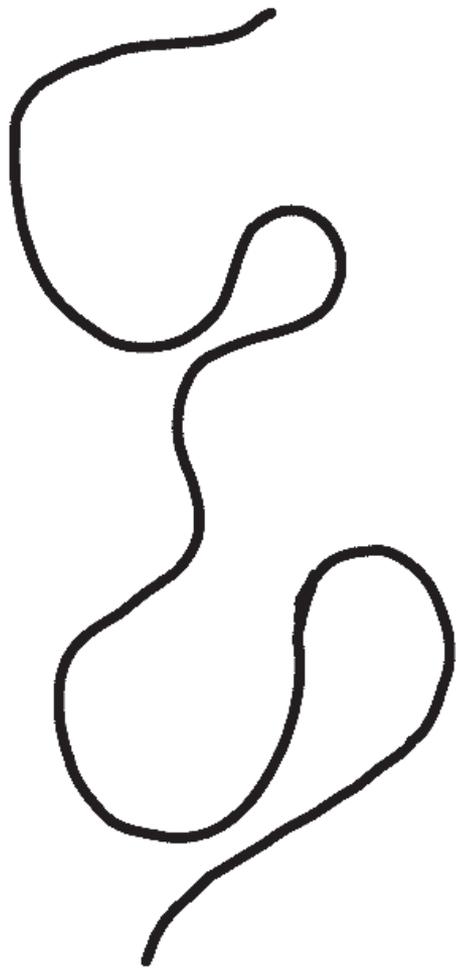


Рис. 23. Вторичная структура белка:  
 1 — беспорядочно свернутый клубок;  
 2 —  $\alpha$ -спираль.

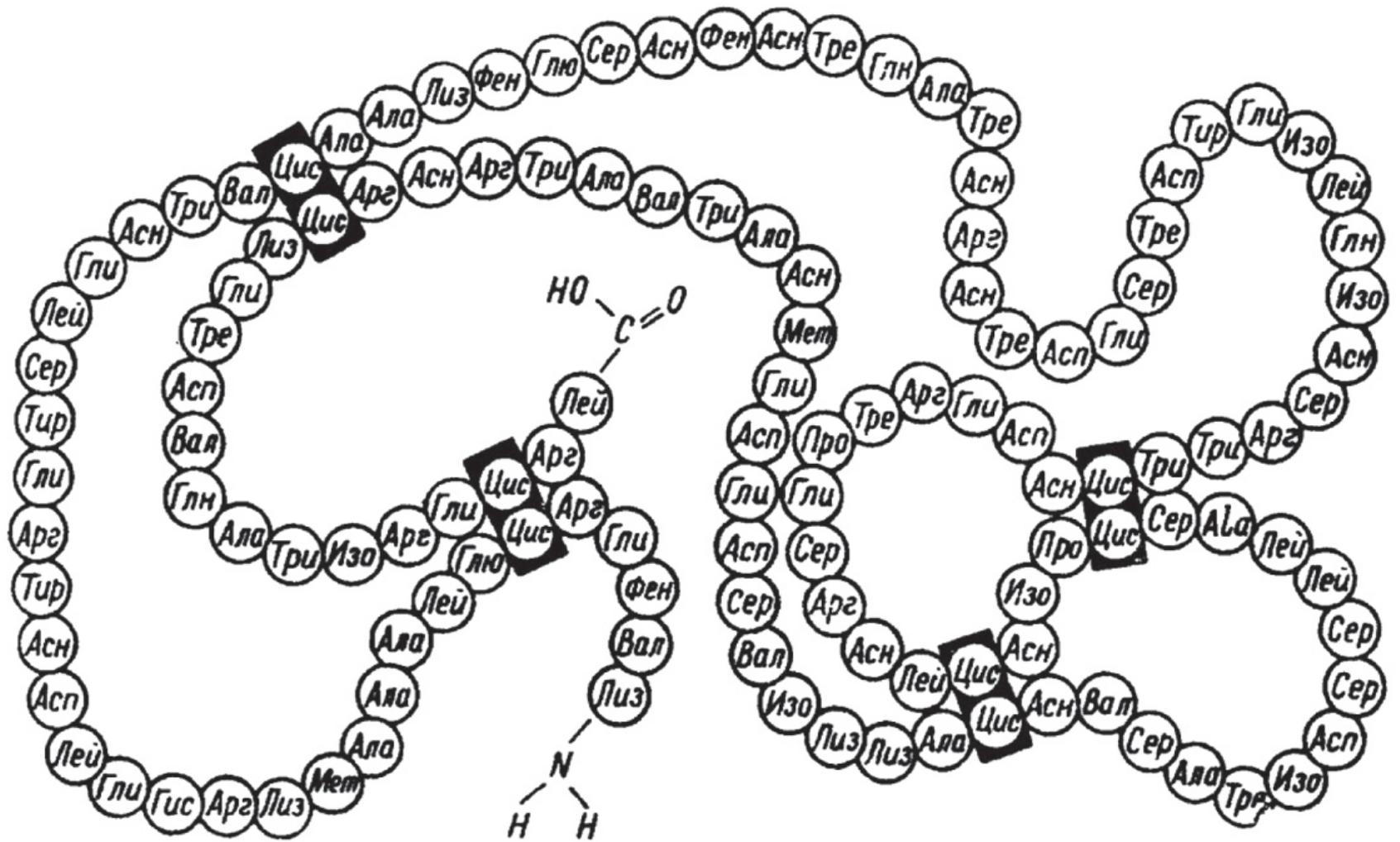


Рис. 24. Первичная структура лизоцима.

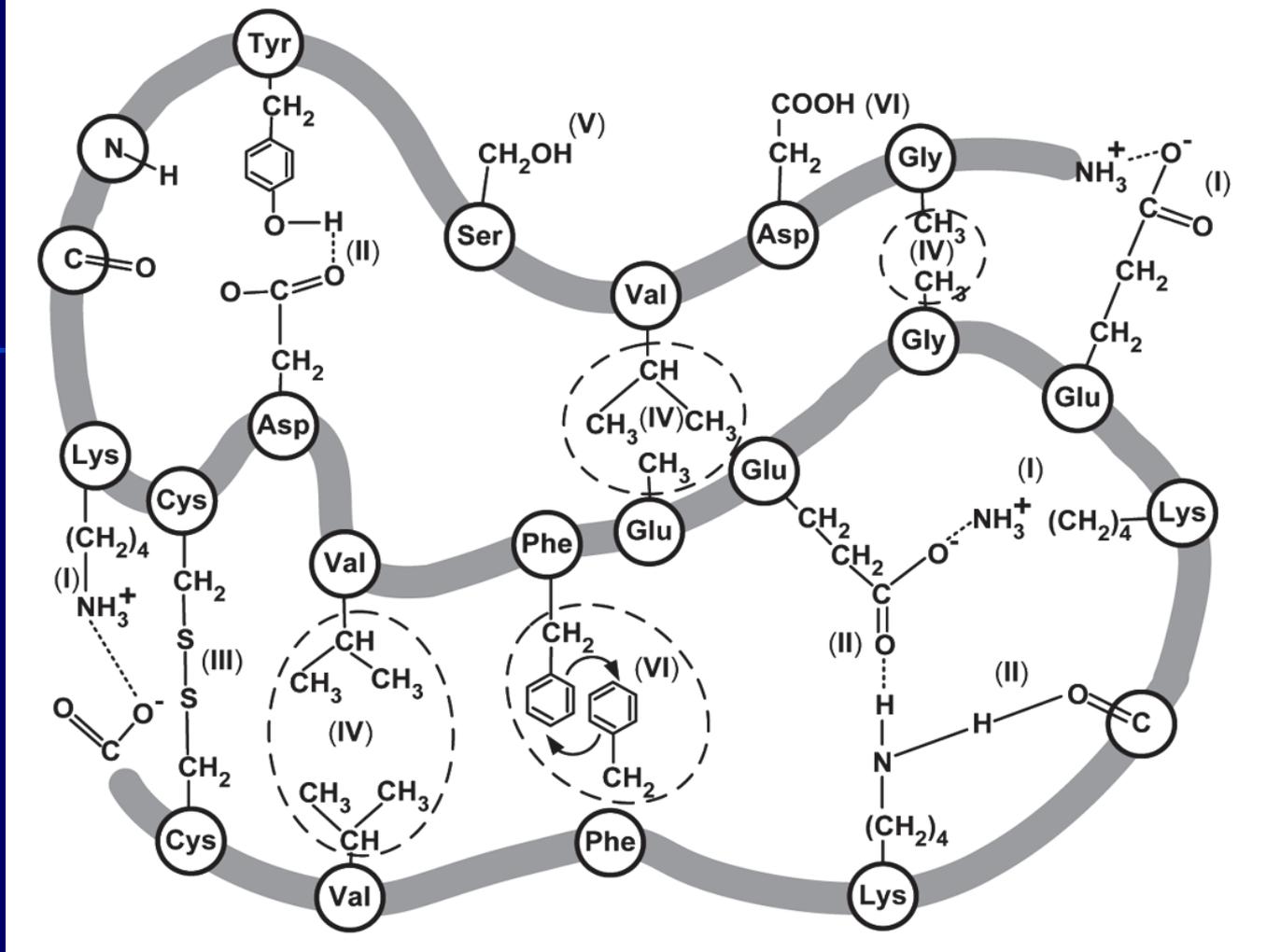


Рис. 25. Характер сил, стабилизирующих белковую молекулу: I — ионные связи; II — водородные связи; III — S-S-связи; IV — гидрофобные взаимодействия; V — полярные группы, остающиеся на поверхности белковой глобулы; VI — силы, возникающие за счет образования комплексов с переносом заряда.

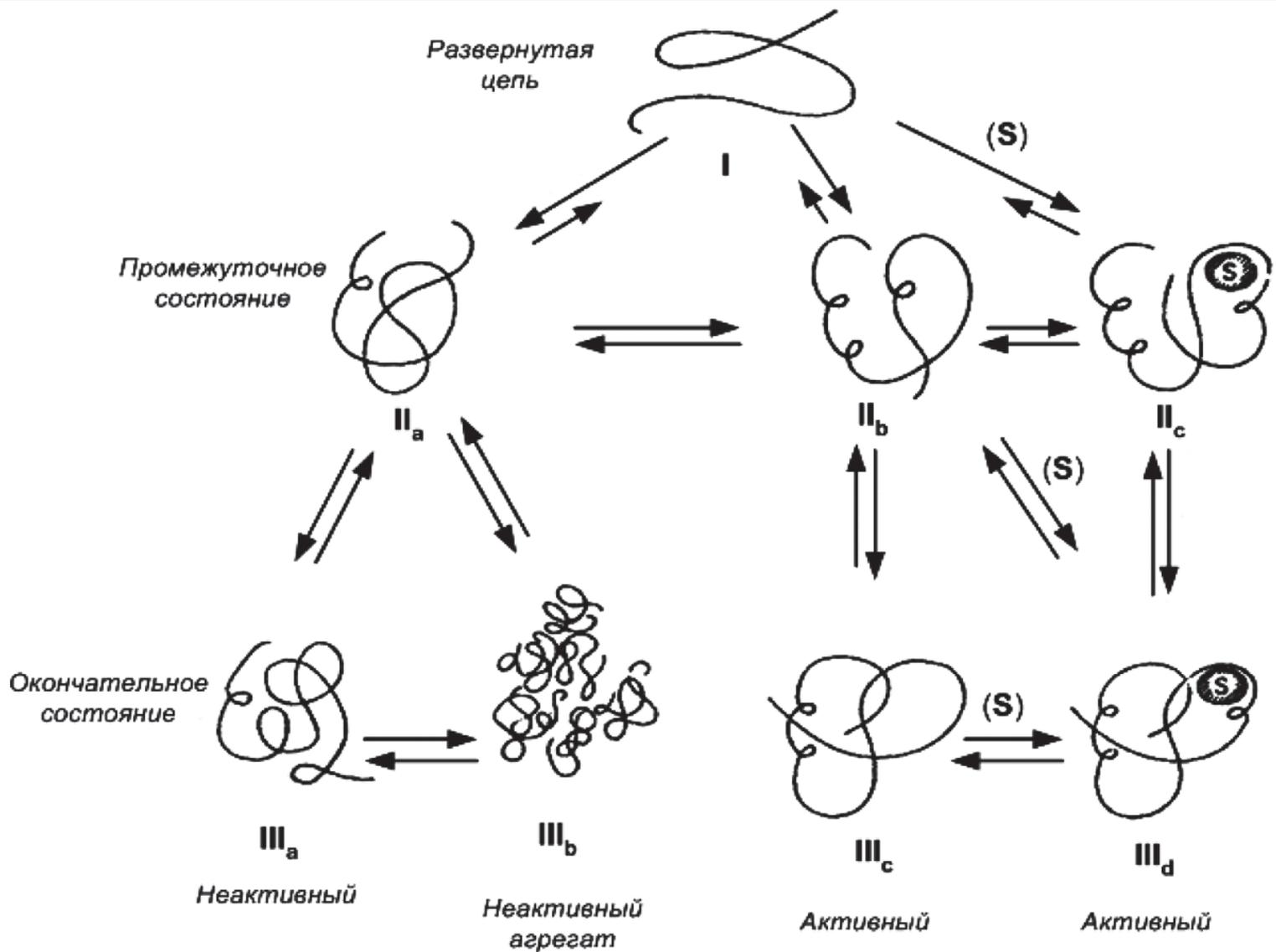


Рис. 26. Схематическое представление о разворачивании и свертывании белков *in vitro*.

# Свертывание белковой глобулы

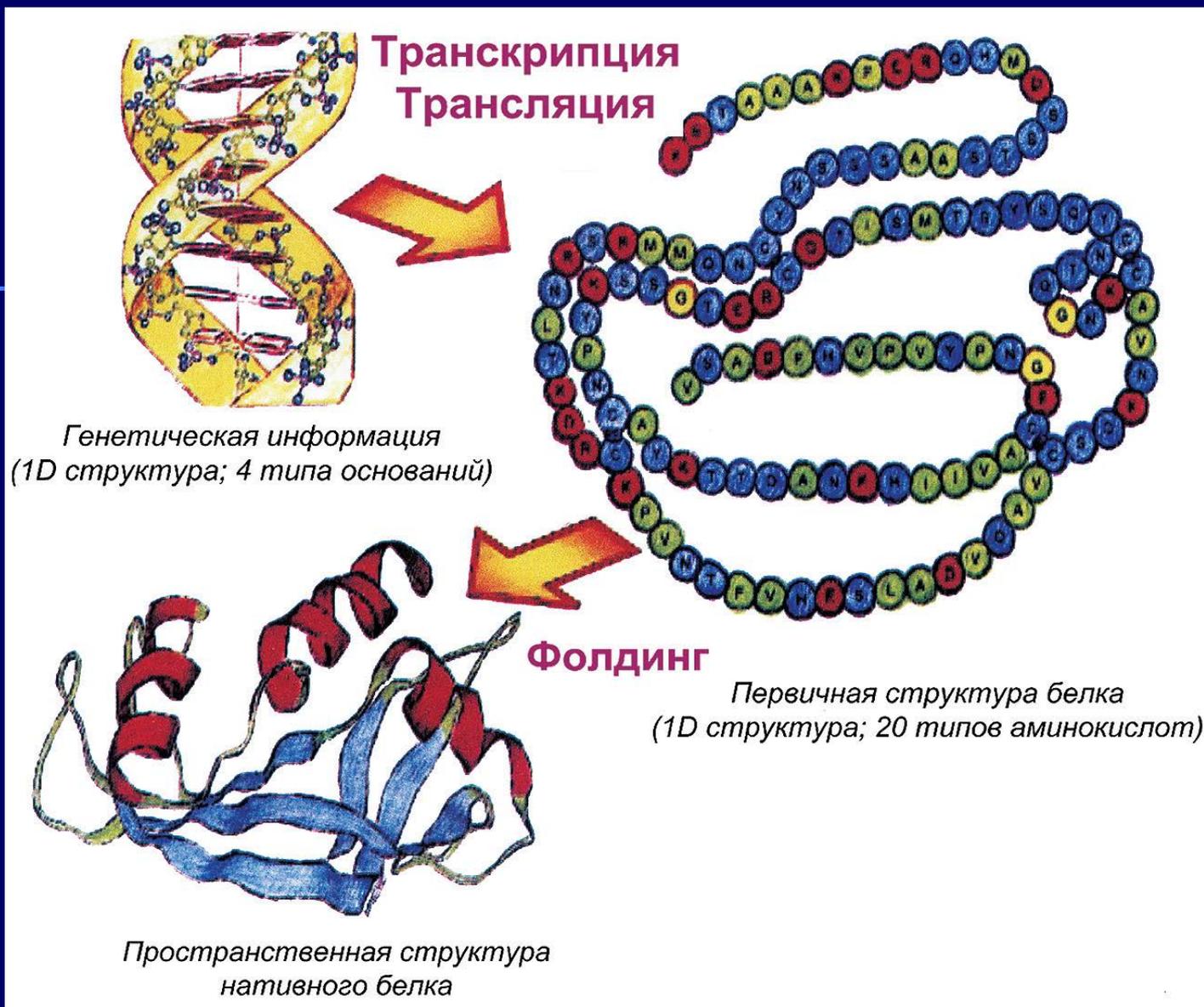


Рис. 27. Схема, иллюстрирующая место фолдинга белка в процессе биосинтеза.

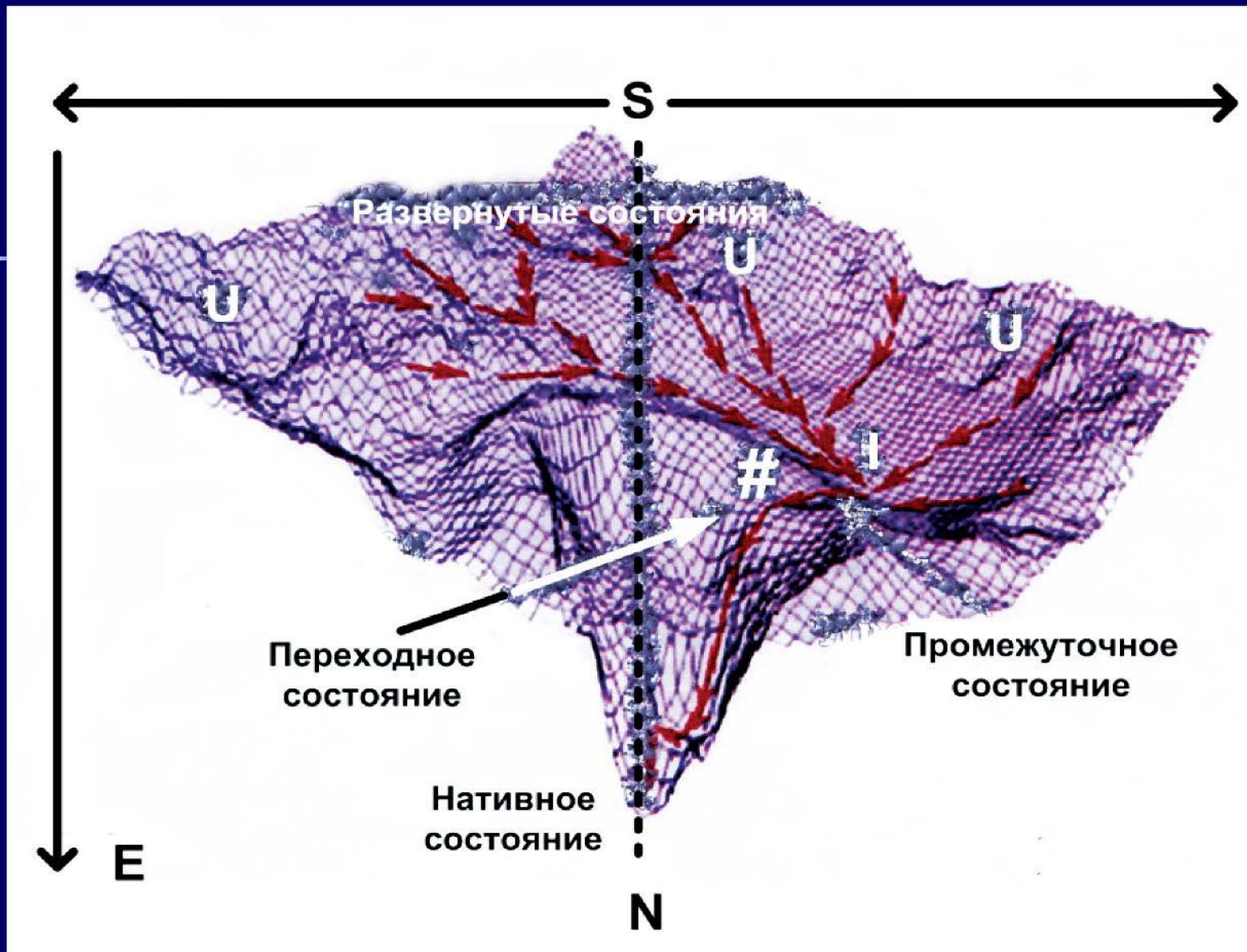
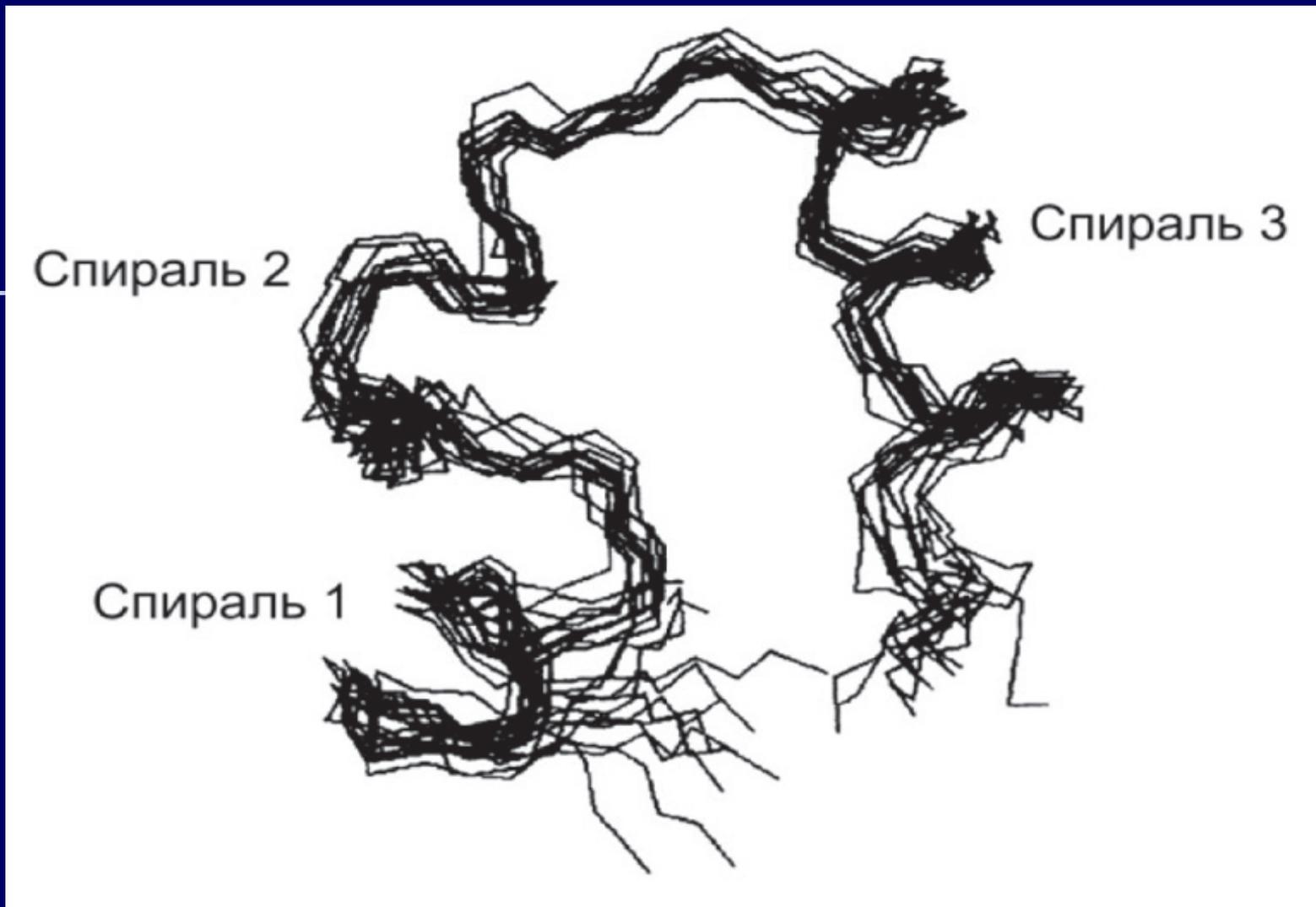
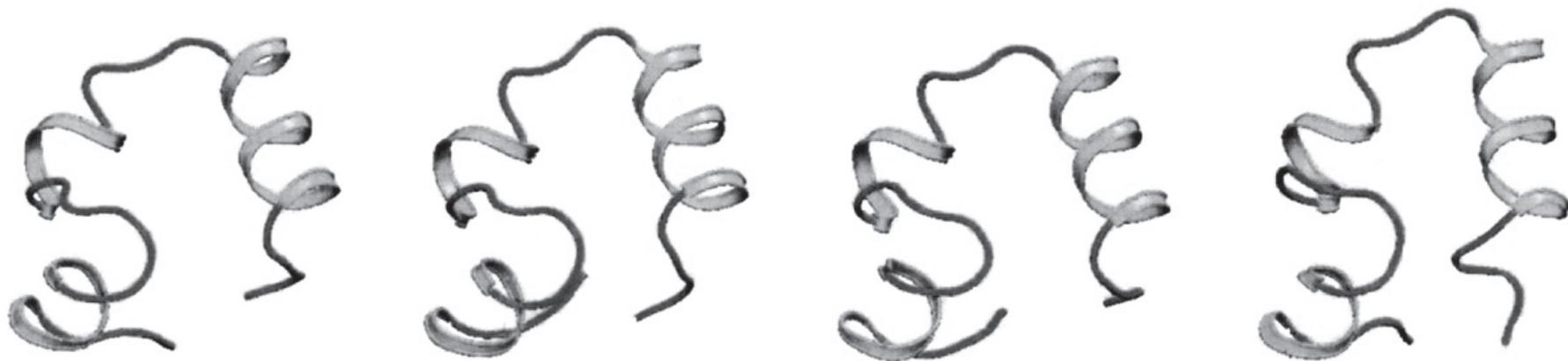


Рис. 28. Энергетическая поверхность, определяющая пути сворачивания белка в нативном состоянии [104].



*Рис. 29. Наложение 12 траекторий молекулярных движений, зафиксированных с интервалом 200 нсек.*





1

2

3

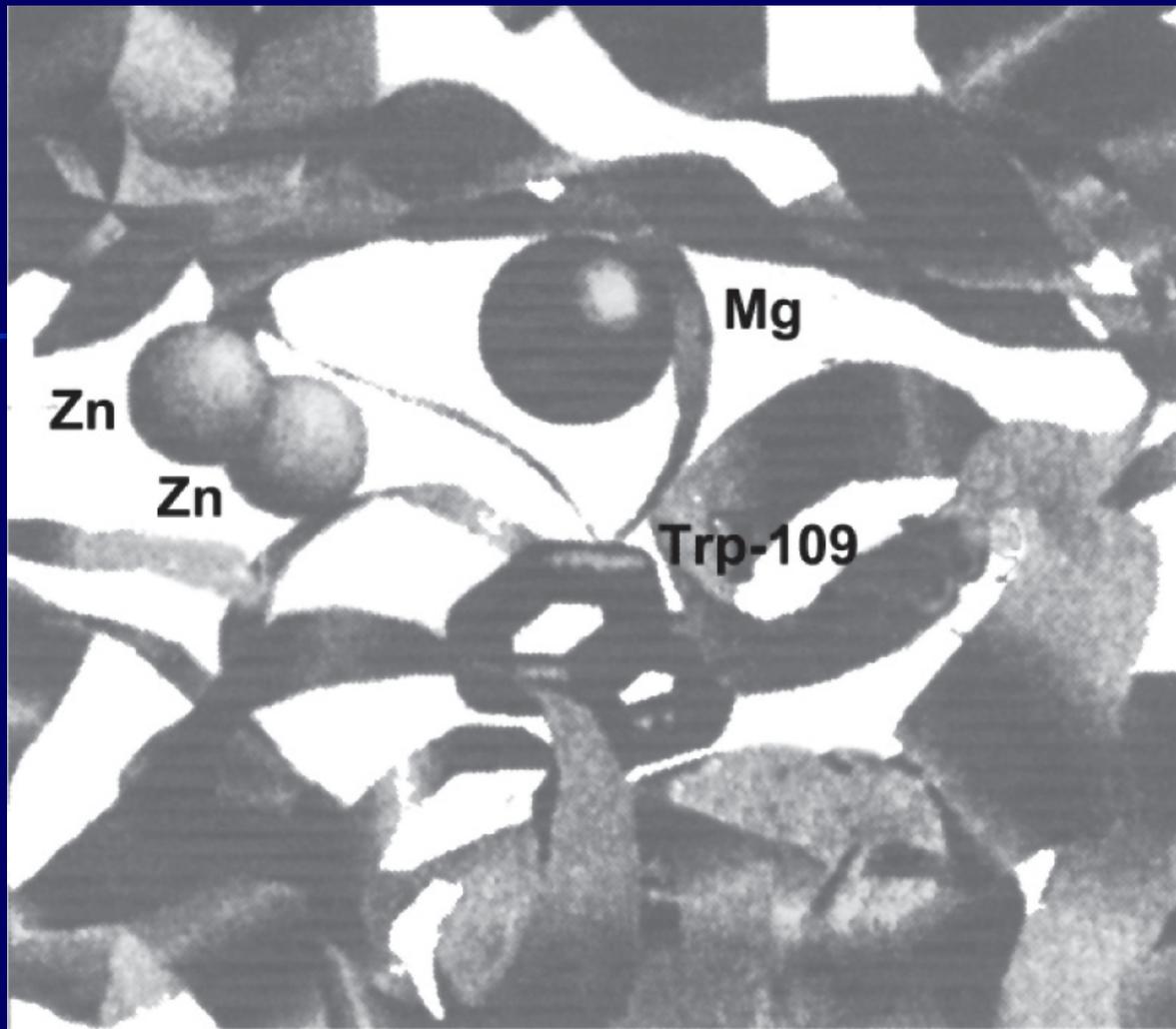
4

*Рис. 30. Моментальный снимок нескольких характерных конфигураций белка в растворе: 1 — при постоянной температуре и давлении; 2 — через 1 нсек; 3 — через 2 нсек; 4 — через 3,5 нсек.*

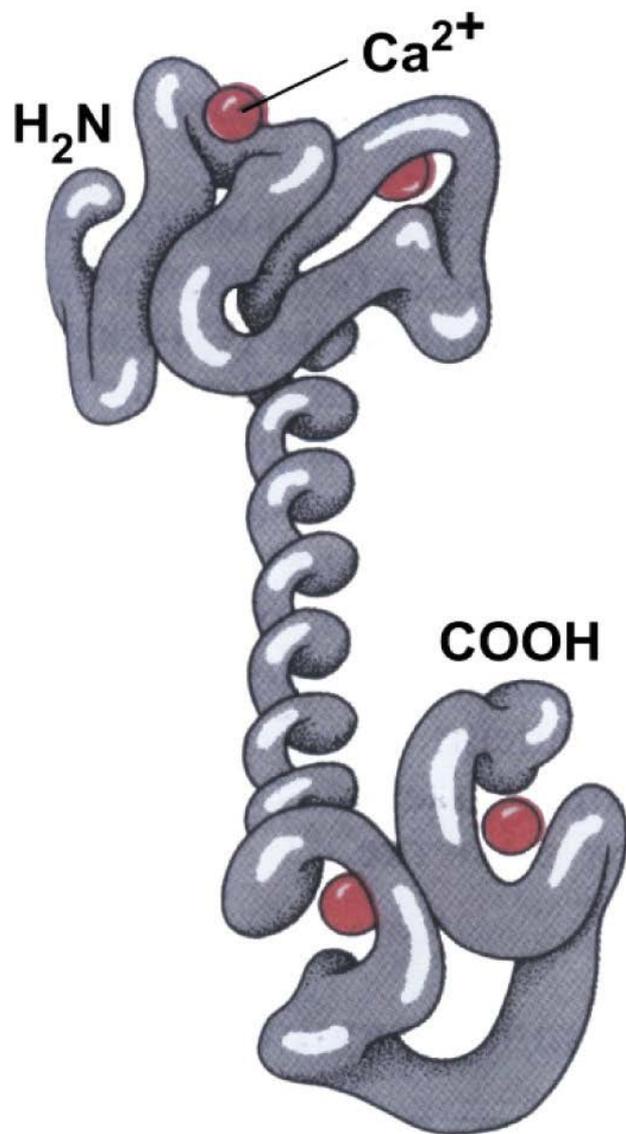
|   |                             |
|---|-----------------------------|
| Первичные события в фотосинтезе и зрении        | $10^{-13}$ – $10^{-12}$ сек |
| Локальная динамика:                             |                             |
| – атомов и малых групп                          | $10^{-12}$ – $10^{-11}$ сек |
| – боковых цепей и сегментов полипептидных цепей | $10^{-11}$ – $10^{-7}$ сек  |
| Релаксация участков полипептидной цепи          | $\sim 10^{-9}$ сек          |
| Движения доменов и субъединиц                   | $10^{-8}$ – $10^{-5}$ сек   |
| Реакция переноса протона ионизируемых групп     | $10^{-9}$ – $10^{-7}$ сек   |
| Развертывание участков $\alpha$ -спирали        | $10^{-8}$ – $10^{-6}$ сек   |
| Высвобождение связанных молекул лигандов        | $10^{-6}$ – $10^{-3}$ сек   |
| Кинетика сворачивания-разворачивания            | $10^{-4}$ – $10^{-2}$ сек   |
| Обмен прочно связанных ионов <b>Ca</b>          | $10^{-3}$ – $10^{-2}$ сек   |

Рис. 31

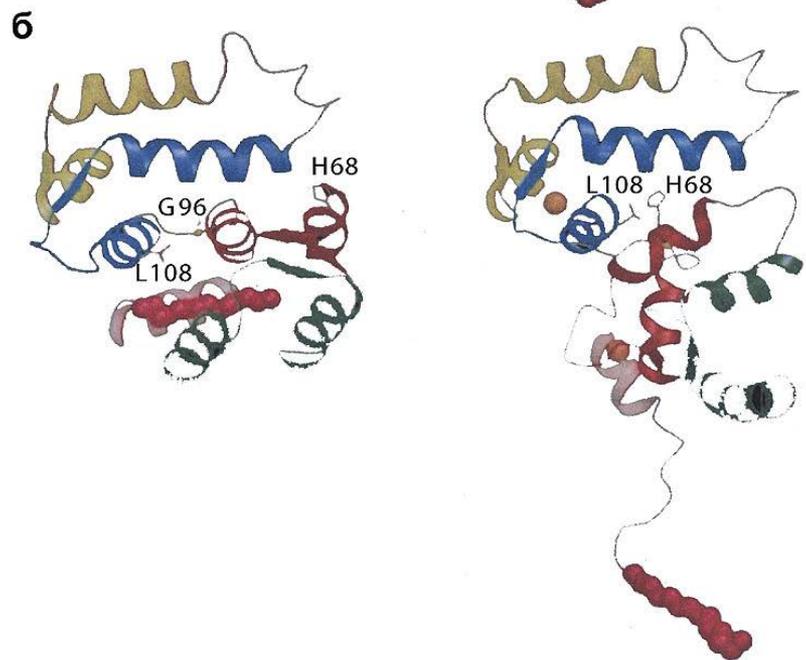
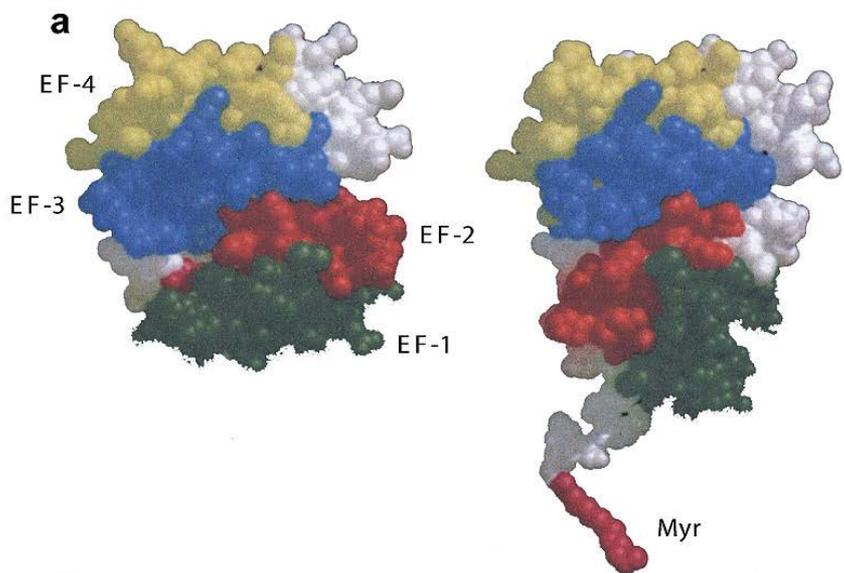
# **Образование белковых комплексов**



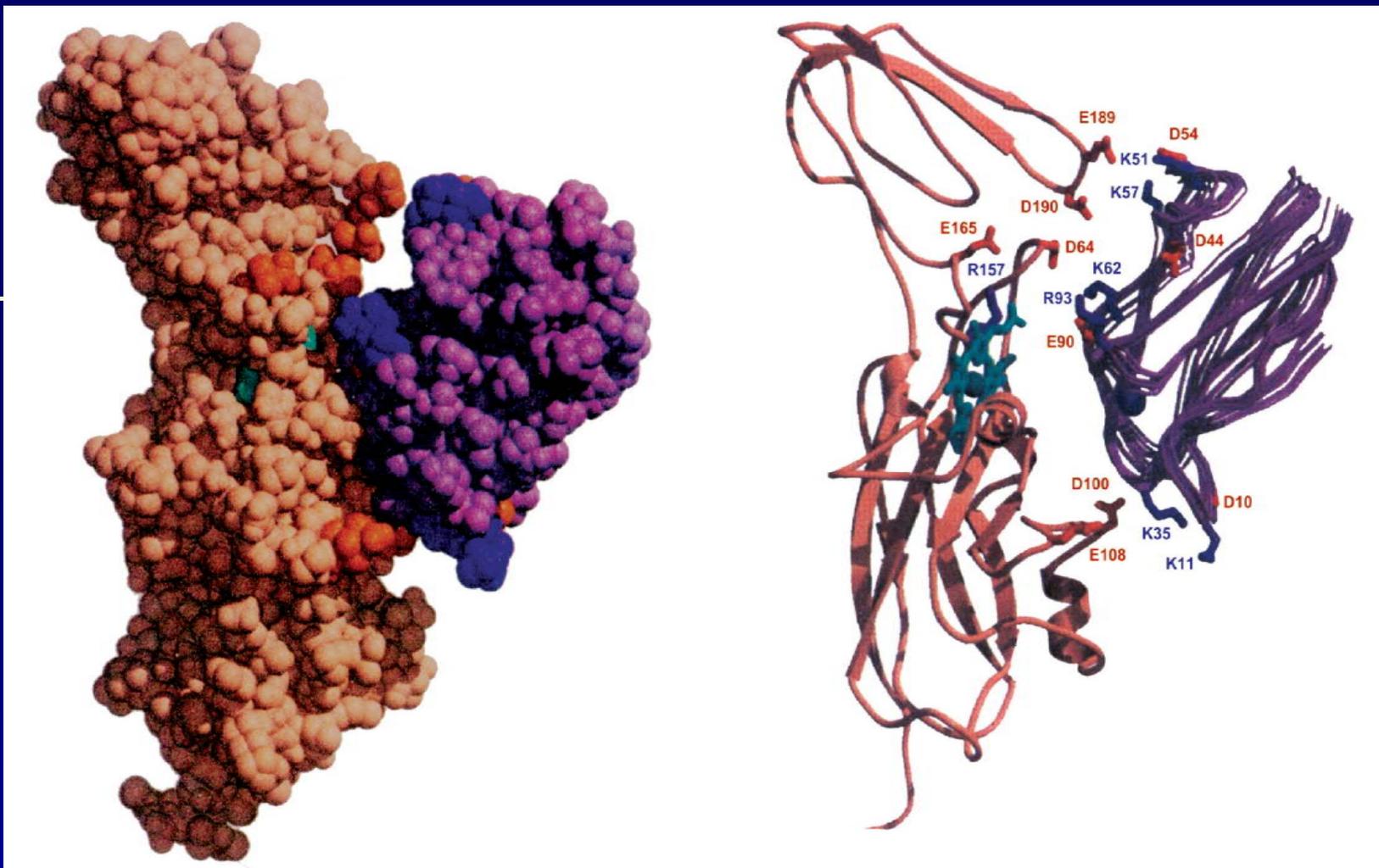
*Рис. 32. Фрагмент структуры щелочной фосфатазы Escherichia coli с выделенным триптофаном: Trp-109. На фрагменте показаны локализованные в области активного центра фермента катионы цинка и магния.*



*Рис. 33. Строение комплекса кальмодулина *Parametium tetraurelia* с ионами кальция по данным рентгеноструктурного анализа.*



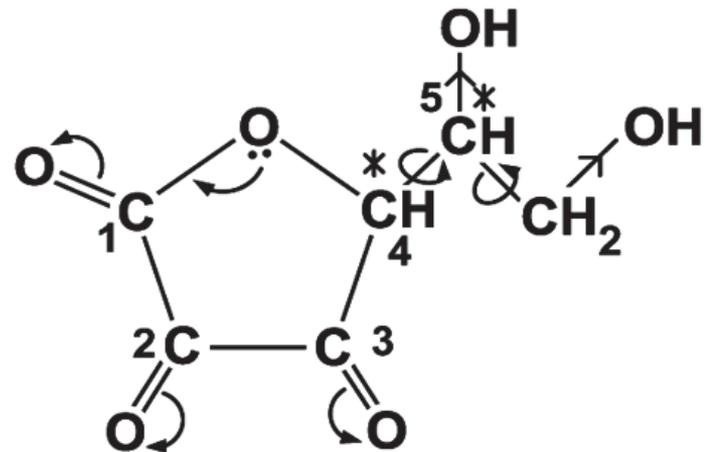
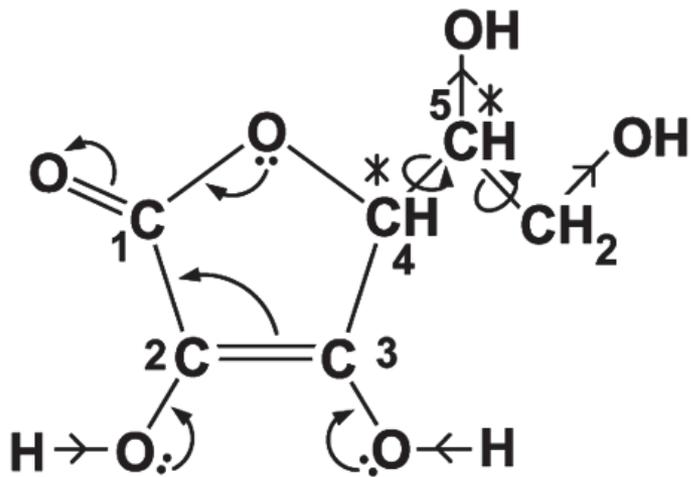
*Рис. 34. Пространственная (а) и ленточная диаграмма (б) молекулы рековерина — свободная от кальция (слева) и со связанным кальцием (справа).*



*Рис. 35. Структура комплекса между цитохромом f и пластоцианином, выделенного из цианобактерий Nostoc, охарактеризованного с помощью ядерного магнитного резонанса: 1 — объёмная модель; 2 — ленточная модель.*

# **Витамины и гормоны**





*L*-аскорбиновая кислота

Лактон *L*-дикетогулоновой  
кислоты  
( $\alpha$ -дегидроаскорбиновая кислота)

Рис. 36

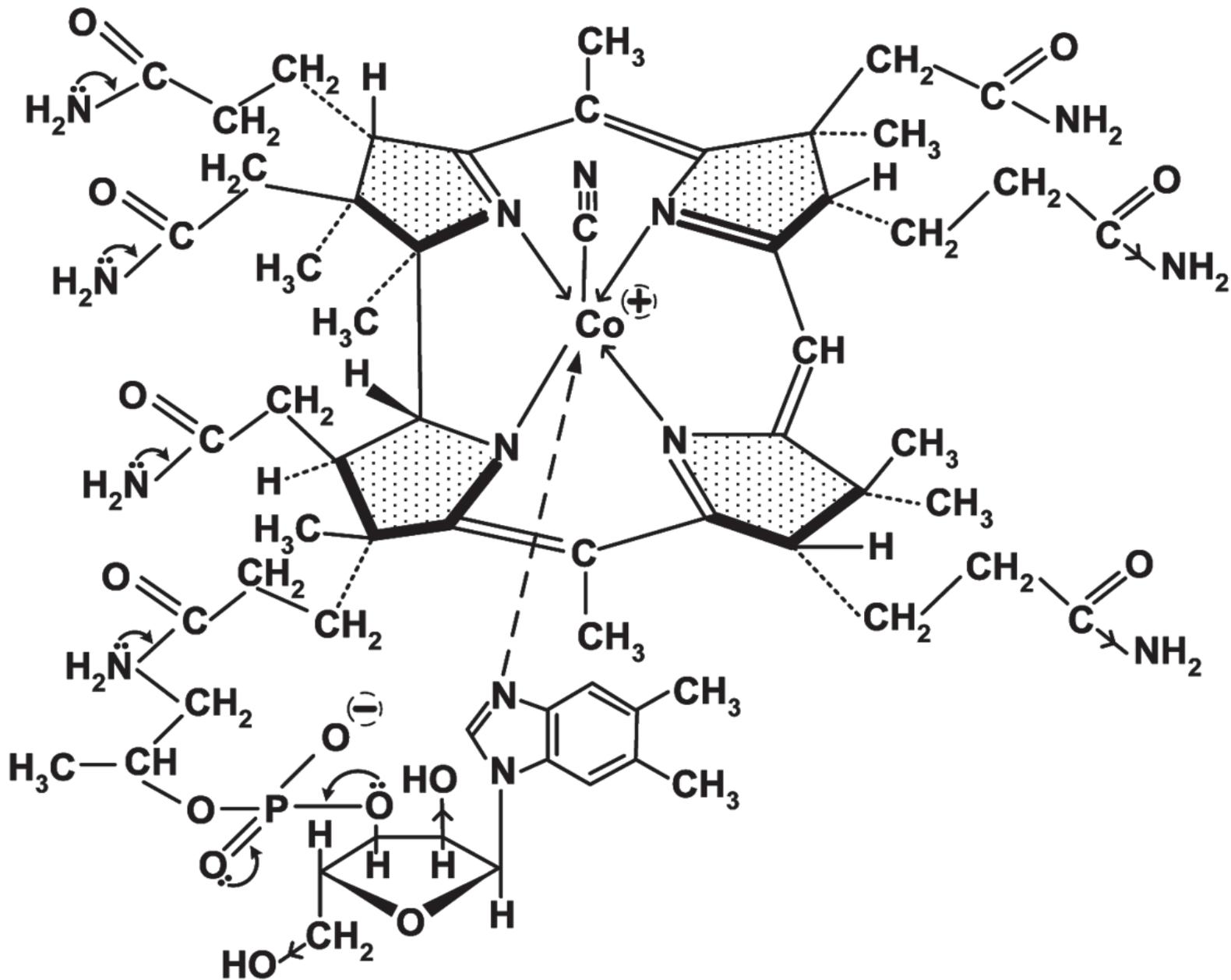


Рис. 37 Витамин В12

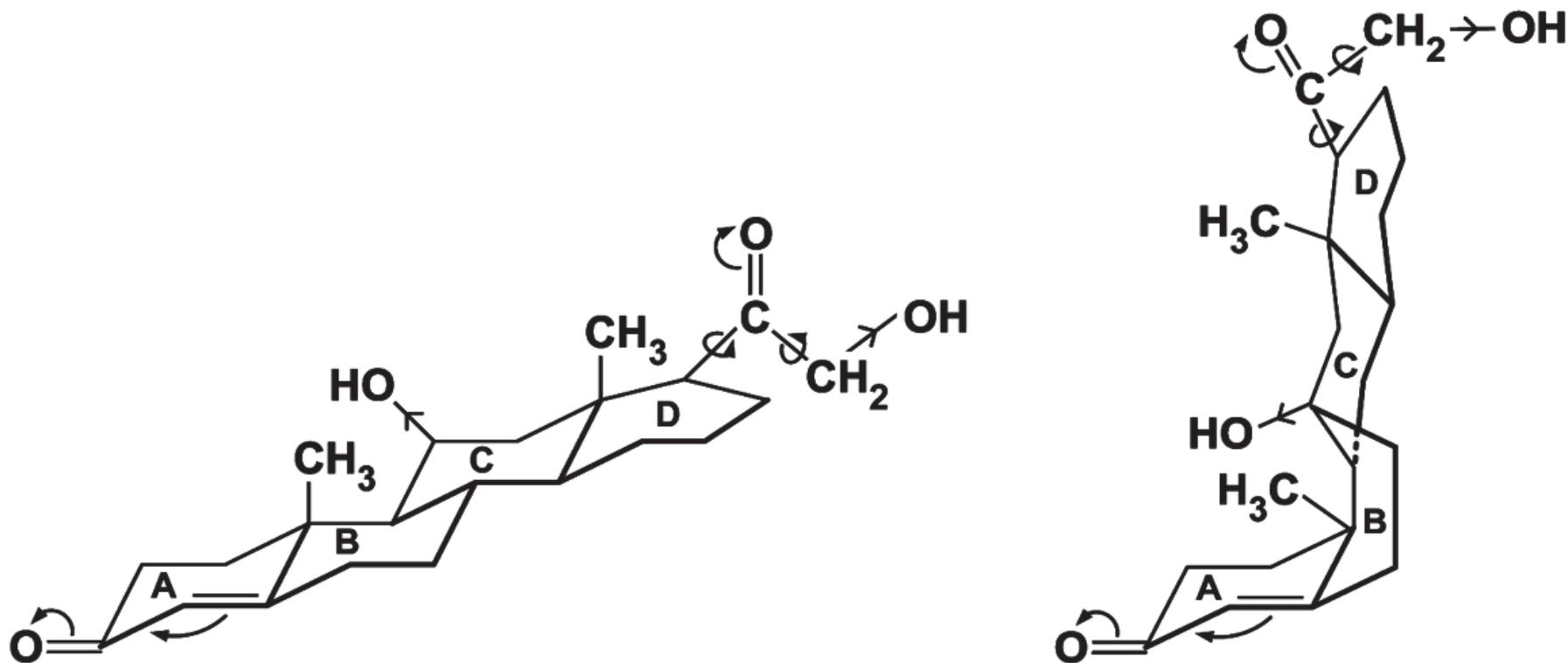


Рис. 38 Кортикостерон (1 – стереоформула I; 2 – стереоформула II)

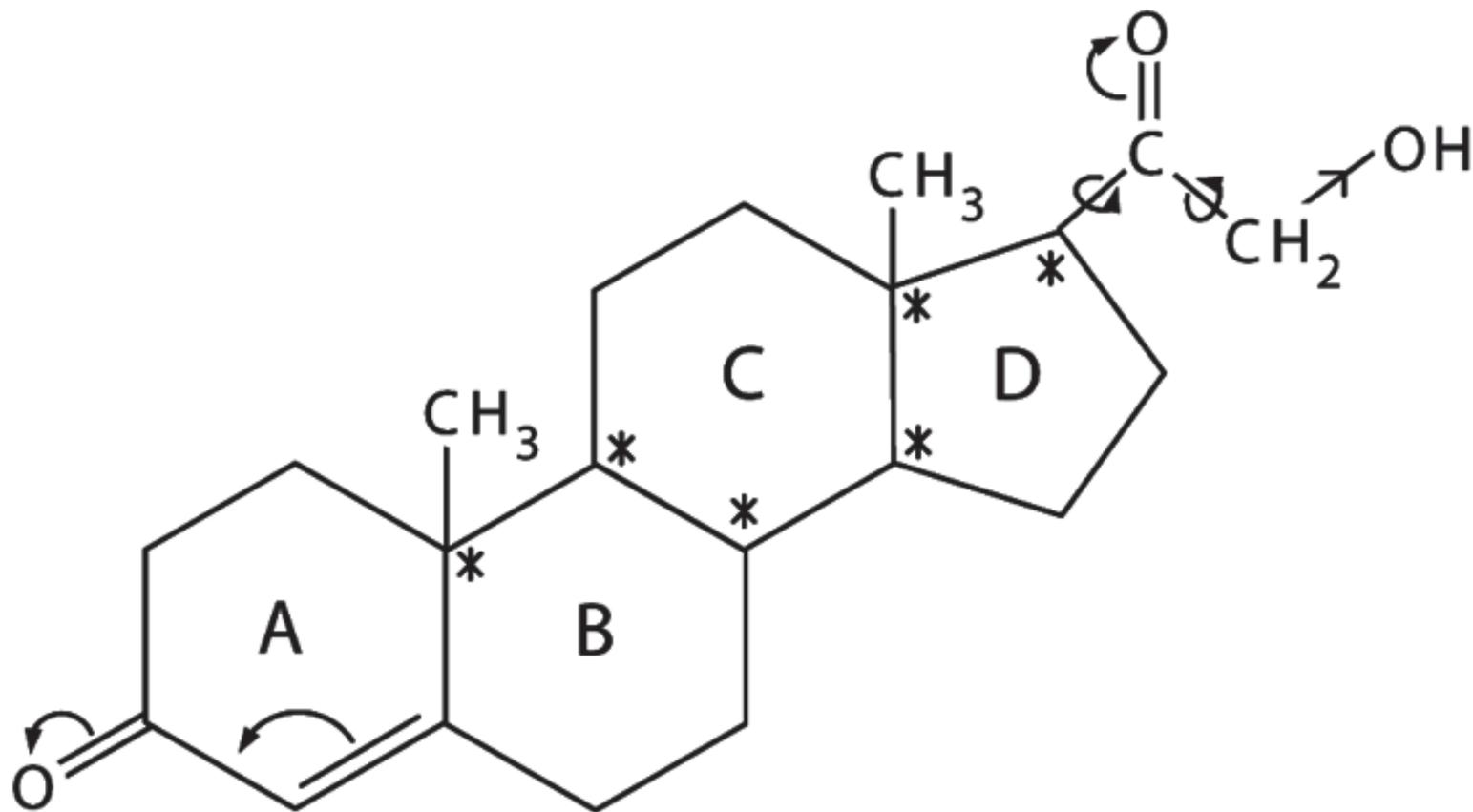
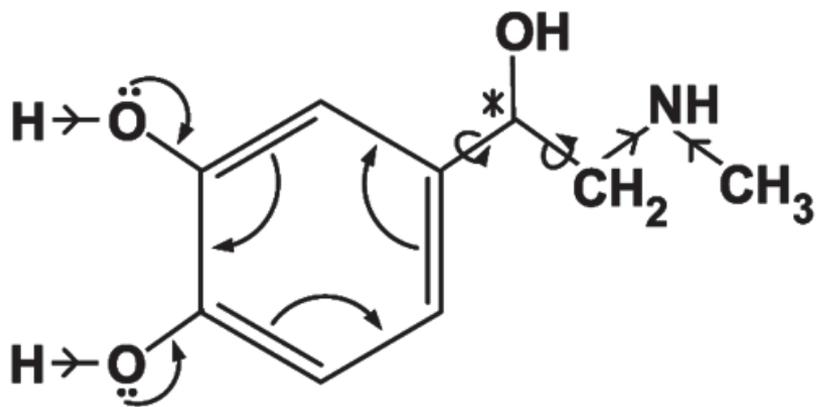
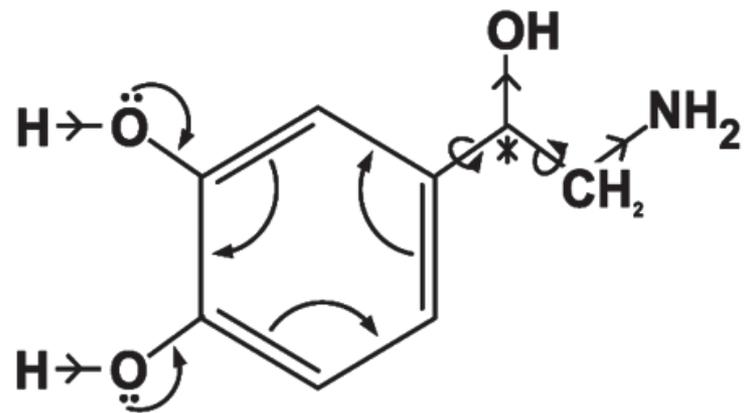


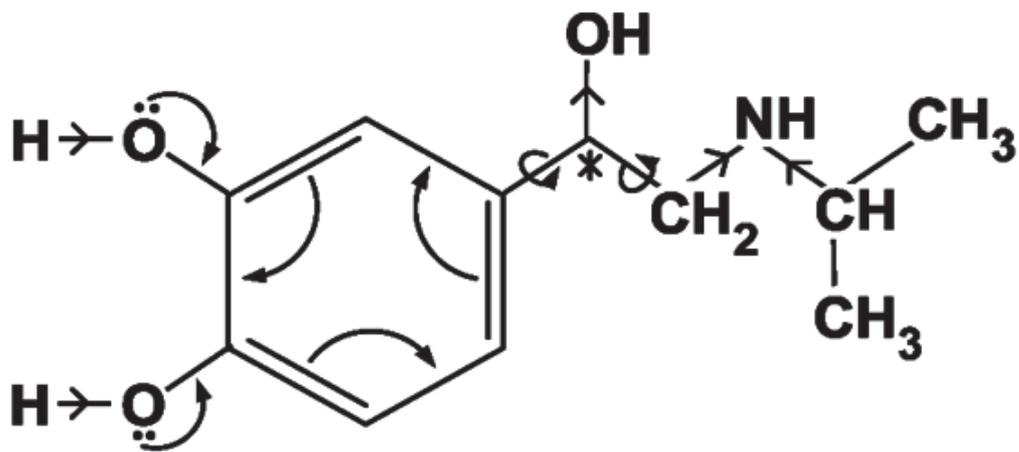
Рис. 39 11-дезоксикортикостерон



*Адреналин*



*1-норадреналин*



*1-изопропиладреналин*

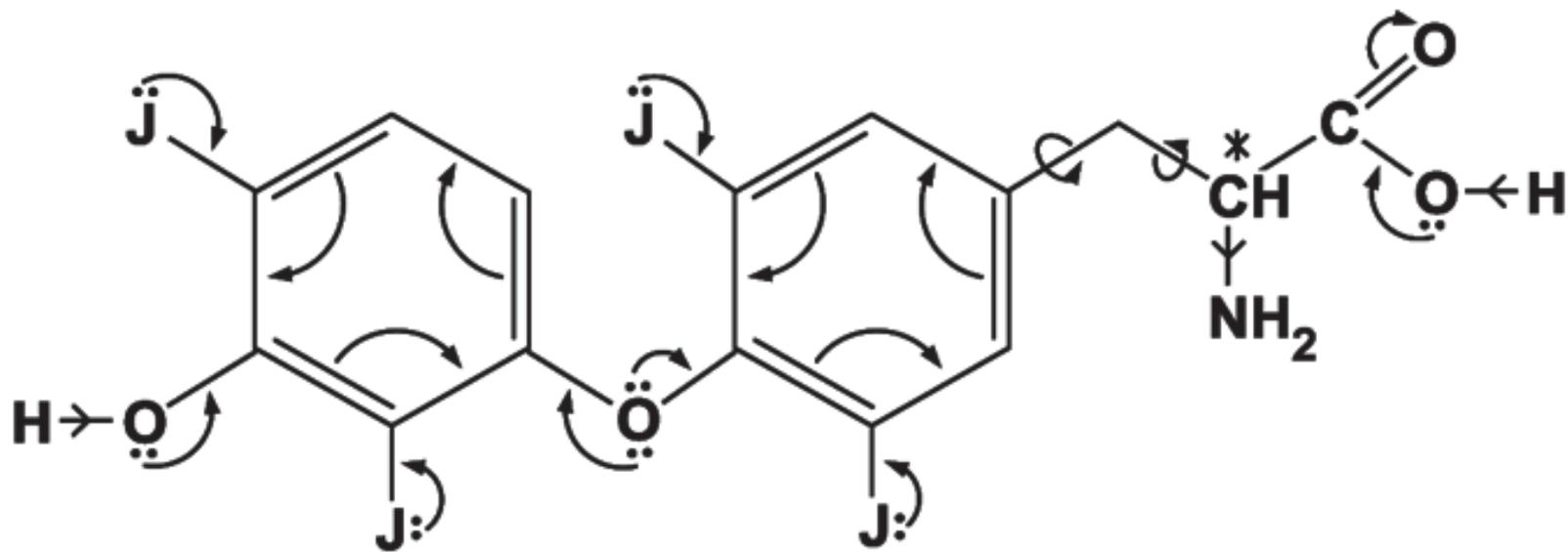
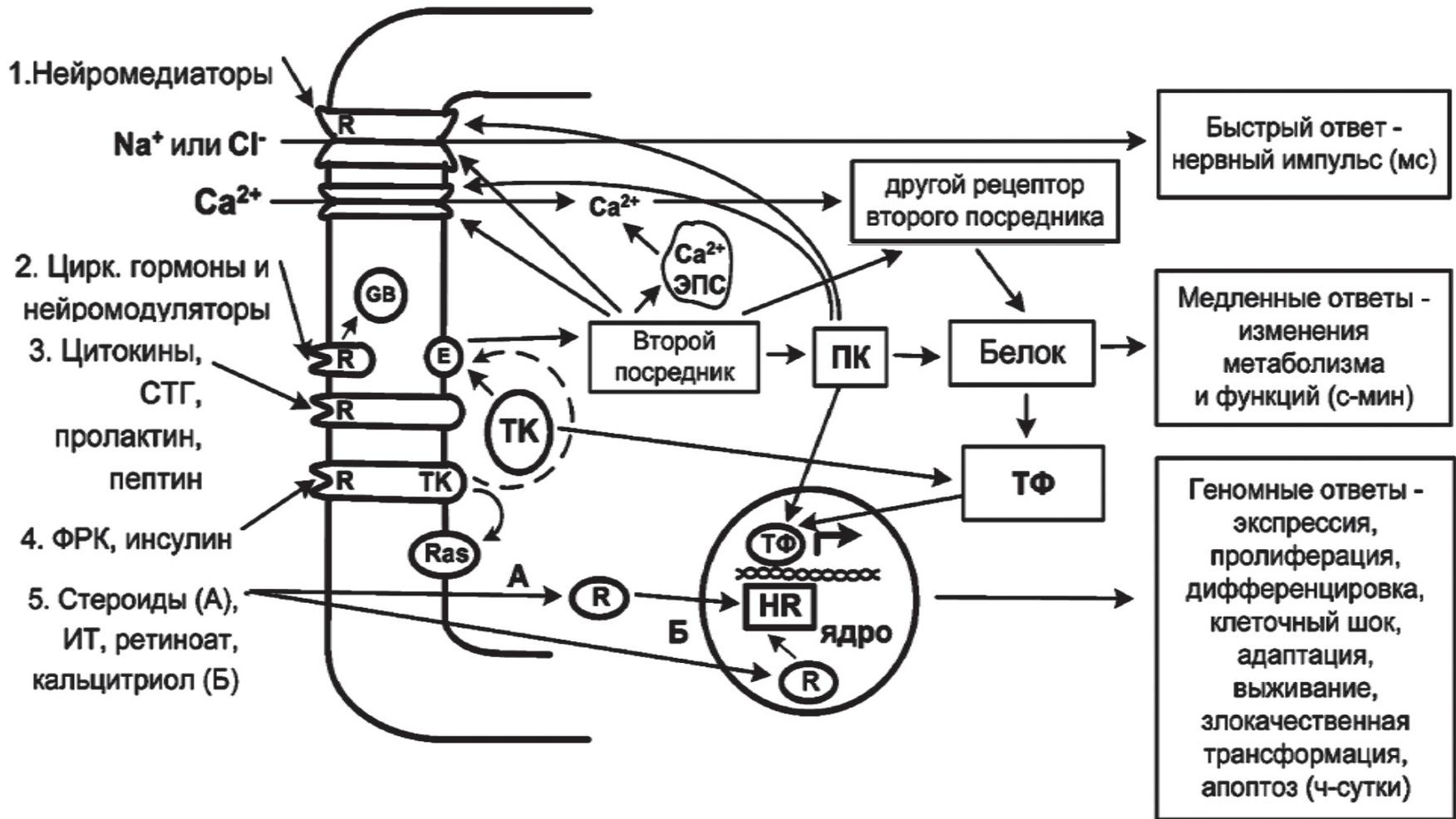


Рис. 41 Тироксин

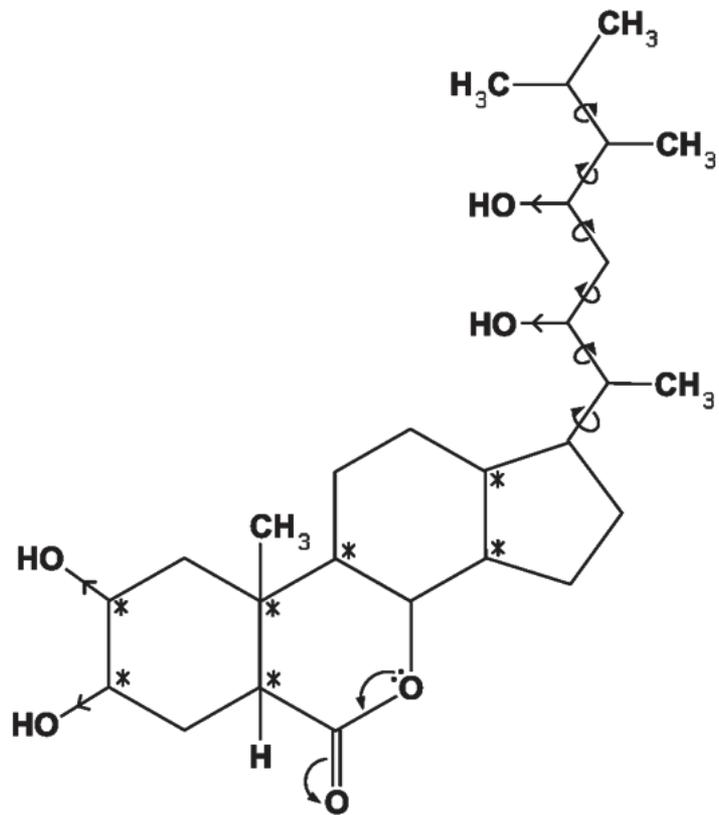


*Рис. 42. Сигнал–трансдукторные системы клетки (общая схема) [204]:  
 цирк — циркуляционные, СТГ — соматотропные гормоны, ФРК — факторы  
 роста клеток,  
 ИТ — йодтиронины, Р — рецептор, GB — G-белок, Е — фермент, ТК —  
 тирозинкиназа, ЭПС — эндоплазматическая сеть, ПК — протеинкиназа, ТФ —  
 транскрипционный фактор, HR — гормонорецепторный комплекс.*

# Гормоны растений

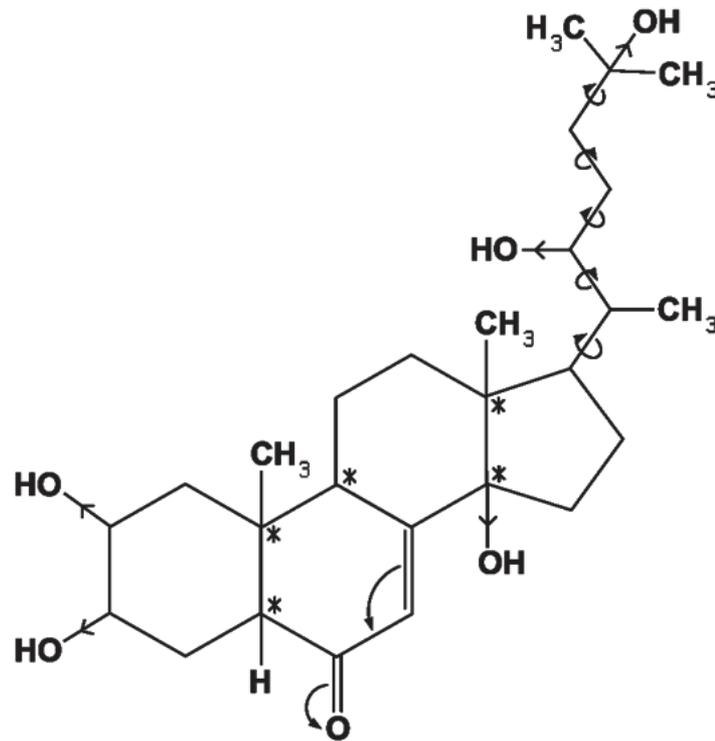


*Растения*



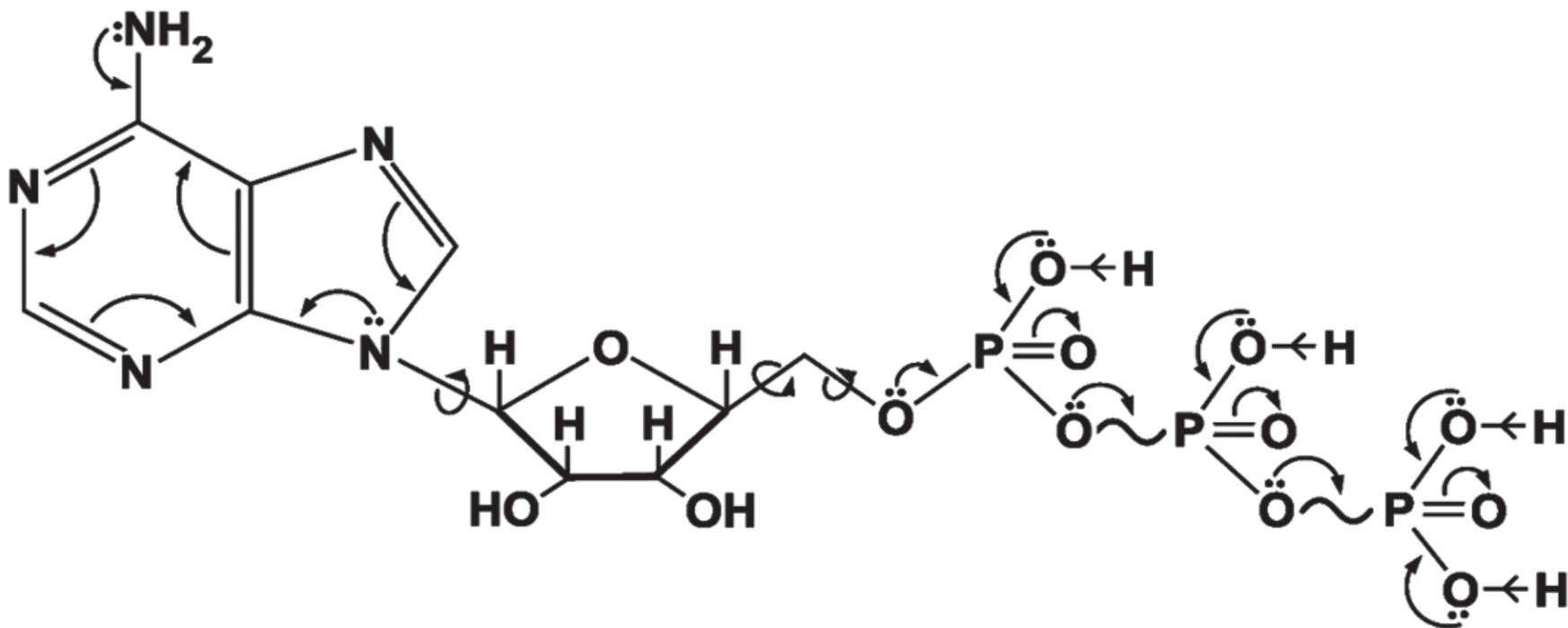
*Брассинолид*

*Животные*

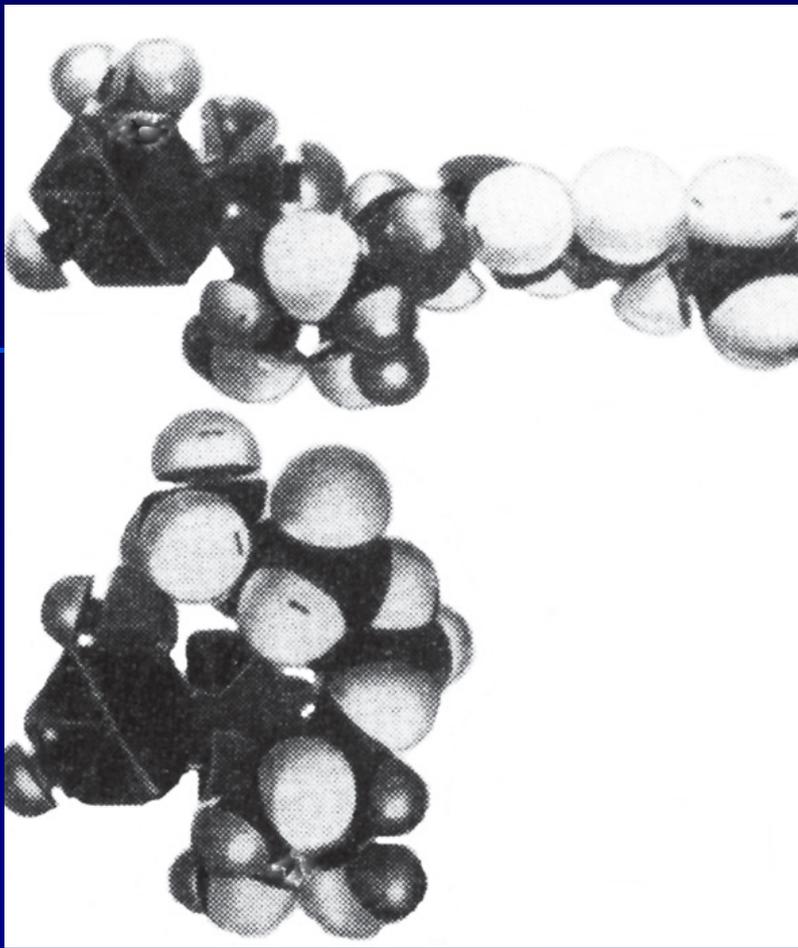


*Экдизон*

# Макроэрги

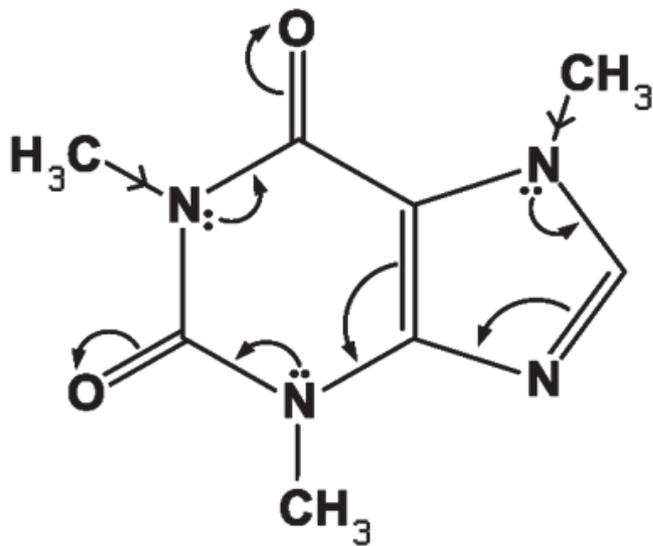


*Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)*

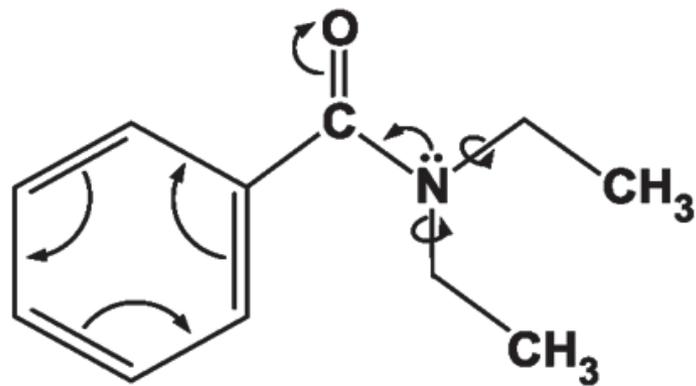


*Рис. 45. Молекулярная модель АТФ в вытянутом (вверху) и свернутом (внизу) состоянии.*

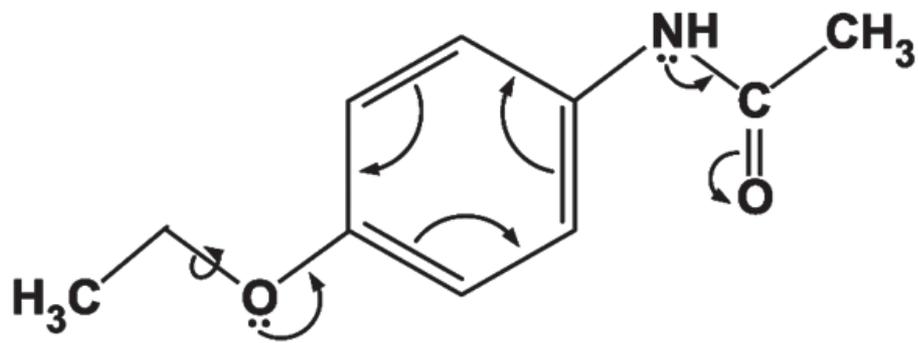
# Лекарственные препараты и яды



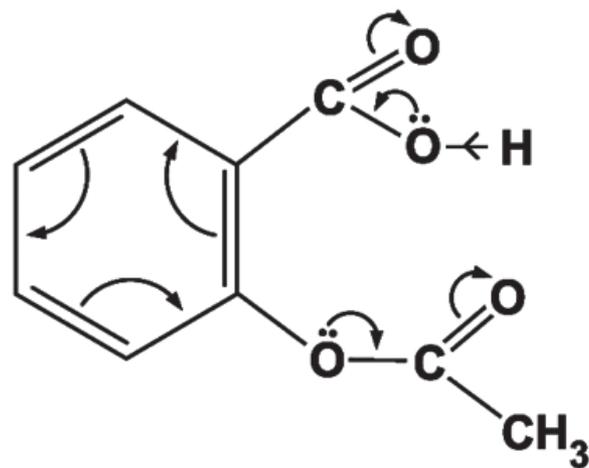
*Кофеин*



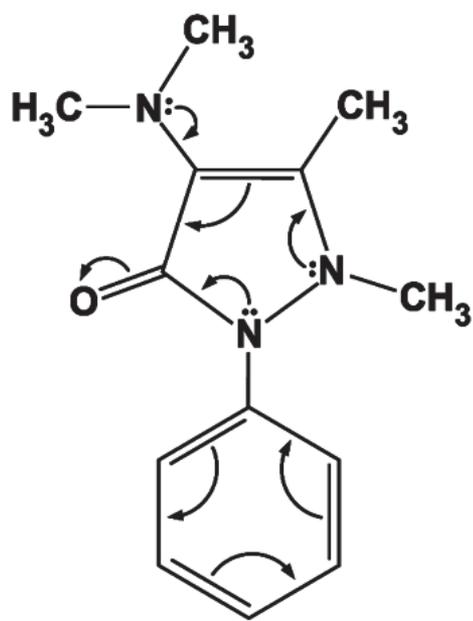
*Кордиамин*



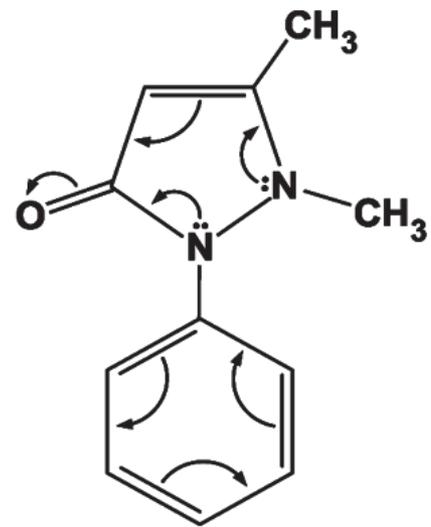
*Фенацетин*



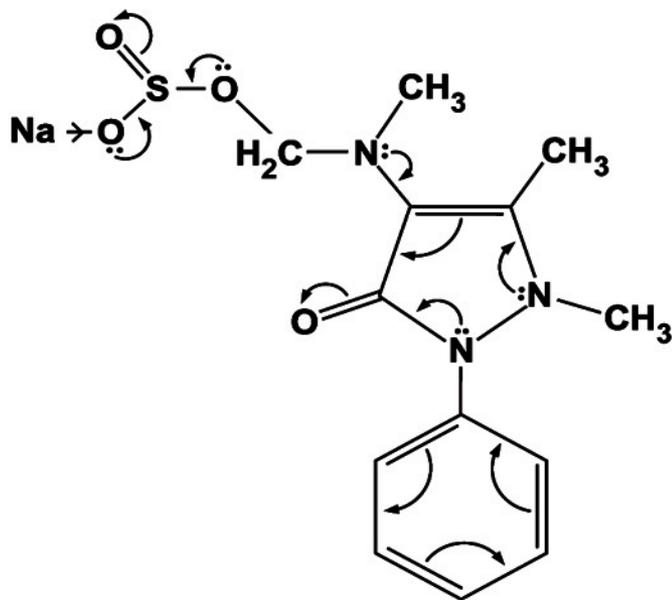
*Аспирин*



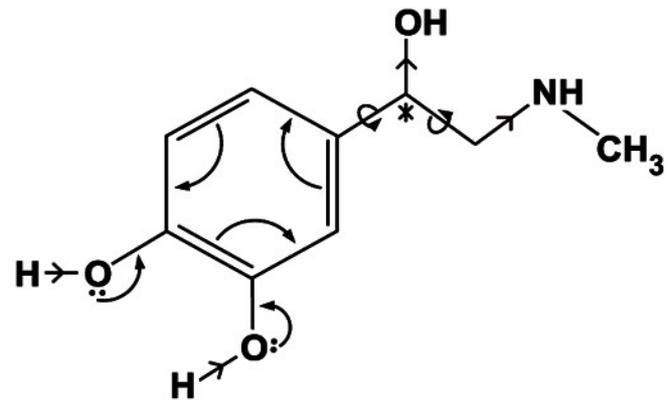
*Пирамидон*



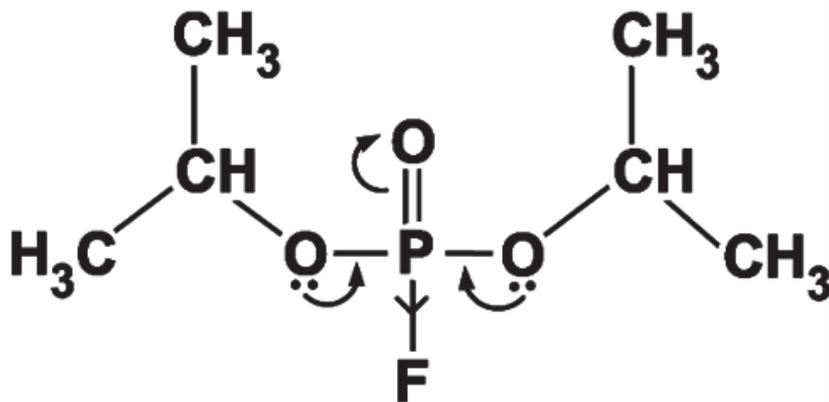
*Антипирин*



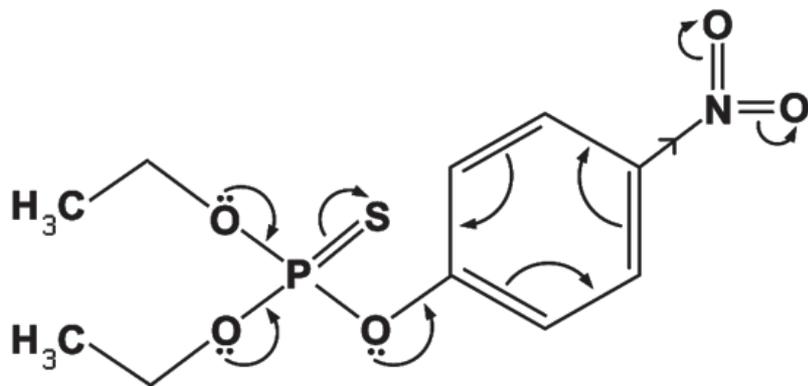
*Анальгин*



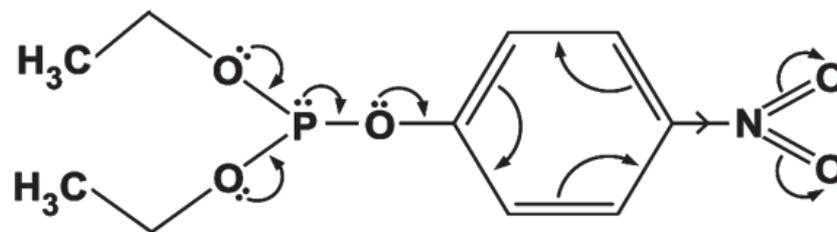
*Адреналин*



*Диизопропилфторфосфат*



*Тиофос*



*Фосфакол*



# **Роль сопряжения в построении белковых структур**

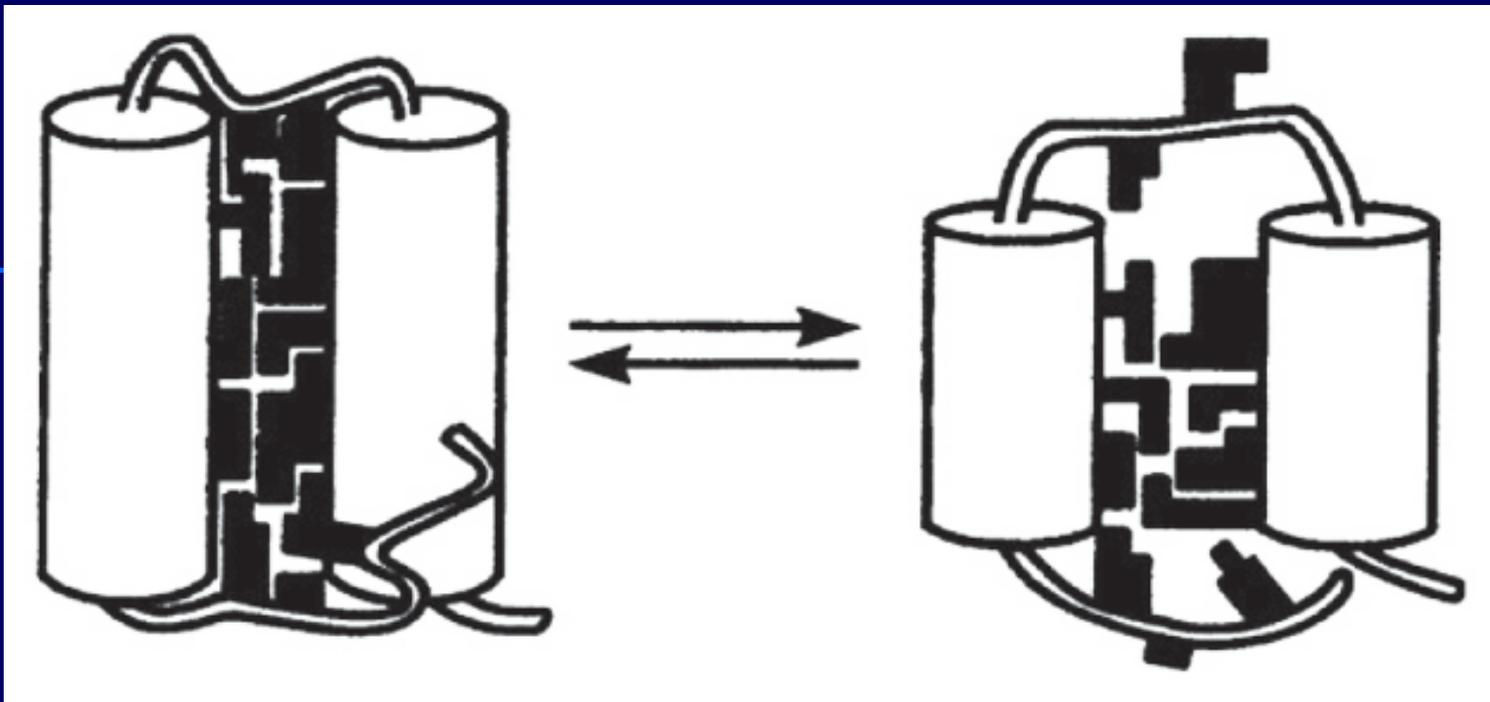
## Комплексы с переносом заряда



# **Белок в живой клетке**

## Распределение 3555 белков в 22 внутриклеточных органеллах, согласно экспериментальным данным

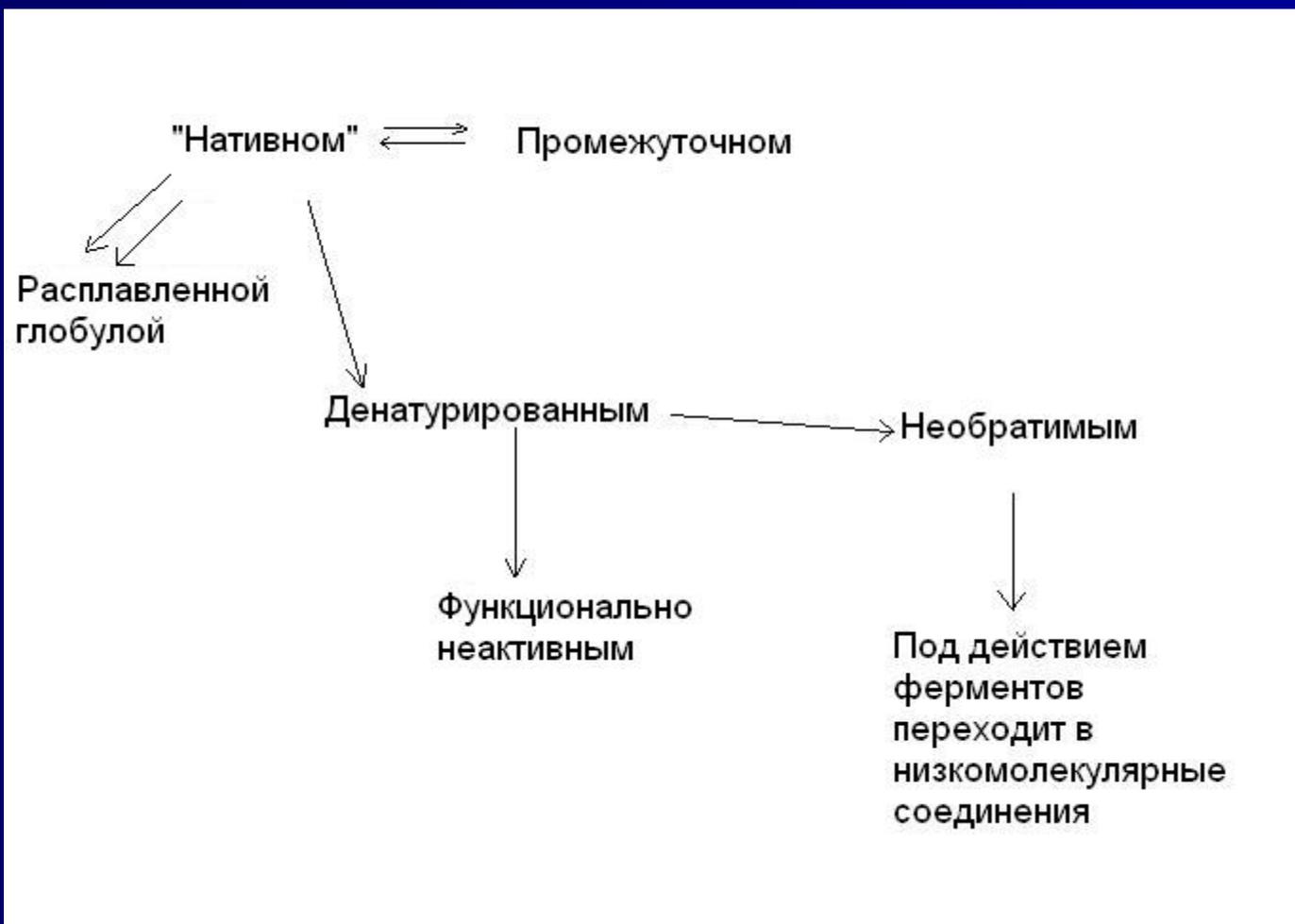
| Внутриклеточная локализация                         | Число белков |
|---|--------------|
| Актин   | 29           |
| Почки   | 23           |
| Шейка почки   | 60           |
| Периферия клетки                                    | 106          |
| Цитоплазма  | 1576         |
| Раннее Гольджи                                      | 51           |
| Эндосома  | 43           |
| Эндоплазматический ретикулум                        | 272          |
| Переход от эндоплазматического ретикулума к Гольджи | 6            |
| Гольджи   | 40           |
| Позднее Гольджи                                     | 37           |
| Жировые частички                                    | 19           |
| Микротрубочки                                       | 20           |
| Митохондрии   | 494          |
| Периферия ядра                                      | 59           |
| Ядрышко   | 157          |
| Ядро  | 1333         |
| Пероксисома (лизосома)                              | 20           |
| Полюс веретена                                      | 58           |
| Мембраны вакуолей                                   | 54           |
| Вакуоли   | 129          |
| Другие органеллы                                    | 123          |
| Всего:  | 3555         |



*Рис. 51. Схема, отражающая состояние белка в нативном состоянии и состоянии расплавленной глобулы.*

# Белок в живой клетке

Может находиться в состоянии:



# Синтез белка

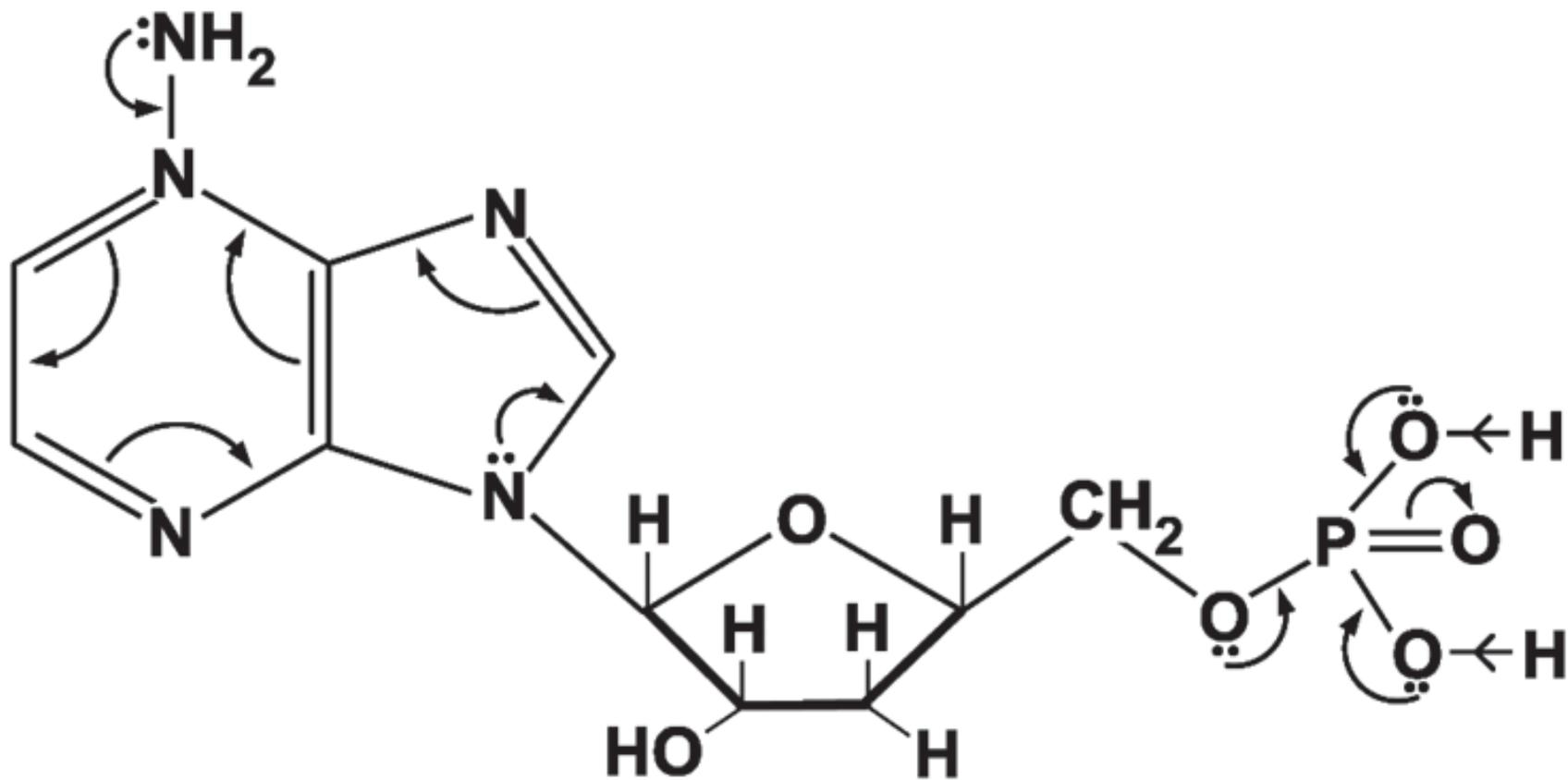
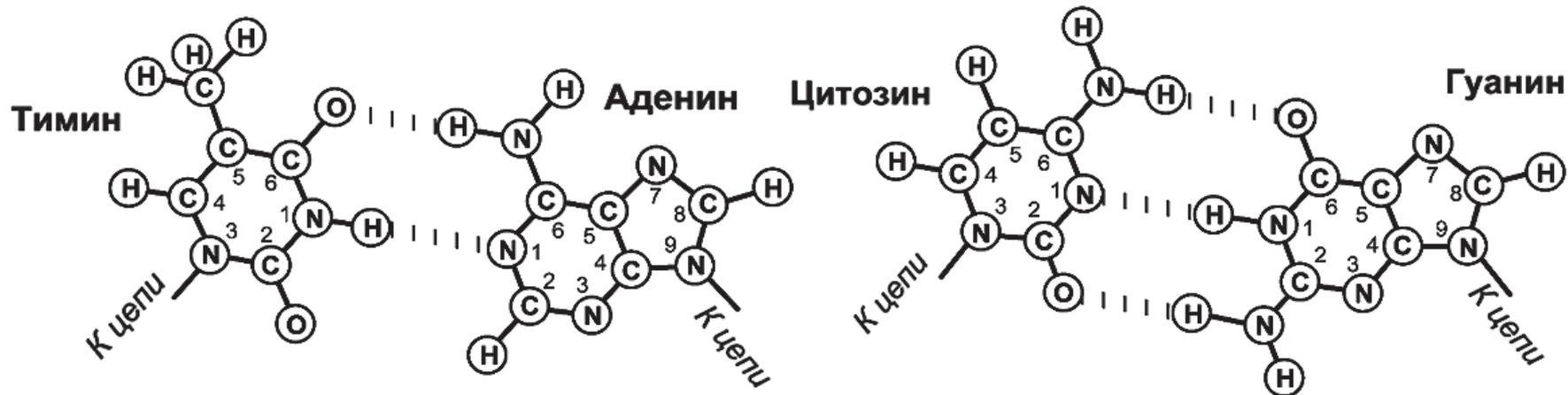


Рис. 53. Моноадениннуклеозид





*Рис. 54. Схема, объясняющая образование водородных связей между парами оснований.*

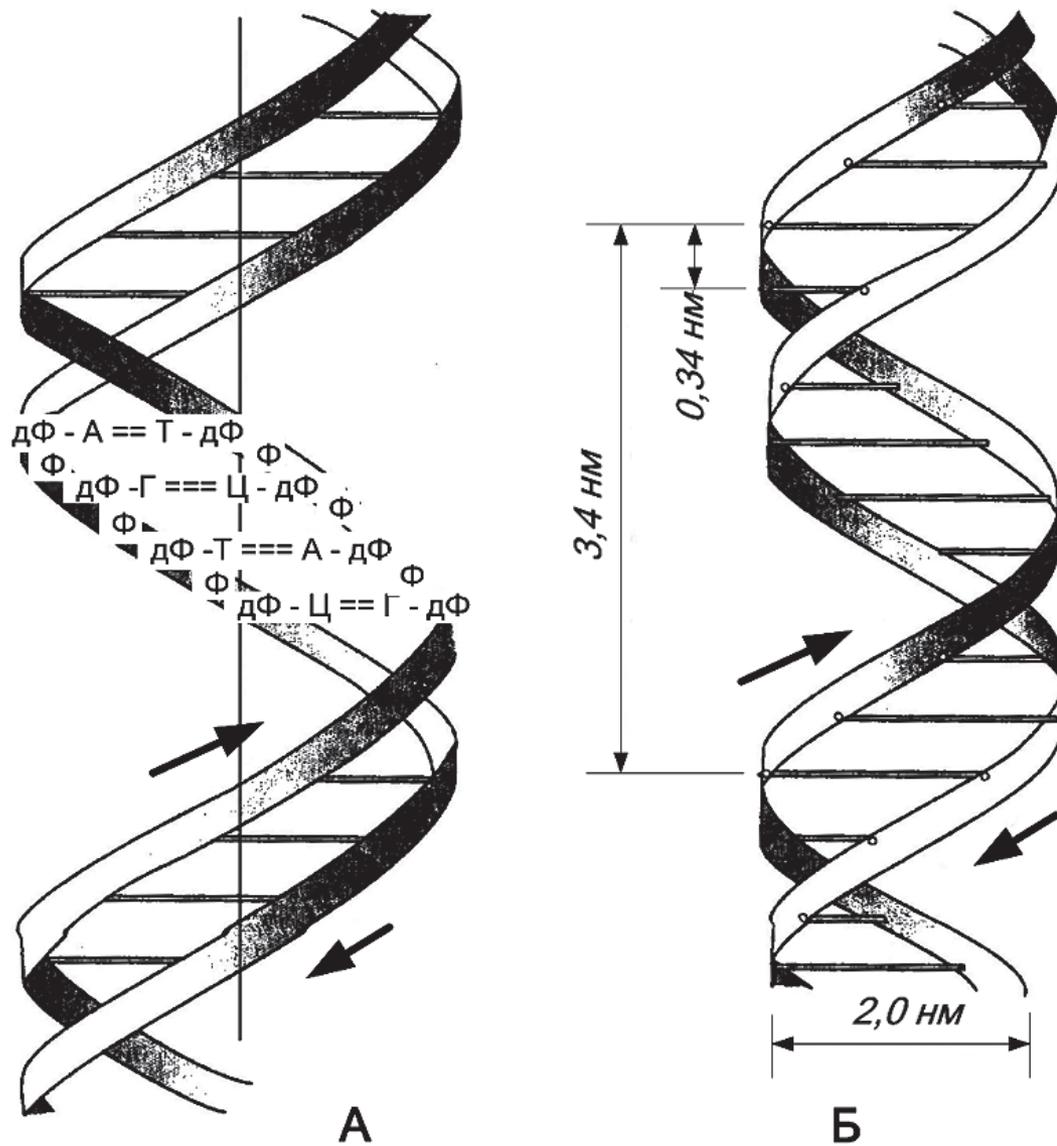


Рис. 55. Строение ДНК. А, В — двойная спираль.

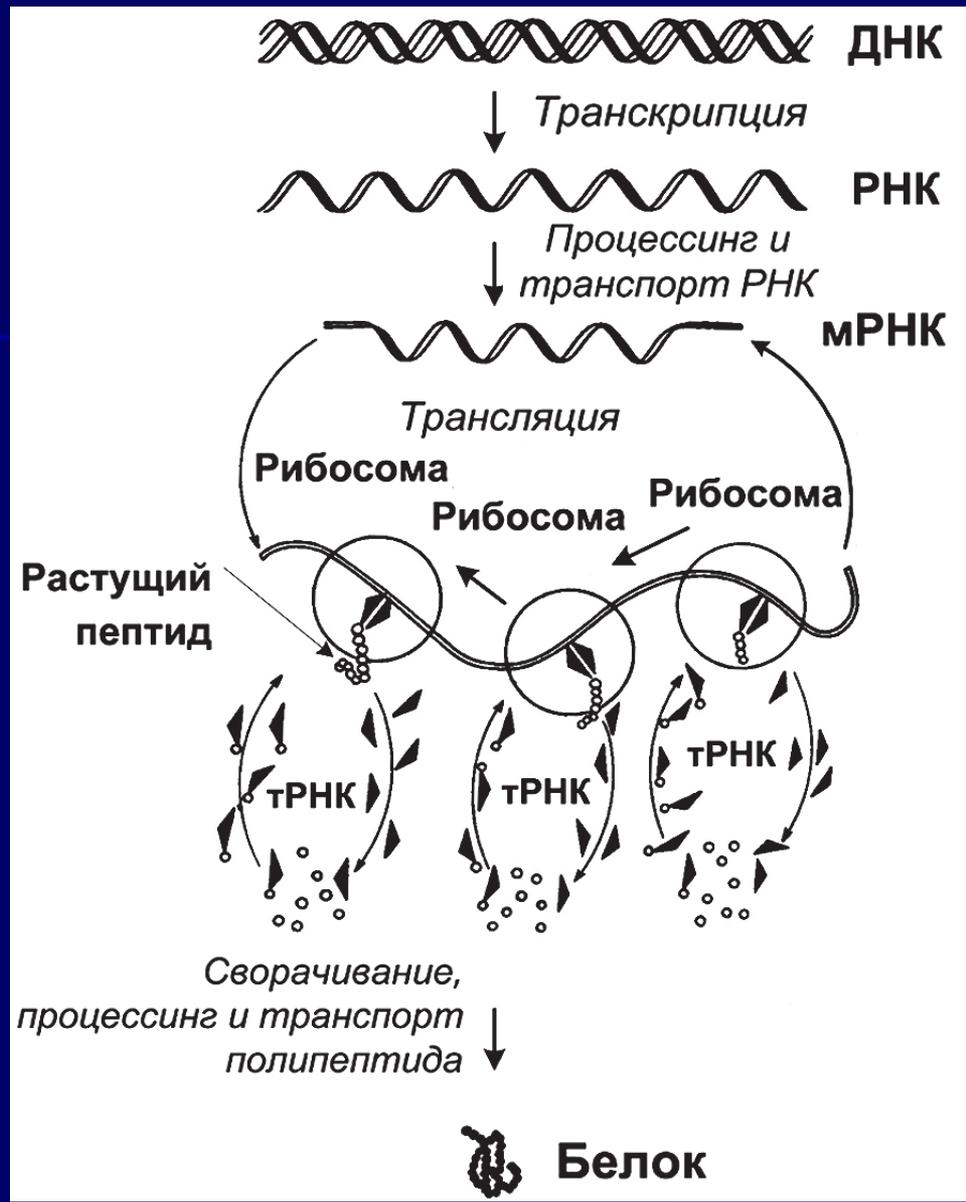
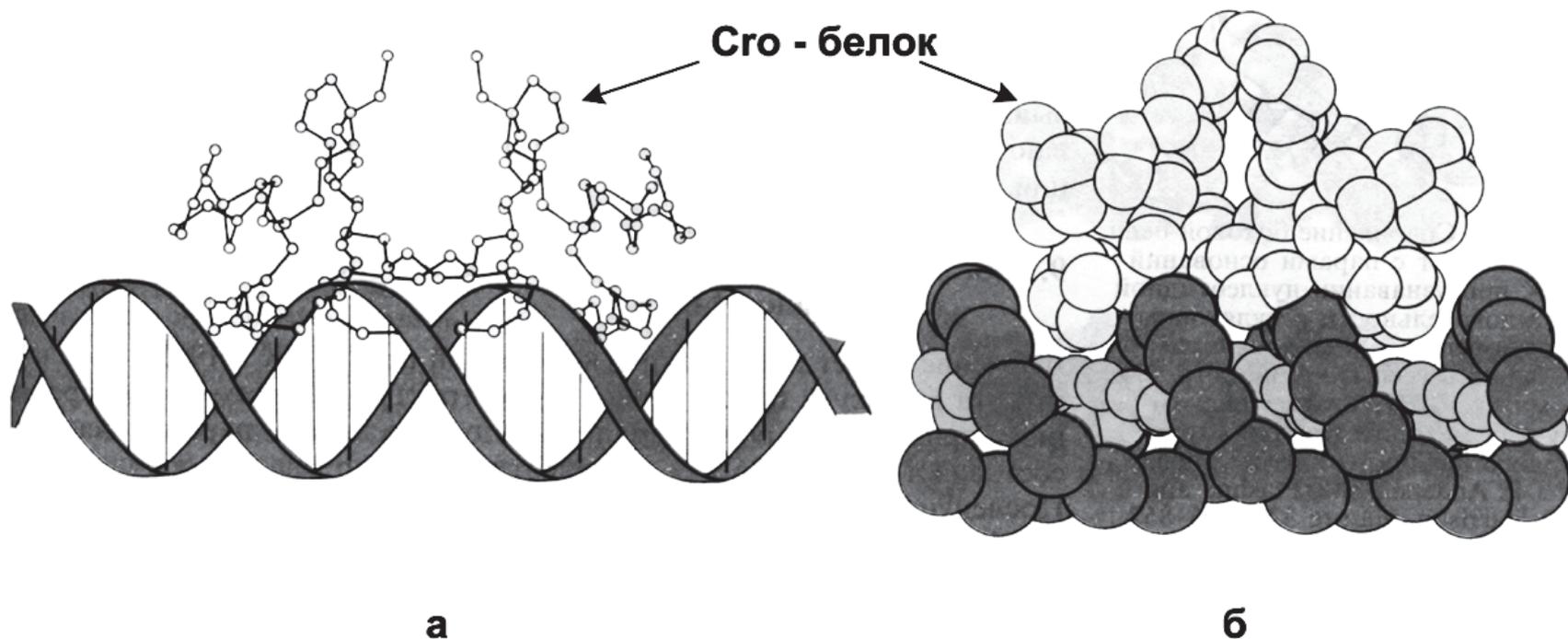


Рис. 56. Общая схема биосинтеза белка (ДНК → РНК → белок).



*Рис. 57 Модельное изображение комплекса молекулы ДНК и белка:*

*а — в форме ленты;*

*б — с использованием метода Монте-Карло.*

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| Колебания двойной спирали ДНК               | $10^{-13}$ – $10^{-11}$ сек |
| Локальные движения основных пар             | $10^{-10}$ – $10^{-9}$ сек  |
| В–А переходы в ДНК                          | $10^{-9}$ сек               |
| Кинетика интеркаляции                       | $10^{-4}$ – $10^{-3}$ сек   |
| Распаривание пар оснований                  | $10^{-3}$ – $10^{-1}$ сек   |
| Диссоциация при образовании двойной спирали | $10^{-3}$ – $10$ сек        |

Рис. 58

**Вода**

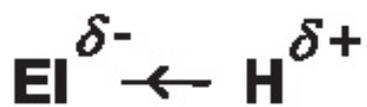
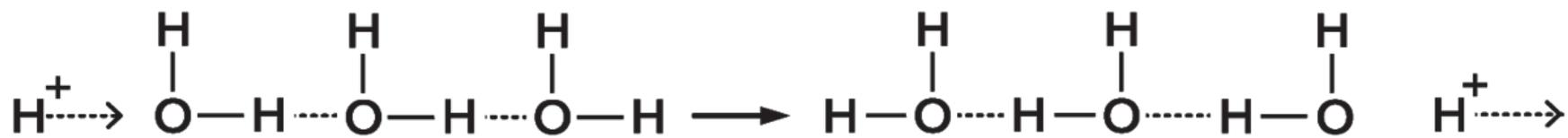
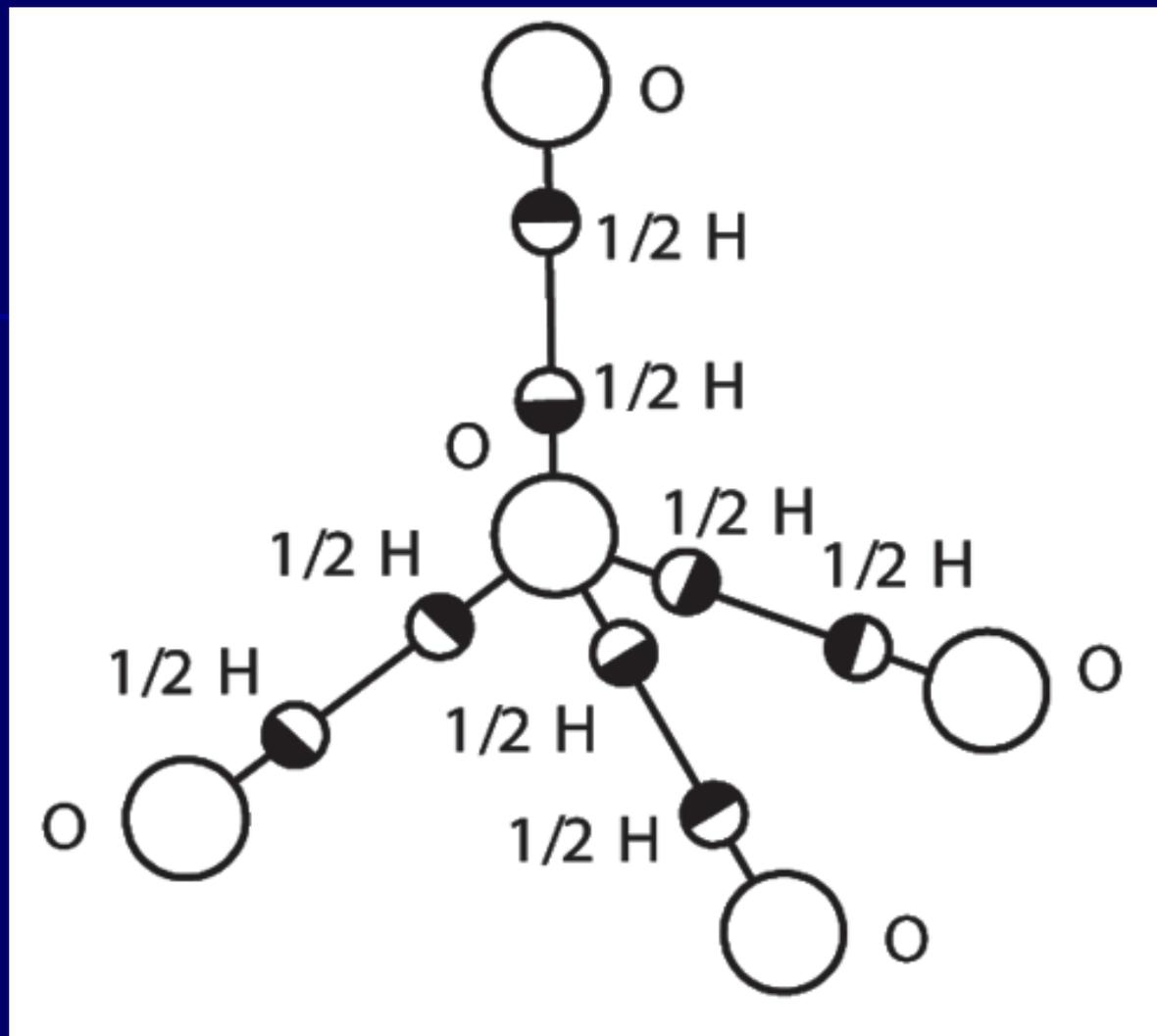
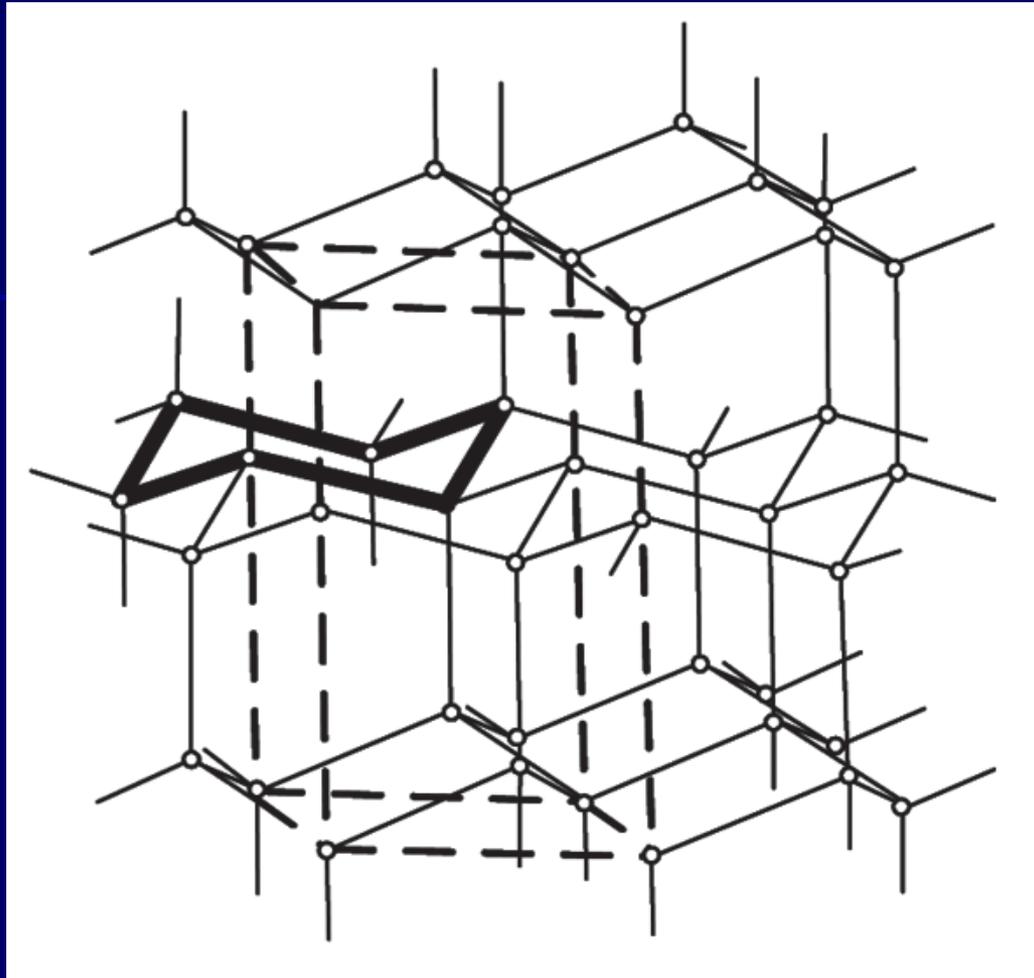


Рис. 59



*Рис. 60. Распределение протонов во льду согласно нейтронографическим данным.*





*Рис. 61. Расположение атомов кислорода во льду.*

|                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Релаксация структуры объемной воды | $10^{-12}$ – $10^{-11}$ сек |
| Релаксация гидратированных слоев   | $10^{-11}$ – $10^{-10}$ сек |
| Времена жизни связанной воды       | $10^{-8}$ – $10^{-2}$ сек   |

Рис. 62

# **Ионы металла и анионы клетки**

## Содержание химических элементов в организме человека

| Массовая доля,<br>%    | Химические элементы,<br>масс. доля в %  |
|------------------------|---|
| 10 и более             | <b>O</b> (62), <b>C</b> (21), <b>H</b> (10)   |
| $1^{-10}$              | <b>N</b> (3), <b>Ca</b> (2), <b>P</b> (1)   |
| 0,01–1                 | <b>K</b> (0,23), <b>S</b> (0,16), <b>Cl</b> (0,1), <b>Na</b> (0,08), <b>Mg</b> (0,027),<br><b>Fe</b> (0,01) |
| $10^{-3}$ – $10^{-2}$  | <b>Zn</b> , <b>Sr</b>   |
| $10^{-4}$ – $10^{-3}$  | <b>Cu</b> , <b>Co</b> , <b>Br</b> , <b>Cs</b> , <b>Si</b>   |
| $10^{-5}$ – $10^{-3}$  | <b>I</b>  |
| $10^{-5}$ – $10^{-4}$  | <b>Mn</b> , <b>V</b> , <b>B</b> , <b>Cr</b> , <b>Al</b> , <b>Ba</b>   |
| $10^{-6}$ – $10^{-3}$  | <b>Mo</b> , <b>Pb</b> , <b>Ti</b>   |
| $10^{-7}$ – $10^{-4}$  | <b>Be</b> , <b>Ag</b>   |
| $10^{-6}$ – $10^{-5}$  | <b>Ni</b> , <b>Ga</b> , <b>Ge</b> , <b>As</b> , <b>Hg</b> , <b>Bi</b>                                       |
| $10^{-7}$ – $10^{-5}$  | <b>Se</b> , <b>Sb</b> , <b>U</b>  |
| $10^{-7}$ – $10^{-6}$  | <b>Th</b>   |
| $10^{-12}$ – $10^{-4}$ | <b>Ru</b>   |

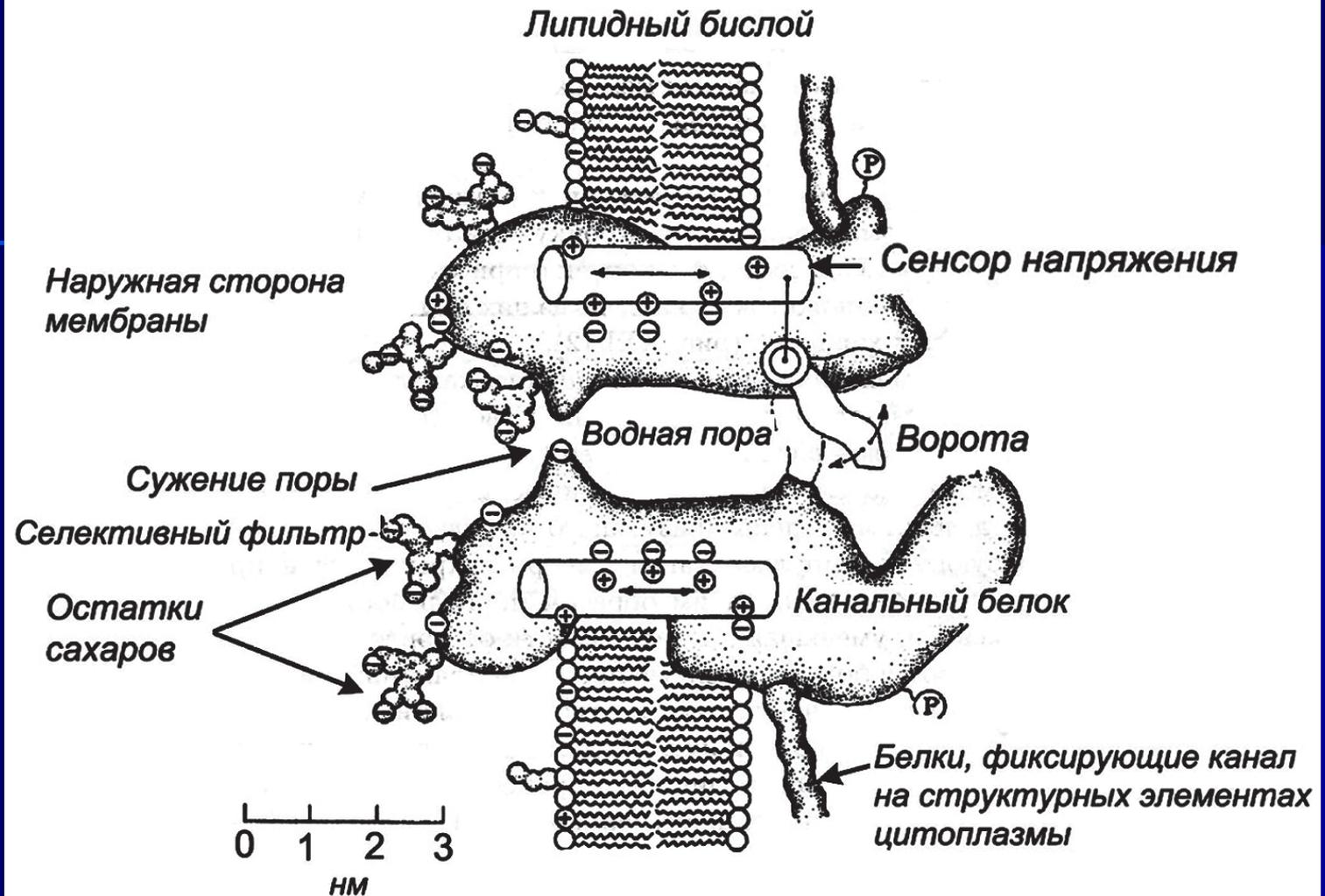


Рис. 64 Схематическое изображение ионного канала.

# Мембраны

$R_1$  — остаток предельной карбоновой кислоты,  
 $R_2$  — остаток непредельной карбоновой кислоты,  
 $X$  — спирты, в том числе холестерол.

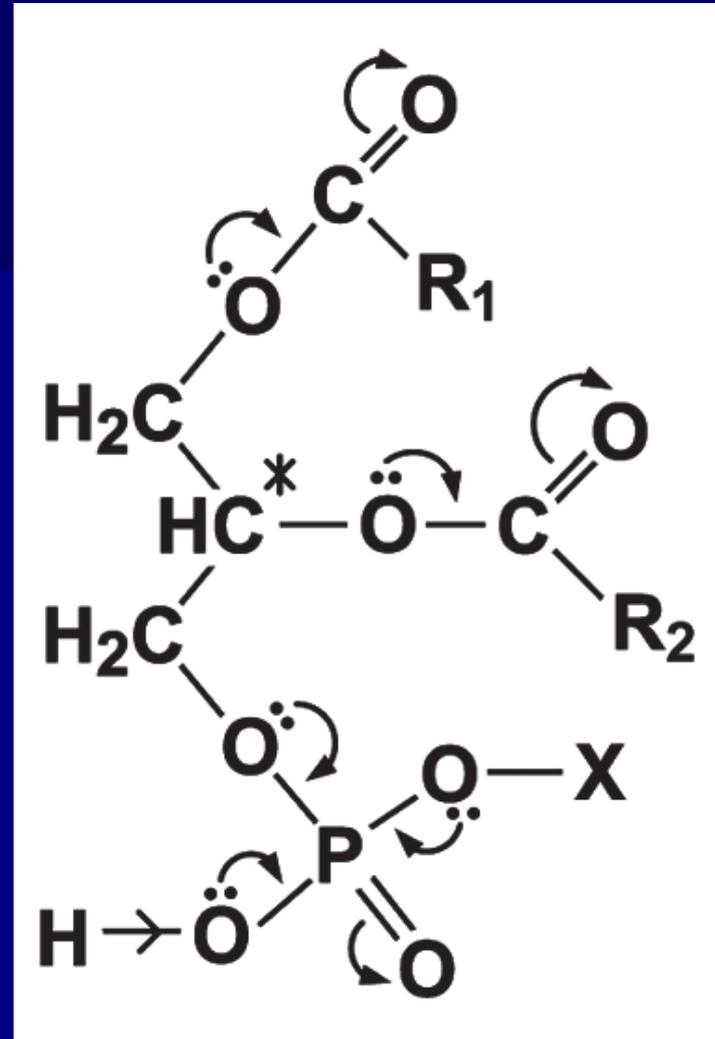
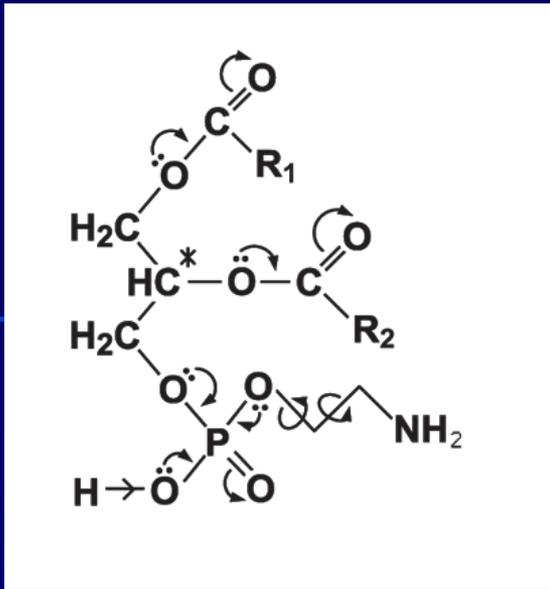
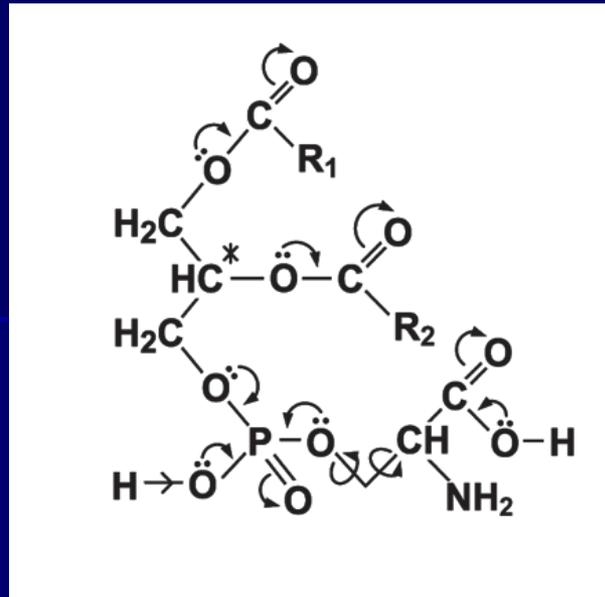


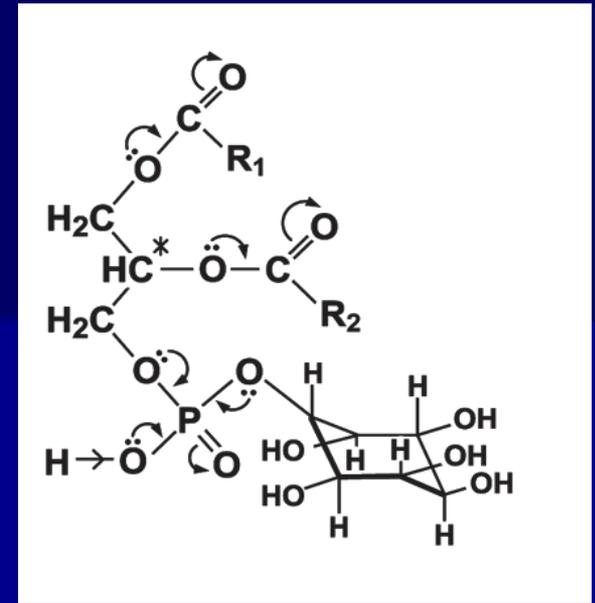
Рис. 65 L-глицеро-3-фосфат



*Фосфатидилэтаноламин*

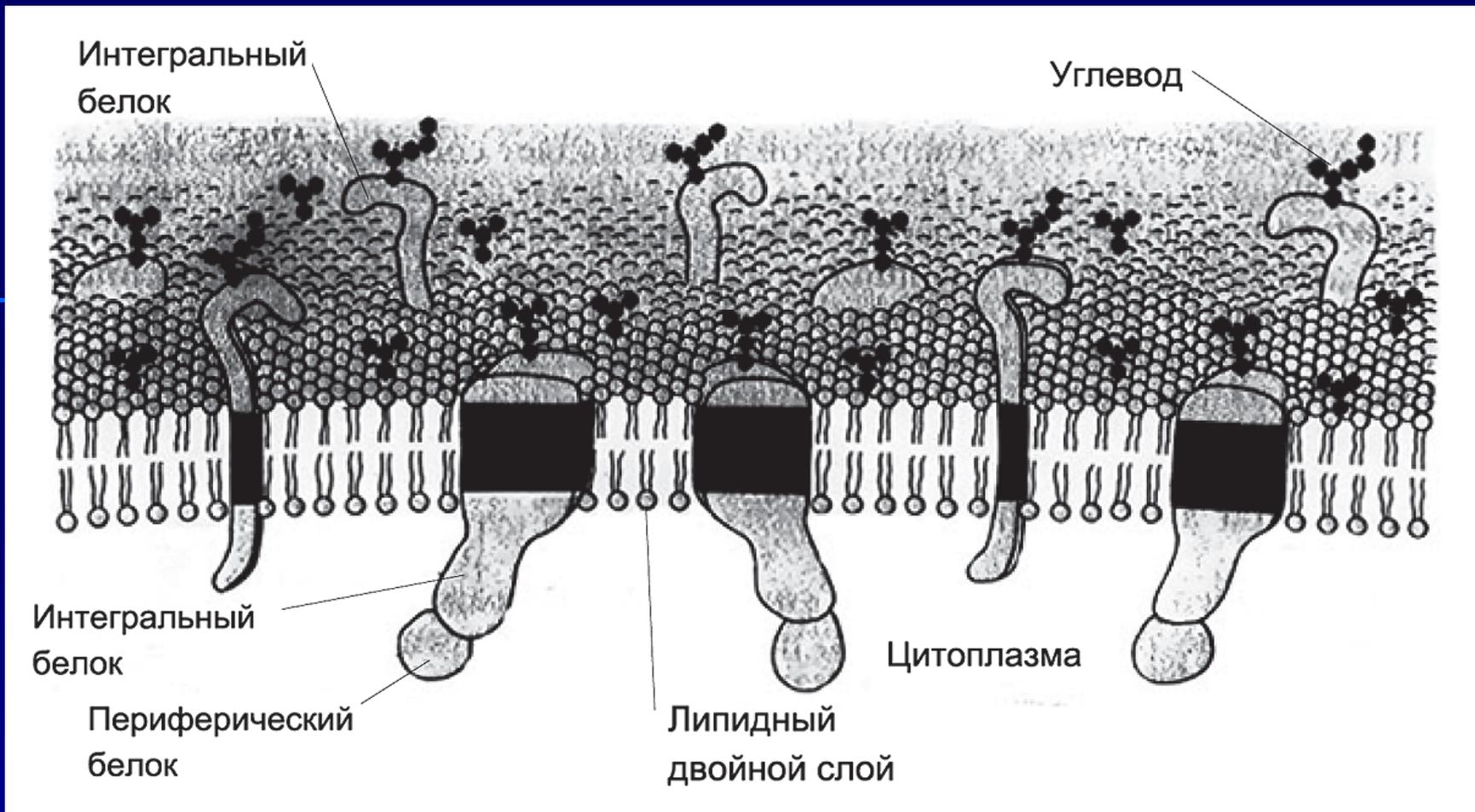


*Фосфатидилсерин*

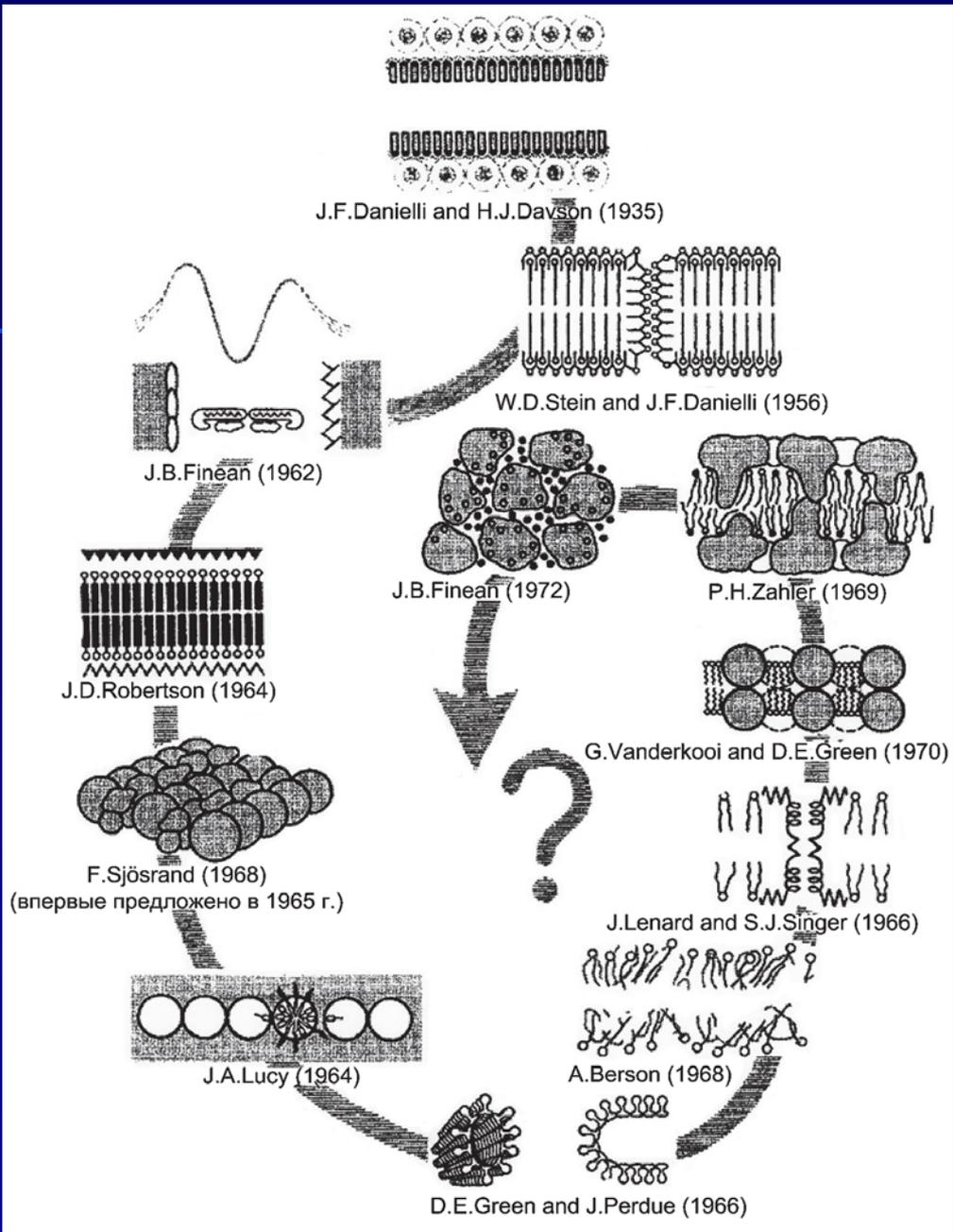


*Фосфатидилинозит*



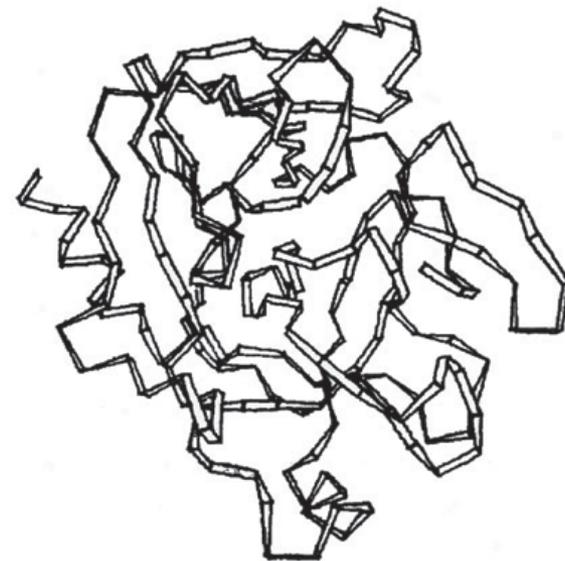
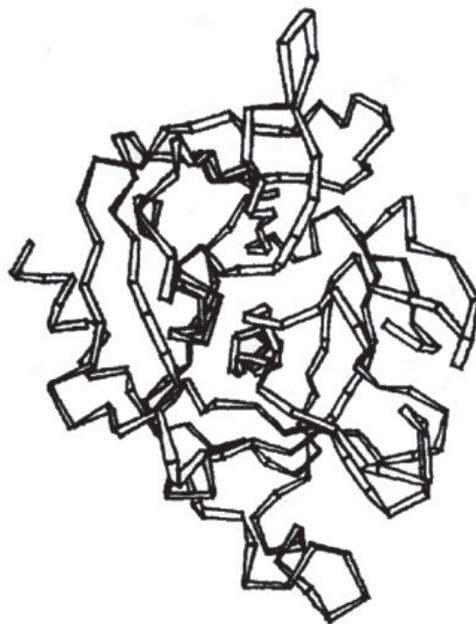


*Рис. 67 Модель плазматической мембраны.*



*Рис. 68  
Схема, иллюстрирующая  
временную и авторскую  
динамику  
представлений о структуре  
мембран.*

# Метаболизм



1

2

3

*Рис. 69*

*Ленточные диаграммы полипептидных цепей:*

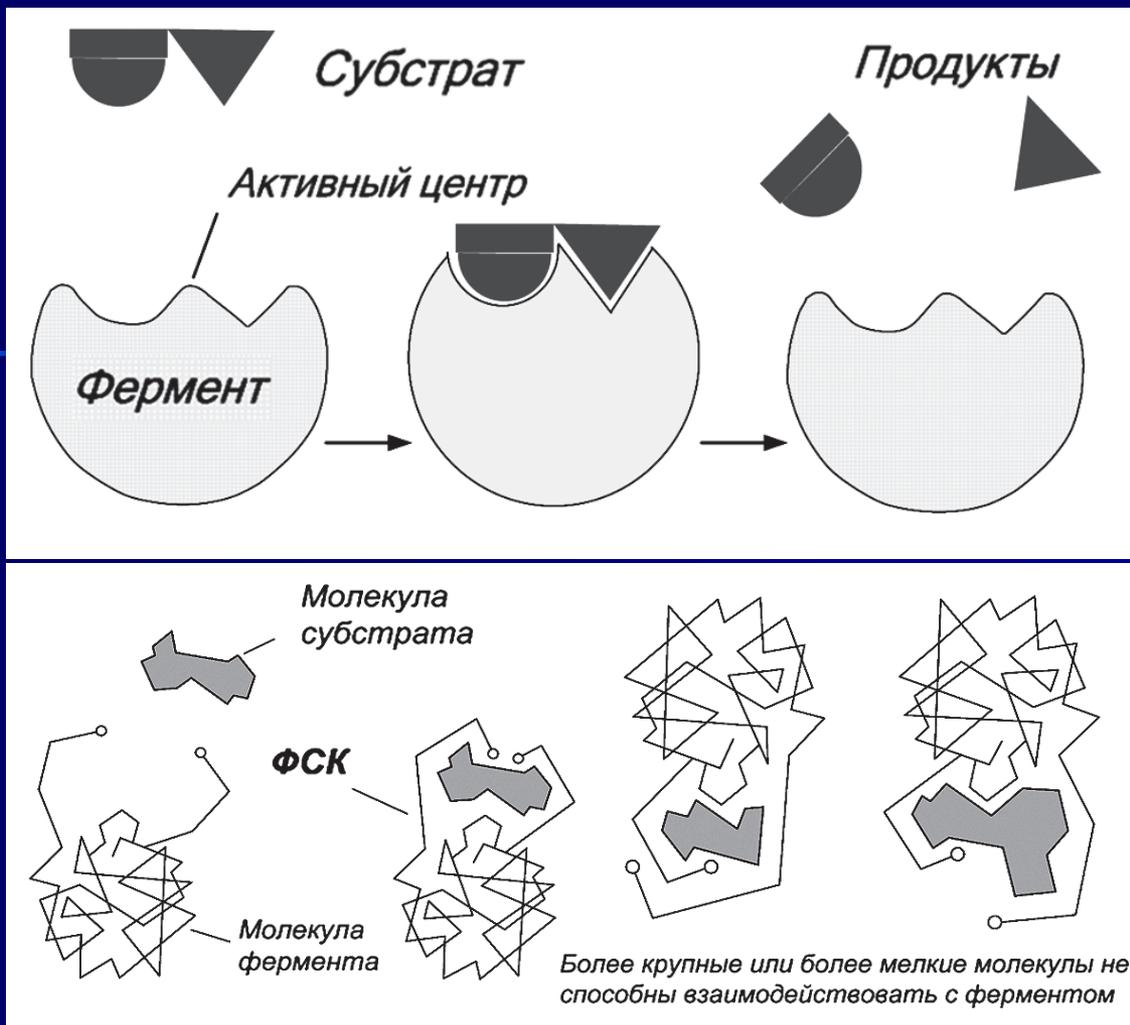
*1 — химотрипсина;*

*2 — эластазы;*

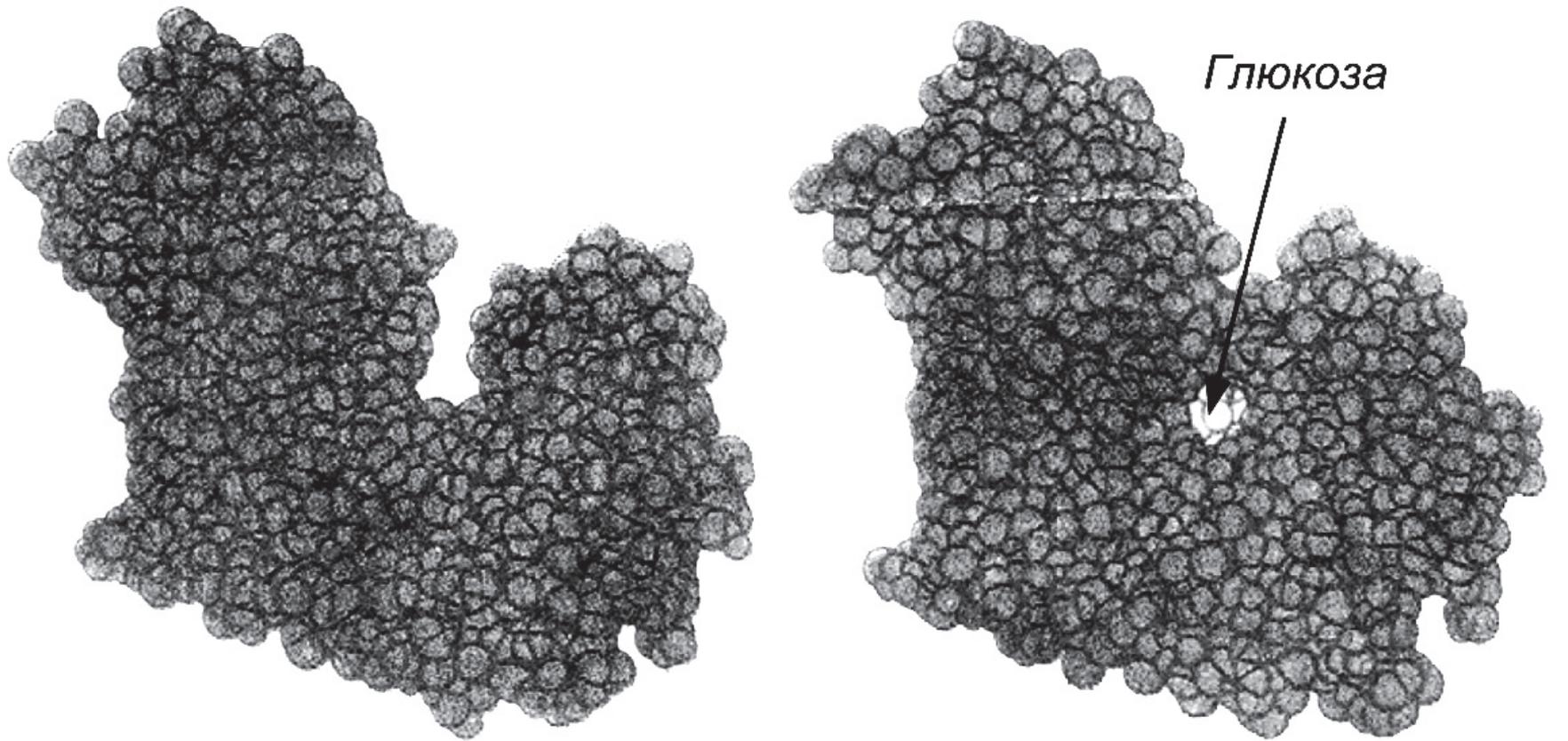
*3 — трипсина.*

*$\alpha$ -Углеродные атомы располагаются на сгибах ленты.*

*Небольшие различия имеются в структуре лишь внешних петель.*



*Рис. 70. Схемы, иллюстрирующие кошландовскую гипотезу индуцированного соответствия А — простая схема, поясняющая механизм действия. Фермент в результате присоединения субстрата к активному центру слегка изменяет форму фермента и последний становится более объемным; Б — более подробная схема. Соединяясь с ферментом, субстрат вызывает в нем изменение, в результате которого активные группы фермента сближаются.*



*Рис. 71.*

*Конформация гексокиназы значительно изменяется при связывании глюкозы (показано стрелкой). Две доли фермента сближаются и окружают субстрат*

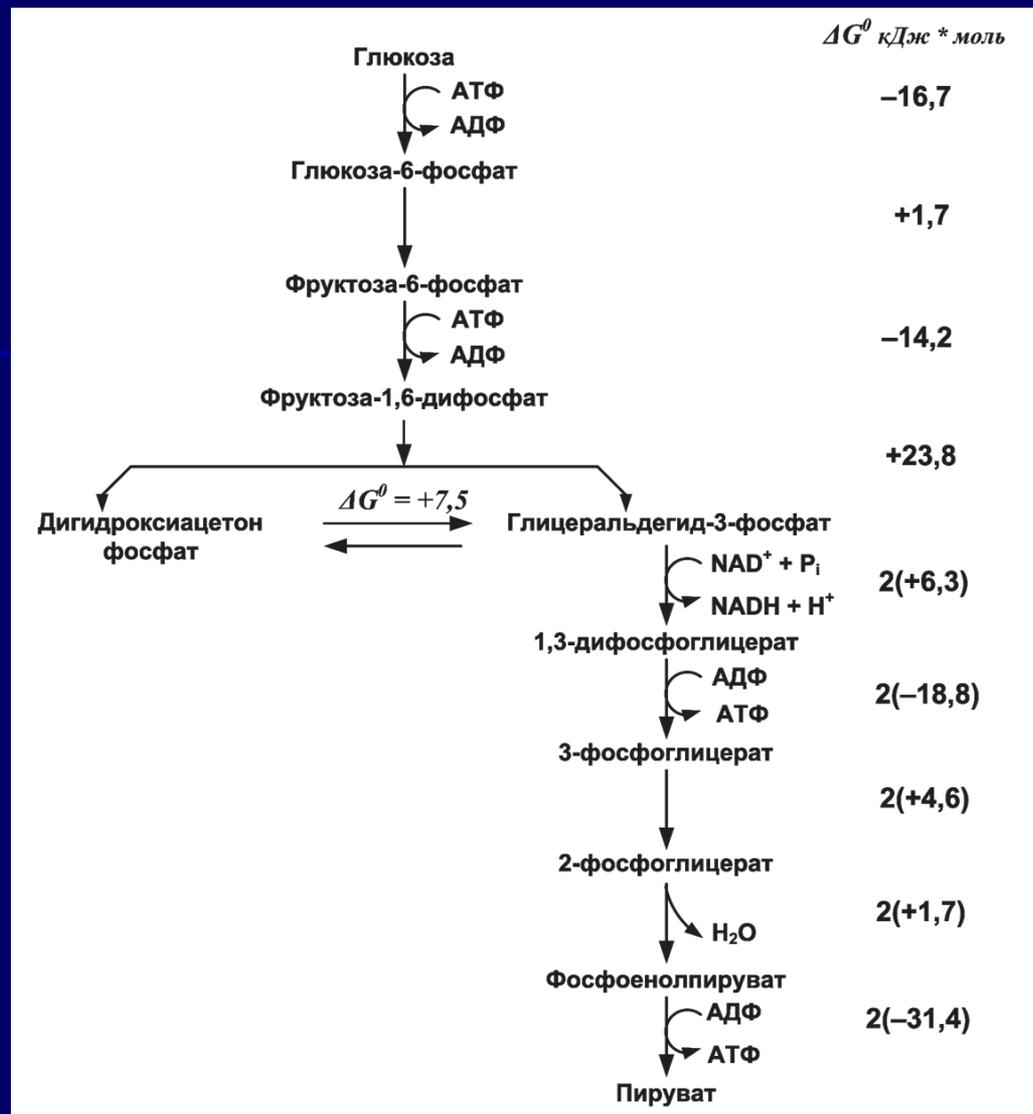


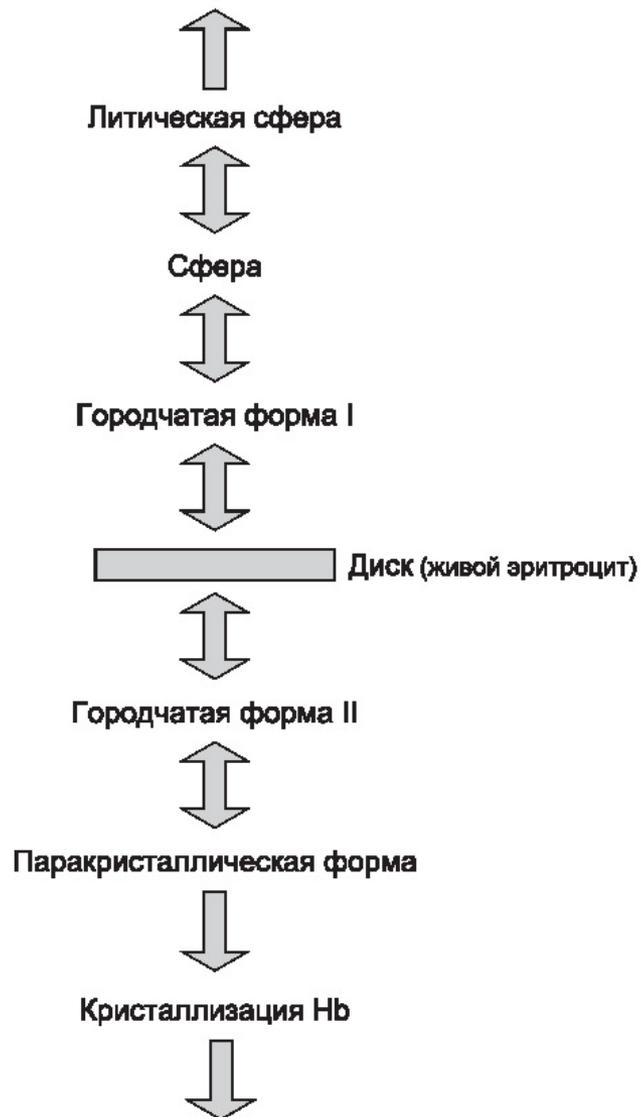
Рис. 72. Гликолитический путь превращения глюкозы в пируват.  $\Delta G^0$  для реакций от глицеральдегид-3-фосфата к пирувату умножается на 2, так как из моля глюкозы образуется по 2 моля этих веществ.

# Модель живой клетки



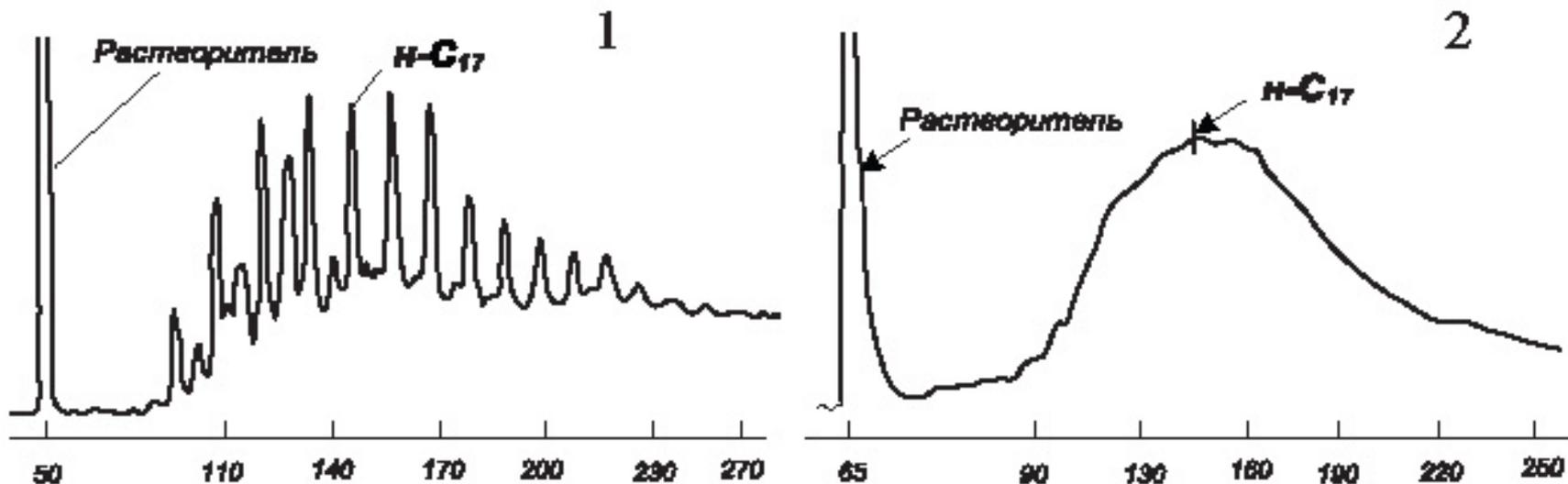
## Формы эритроцитов млекопитающих и их гемолиз

Выход Hb в окружающую среду и гибель эритроцитов



Потеря эритроцитами функциональных свойств, их гибель

# **Возникновение живой клетки**



*Рис. 74.  
Газовые хроматограммы гексановых фракций  
из сланца Посидоний (1) и продуктов разряда в метане (2)*

**Более подробно о живой  
клетке можно прочитать  
в книге  
В. Г. Костенко**

**«Живая клетка  
глазами  
химика-органика»**

**Санкт-Петербург  
2009 г**

В. Г. Костенко

**Живая клетка  
глазами  
химика-органика**

