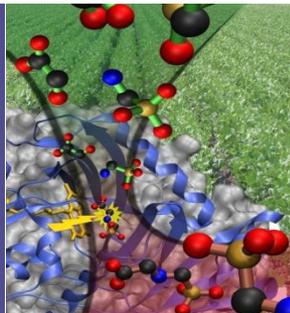
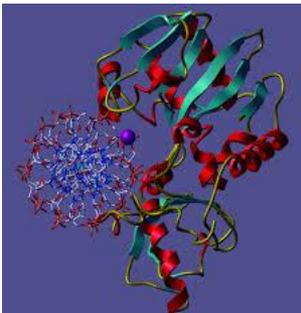
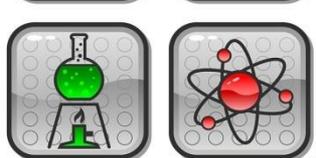
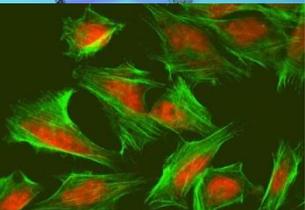
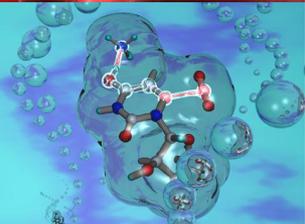
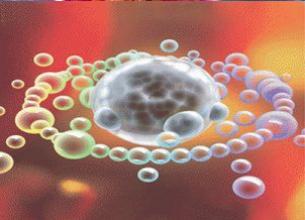


Санкт-Петербургский государственный университет  
Институт химии  
Лаборатория биомедицинской химии

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## курс лекций

Владимир Владимирович Шаройко,  
доктор биологических наук, доктор медицины  
E-mail: [sharoyko@gmail.com](mailto:sharoyko@gmail.com)



- 
- Предмет биологической химии. История становления и задачи биологической химии.
  - Биополимеры, их строение, свойства и функции.

# Структура курса биохимии

- **Первый семестр**  
Введение в биохимию

Экзамен

- **Второй семестр**

Экзамен.

# Лекция №1. Введение

- 1) Введение в биохимию.
- 2) Определение жизни.
- 3) Уровни организации живых систем.
- 4) Химический состав организмов.
- 5) Липиды. Строение и биологические функции.
- 6) Биополимеры, их строение и свойства

# Что такое биохимия?

- Биологическая химия = биохимия = химия жизни
- Биохимия использует принципы химии и физики для объяснения биологии на молекулярном уровне.
- Основные принципы биохимии являются общими для всех живых организмов

# Что такое биохимия?

- Биохимия - это наука, изучающая качественный и количественный состав, а также пути, способы, закономерности, биологическую и физиологическую роль превращения вещества, энергии и информации в живом организме.
- Термин «биохимия» предложил в 1858 г. австрийский врач и химик Винцент Клетцинский, написавший книгу «Компендиум по биохимии». Долгое время использовался другой термин – физиологическая химия.
- 28 апреля 1883 г. в Санкт-Петербурге было основано первое в мире биохимическое (биолого-химическое) общество, основателями которого было 16 человек: Н.Н. Лунин, Э. Эйхвальд, В. Анреп, К. Дегио, И. Биль, А. Пель, Р. Штерн, Фр. Лесгафт и др.

# Разделы биохимии

- **Статическая биохимия** - исследует качественные и количественный химический состав живых организмов.
- **Динамическая биохимия** - изучает совокупность превращений веществ, энергии и информации в живом организме.
- **Функциональная биохимия** - изучает химическую основу функций тканей, органов, систем органов и межорганных взаимодействий.

# Биохимия для разных отраслей

- Медицина
- Сельское хозяйство
- Индустрия
- Экология

# Основные разделы биохимии

- Структура и функции биологических макромолекул.
- Метаболизм – катаболизм и анаболизм.
- Молекулярная генетика и молекулярная биология. Воспроизведение организмов. Регуляция синтеза белка.

# История биохимии

- Представления античных философов (Аристотель, Платон)
- VI-X вв. – развитие в Европе *алхимии*
- XVI-XVII вв. – *ятрохимия* (Парацельс), виталистические взгляды
- Середина XVII – конец XVIII вв. – эмпирический период
- конец XVIII – середина XIX вв. – аналитический период
  - 1828 г. - Ф. Велер впервые синтезировал мочевины
  - 1839 г. – Ю. Либих установил, что в состав пищи входят белки, жиры и углеводы.
  - 1845 г. - Г. Кольбе синтезировал уксусную кислоту

# История развития российской биохимии

- 1847 г. – А.И. Ходнев – первый учебник по физиологической химии
- 1864 г. – А.Я. Данилевский – первая кафедра физиологической химии при Казанском университете.
- 1891 г. – М.В. Ненцкий – первая биохимическая лаборатория в Институте экспериментальной медицины (Петербург).
- 1880 г. – Н.И. Лунин – открытие витаминов.
- 1896 г. – А.Н. Бах – создание теории перекисного окисления.
- 1899 г. – И.П. Павлов, Н.П. Шеповальников – открытие проферментов.
- 1903 г. – М.С. Цвет – открытие метода хроматографии
- 1912 г. – В.И. Палладин – создание теории биологического окисления

# История российской биохимии

- 1854 г. - М. Бертло синтезировал жиры.
- 1861 г. - А.М. Бутлеров заложил научные основы органической химии синтезировал углеводы.
- 1864 г.- А.Я. Данилевский основал первую кафедра физиологической химии при Казанском университете.
- XX в. – современный период
  - 20-30-е годы – развитие биохимии углеводов и липидов
  - 30-е годы – развитие биохимии гормонов и витаминов.
  - 40-50 годы – биохимия нуклеиновых кислот и белков.

# Выдающиеся представители российской биохимической школы

## Российская школа биохимиков

- А.Н. Бах
  - 1921 г. организовал в Москве Научно-исследовательский биохимический институт Наркомздрава.
  - 1935 г. – А.Н. Бах - возглавил в Москве Институт биохимии АН СССР, названный впоследствии его именем.
- А.И. Опарин - автор первой теории происхождения жизни.
- Акад. В.А. Энгельгардт
  - В 1959 г. – основал Институт молекулярной биологии АН СССР
  - Автор классических работ по окислительному фосфорилированию, механохимии мышц, углеводному обмену и др.

# Выдающиеся представители русской биохимической школы

- Акад. Ю.А. Овчинников – работы в области мембранной биологии.
- Акад. А.С. Спирин – работы по молекулярным механизмам биосинтеза белка.
- Акад. В.П. Скулачев – работы по биоэнергетике.

Once upon a time, a long long time ago.....

Vitalism: idea that substances and processes associated with living organisms did not behave according to the known laws of physics and chemistry

Evidence:

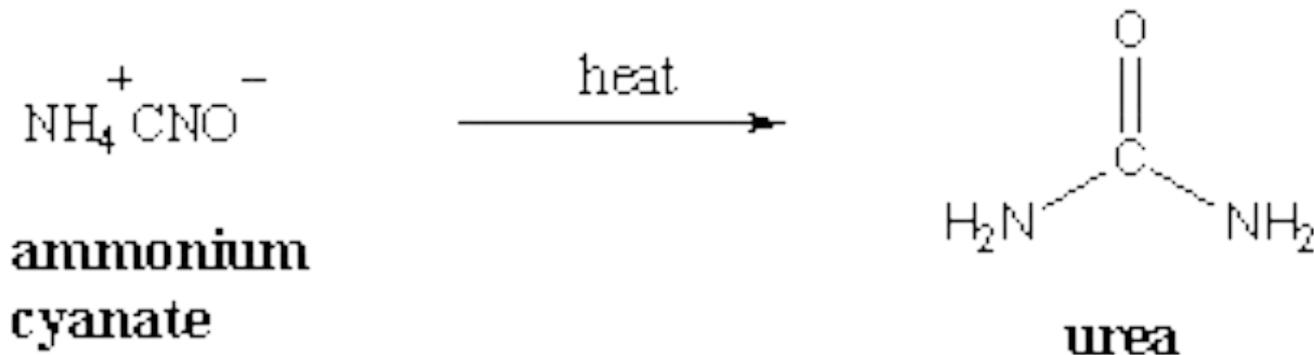
- 1) Only living things have a high degree of complexity
- 2) Only living things extract, transform and utilize energy from their environment
- 3) Only living things are capable of self assembly and self replication

Origins of Biochemistry:  
A challenge to "Vitalism."

**Famous Dead Biochemist!**

# Fallacy #1: Biochemicals can only be produced by living organisms

- **Dead Biochemist #1**
- **1828 Friedrich Wohler**



Fallacy #2: Complex bioconversion of chemical substances require living matter

## Dead Biochemists #2

- 1897 Eduard Buchner

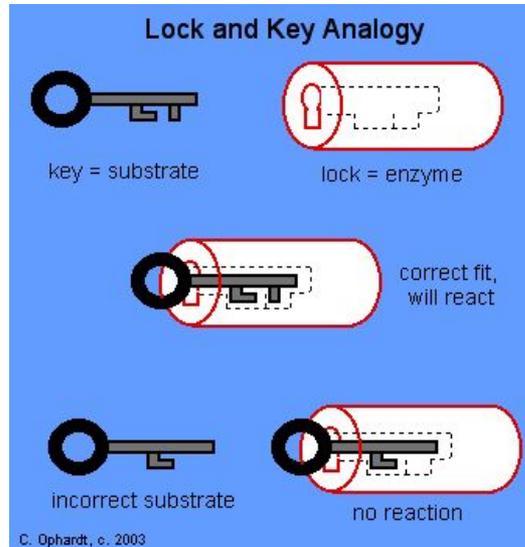


Glucose + Dead Yeast = Alcohol

# Fallacy #2: Complex bioconversion of chemical substances require living matter

## Dead Biochemists #3

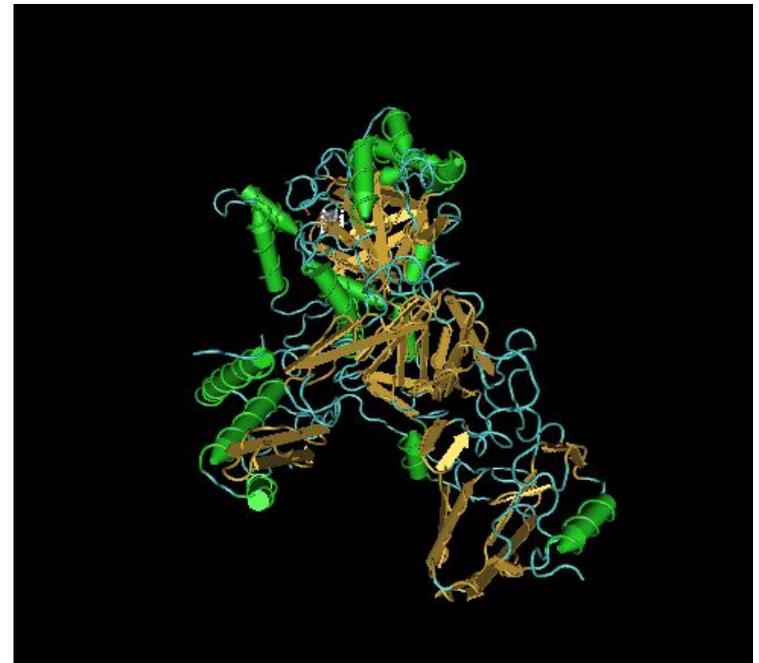
- Emil Fischer



# Fallacy #2: Complex bioconversion of chemical substances require living matter

## Dead Biochemists #4

1926 J.B. Sumner



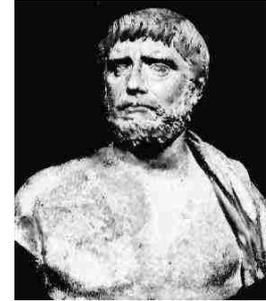
# Findings of other famous dead biochemist

- **1944 Avery, MacLeod and McCarty identified DNA as information molecules**
- **1953 Watson (still alive) and Crick proposed the structure of DNA**
- **1958 Crick proposed the central dogma of biology**

# Что такое жизнь?

Попытки определения понятия:

- «магнит одушевлен, т.к. способен притягивать железо»
  
- «одушевлены все тела природы»



Фалес VI век до н.э.



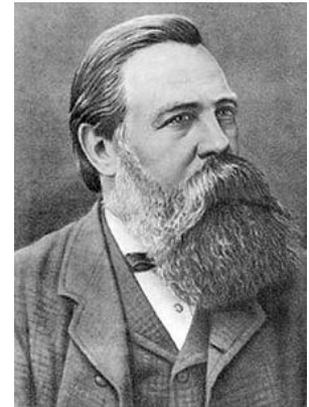
Б. Спиноза (XVII в)

«Всеобщность молекулярного обновления (обмена веществ) у растений и животных и во всех их частях, его постоянство, не допускающее остановки, делают из этого явления всеобщий признак жизни»



Клод Бернар (XIX в)

«Жизнь есть способ существования белковых тел, и этот способ существования состоит по своему существу в постоянном самообновлении химических составных этих тел»



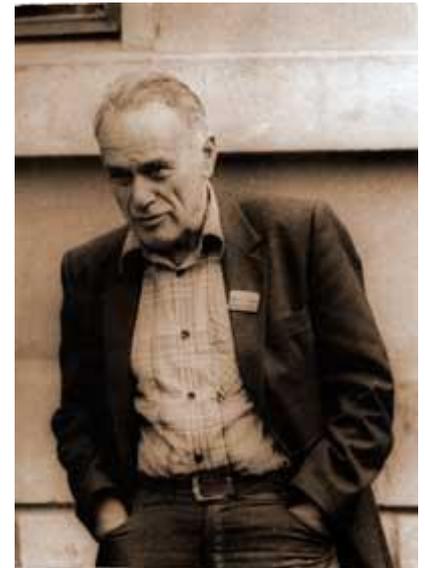
Ф.Энгельс (XIX в)

“Жизнь - ... это работа специальным образом организованной системы, направленная на понижение собственной энтропии за счет повышения энтропии окружающей среды”



Эрвин Шредингер (1887-1961)

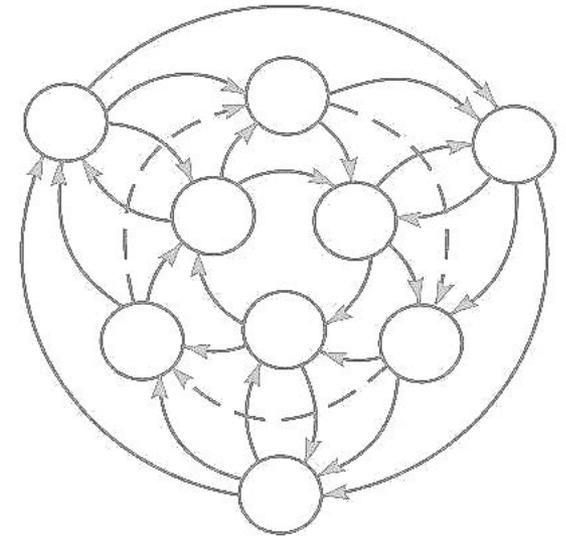
«Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров – белков и нуклеиновых кислот»



М.В. Волькенштейн (1912-1992)

# Живые организмы как открытые системы

- Система – множество элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и связанных прямыми и обратными связями, образуя целостность.



**Открытые системы:** обмениваются энергией, веществом и информацией с окружающей средой.

**Открытые системы:** явления самоорганизации, усложнения или спонтанного возникновения порядка.

# Общая теория систем

## Свойства систем

**Синергичность** — однонаправленность действий компонентов усиливает эффективность функционирования системы.

**Эмерджентность** — функции компонентов системы не всегда совпадают с функциями системы.

**Целостность** — первичность целого по отношению к частям.

**Иерархичность** — каждый компонент системы может рассматриваться как система (подсистема) более широкой глобальной системы

**Адаптивность** — стремление к состоянию устойчивого равновесия, которое предполагает адаптацию параметров системы к изменяющимся параметрам внешней среды



Людвиг фон Берталафани  
(1901-1972)

# Неравновесные системы



Илья Пригожин (1917-2003)

«Неравновесность может стать источником упорядоченности»

Последовательность состояний системы – ТРАЕКТОРИЯ СИСТЕМЫ

Наиболее вероятные состояния системы - АТТРАКТОРЫ

Предпочтительность одних состояний другим – явление упорядоченности, т.е. убывание энтропии.

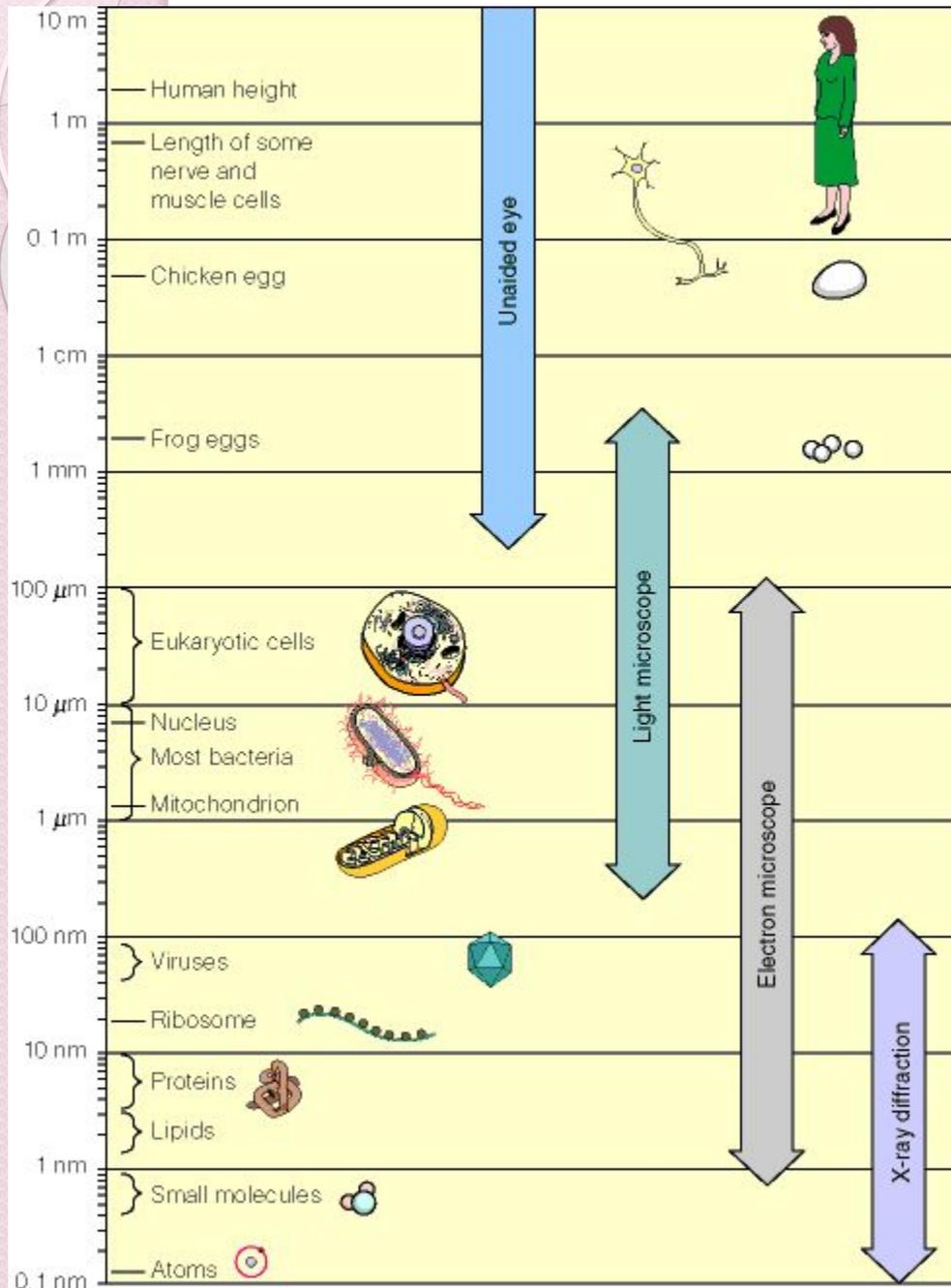
**Самоорганизация** в неравновесных системах

Существует точка зрения, что жизнь можно рассматривать как результат специфического отбора на пути длительной эволюции, который прошли самоорганизующиеся системы.

# Свойства живых систем

- 1) Примерно одинаковый химический состав
- 2) Обмен веществом и энергией
- 3) Самовоспроизведение
- 4) Способность к росту и развитию
- 5) Раздражимость
- 6) Дискретность

# Уровни организации живой материи



1 Ангстрем = 0.1 нм

# Уровни организации живой материи

- атомы
- органические молекулы (мономеры)
- макромолекулы (полимеры)
- супрамолекулярные комплексы
- органеллы
- клетки
- ткани и органы
- системы органов
- организмы

# Уровни организации живой материи



организм

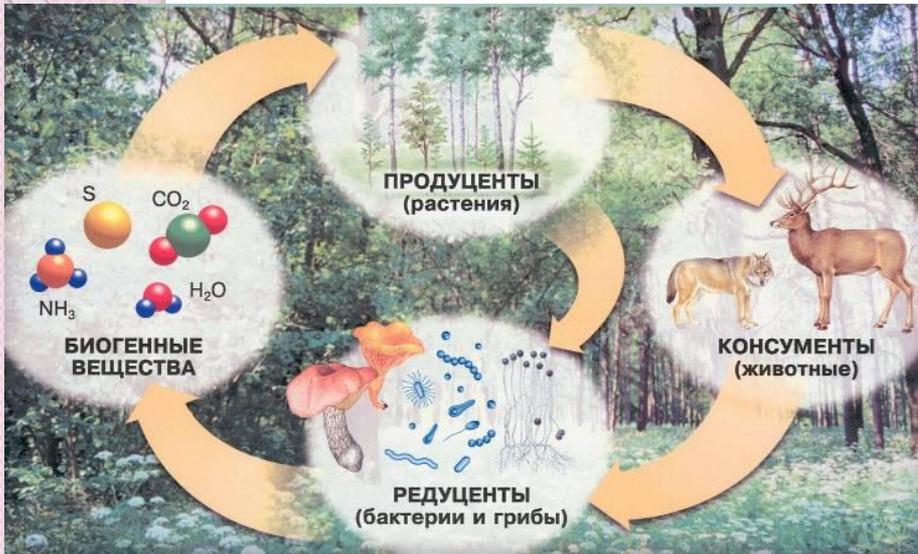


популяция

вид



# Уровни организации живой материи



Экосистема, биогенценоз

Биосфера



# Элементы жизни

**ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА**



МЕНДЕЛЕЕВ  
Дмитрий Иванович  
1834 - 1907

Периодический закон открыт в 1869 году

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																
	A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	A VIII B									
1	<b>H</b> 1 1.00794 Водород								(H)	<b>He</b> 2 4.002602 Гелий							
2	<b>Li</b> 3 6.941 Литий	<b>Be</b> 4 9.0122 Бериллий	<b>B</b> 5 10.811 Бор	<b>C</b> 6 12.011 Углерод	<b>N</b> 7 14.007 Азот	<b>O</b> 8 15.999 Кислород	<b>F</b> 9 18.998 Фтор	<b>Ne</b> 10 20.179 Неон									
3	<b>Na</b> 11 22.99 Натрий	<b>Mg</b> 12 24.305 Магний	<b>Al</b> 13 26.9815 Алюминий	<b>Si</b> 14 28.086 Кремний	<b>P</b> 15 30.974 Фосфор	<b>S</b> 16 32.066 Сера	<b>Cl</b> 17 35.453 Хлор	<b>Ar</b> 18 39.948 Аргон									
4	<b>K</b> 19 39.098 Калий	<b>Ca</b> 20 40.08 Кальций	<b>Sc</b> 21 44.956 Скандий	<b>Ti</b> 22 47.90 Титан	<b>V</b> 23 50.941 Ванадий	<b>Cr</b> 24 51.996 Хром	<b>Mn</b> 25 54.938 Марганец	<b>Fe</b> 26 55.847 Железо	<b>Co</b> 27 58.933 Кобальт	<b>Ni</b> 28 58.70 Никель							
5	<b>Rb</b> 37 85.468 Рубидий	<b>Sr</b> 38 87.62 Стронций	<b>Y</b> 39 88.906 Иттрий	<b>Zr</b> 40 91.22 Церий	<b>Nb</b> 41 92.906 Ниобий	<b>Mo</b> 42 95.94 Молибден	<b>Tc</b> 43 97.91 Технеций	<b>Ru</b> 44 101.07 Рутений	<b>Rh</b> 45 102.906 Родий	<b>Pd</b> 46 106.4 Палладий							
6	<b>Cs</b> 55 132.905 Цезий	<b>Ba</b> 56 137.33 Барий	<b>La*</b> 57 138.9055 Лантан	<b>Hf</b> 72 178.49 Гафний	<b>Ta</b> 73 180.9479 Тантал	<b>W</b> 74 183.85 Вольфрам	<b>Re</b> 75 186.207 Рений	<b>Os</b> 76 190.2 Осмий	<b>Ir</b> 77 192.22 Иридий	<b>Pt</b> 78 195.08 Платина							
7	<b>Fr</b> 87 [223] Франций	<b>Ra</b> 88 [226] Радий	<b>Ac**</b> 89 [227] Актиний	<b>Rf</b> 104 [261] Резорфордий	<b>Db</b> 105 [262] Дубний	<b>Sg</b> 106 [263] Сибгорий	<b>Bh</b> 107 [264] Борий	<b>Hs</b> 108 [265] Хассий	<b>Mt</b> 109 [266] Мейтнерий	<b>Ds</b> 110 [272] Дармштадтий							
	R <sub>2</sub> O		RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>									
ЛАНТАНОИДЫ*	58 140.12 Ce Церий	59 140.908 Pr Прометий	60 144.24 Nd Неодим	61 144.913 Pm Прометий	62 150.36 Sm Самарий	63 151.96 Eu Европий	64 157.25 Gd Гадолиний	65 158.925 Tb Тербий	66 162.50 Dy Диспрозий	67 164.930 Ho Гольмий	68 167.26 Er Ербий	69 168.934 Tm Тимоний	70 173.04 Yb Иттербий	71 174.967 Lu Лютеций			
АКТИНОИДЫ**	90 238.028 Th Торий	91 231.036 Pa Протактиний	92 238.03 U Уран	93 237.043 Np Нептуний	94 238.0289 Pu Плутоний	95 243.061 Am Америций	96 247.07 Cm Курчиум	97 247.07 Bk Берклий	98 251.108 Cf Калифорний	99 252.083 Es Эйнштейний	100 257.10 Fm Фермий	101 258.10 Md Менделеев	102 259.10 No Нобелий	103 261.10 Lr Лоренций			

  Неметаллы   
   Металлы, образующие основные оксиды и основания  
  Металлы, образующие амфотерные оксиды и гидроксиды

- газ при комнатной температуре   
 ♦ - жидкость при комнатной температуре   
 ♦ - радиоактивный элемент

Всего обнаружено в живых организмах 80 элементов, но только для 30 известны функции

# Макроэлементы

- Содержание которых в живых организмах составляет больше 0,001 % на сухую массу. Составляют 99% сухой массы клетки
- Из них на биогенные макроэлементы приходится 98%: кислород (65-75%), углерод (15-18%), азот(1,5-3%) и водород (8-10%)

O

C

H

N

Ca

P

K

S

Cl

Mg

Na

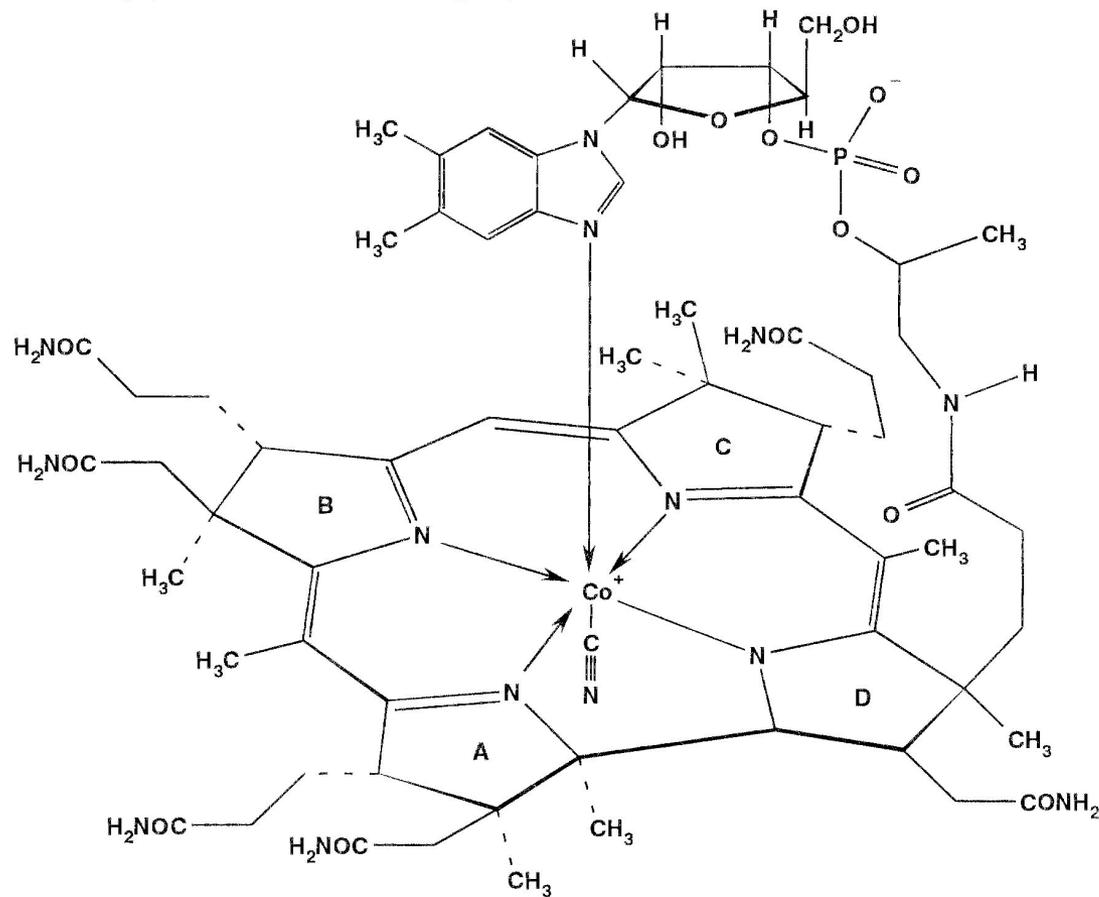
Fe

# Микроэлементы

- Содержание в организме 0.001-0.000001%
- Входят в состав гормонов, ферментов и других компонентов клетки

Zn Cu I F B Co Mo V Br  
Cr Mn Se Si Ge Ni

# Co



**Ковалентная связь углерод-кобальт - единственный в природе пример ковалентной связи металл-углерод.**

# Ультрамикроэлементы

- Концентрация меньше 0.000001 %
- Физиологическая роль не установлена

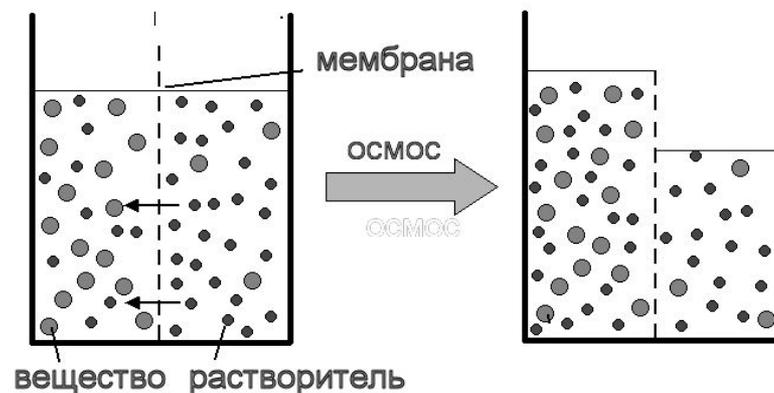
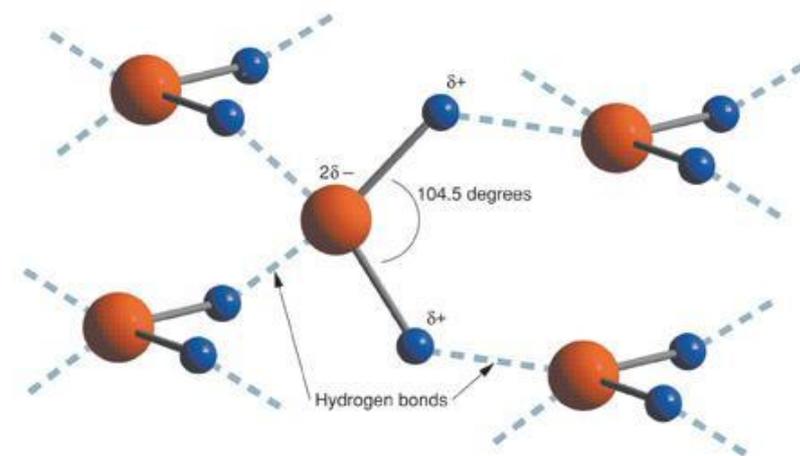
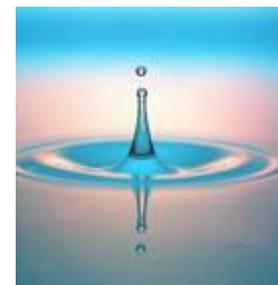
Au Hg U Be Cs Ra и др.

# Состав химических соединений живой клетки

- Неограниченные вещества
- Вода от 50 до 90%
- Соли и др. неорг. вещ-ва 1-1.5%
  
- Низкомолекулярные органические вещества
- липиды 1.5%
- прочие 0.1%
  
- Высокомолекулярные органические вещества
- Белки 10-20%
- Углеводы 0.2-20%
- Нуклеиновые кислоты 1-2%

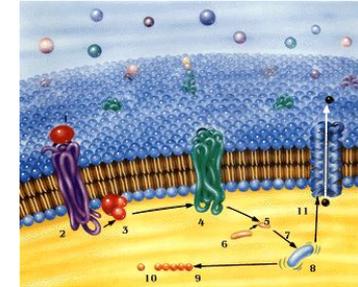
# Роль воды

- Универсальный растворитель
- Водородные связи
- Высокая теплоемкость
- Участник многих реакций
- Транспорт веществ в организме
- Осмос



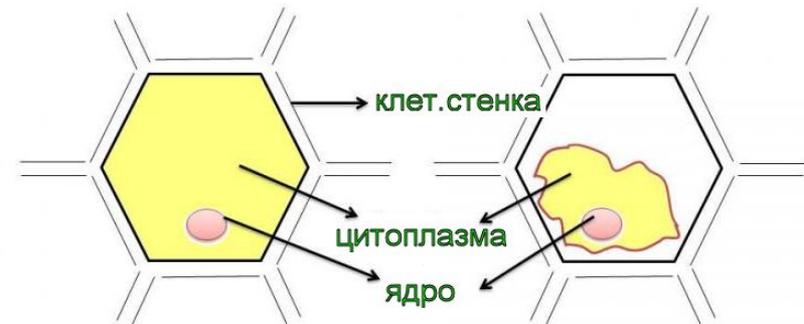
# Значение осмоса в биологических процессах

- Мембрана клетки полупроницаема! => Белки остаются внутри клетки.



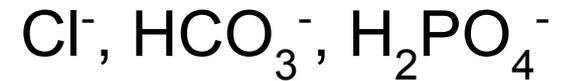
Осмоз участвует в переносе питательных веществ в стволах высоких деревьев.

Растения - осмос увеличивает объём вакуоли, и она распирает стенки клетки (тургорное давление)



# Ионы в клетке

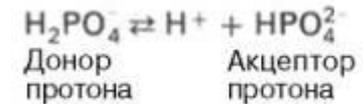
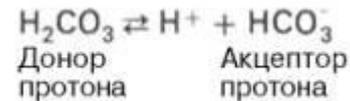
● Важнейшие анионы:



Важнейшие катионы:



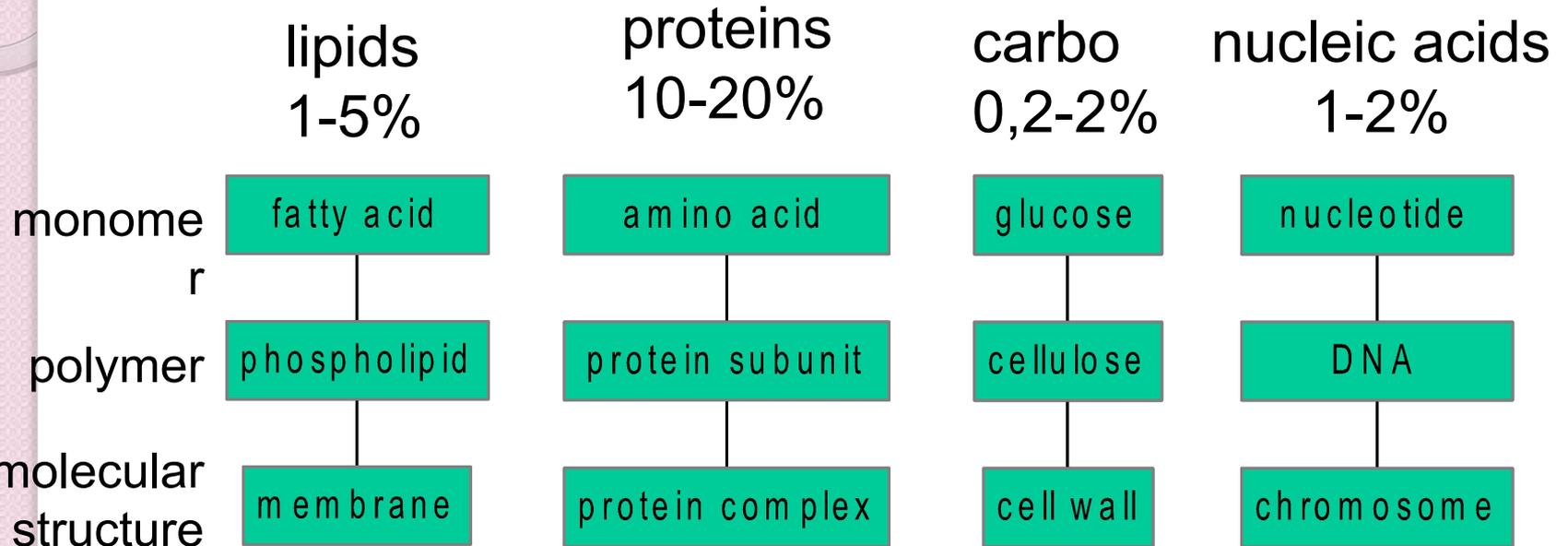
Буферные свойства



Нерастворимые соли в костной ткани и раковинах



# Органические вещества клетки



# Липиды

monomer

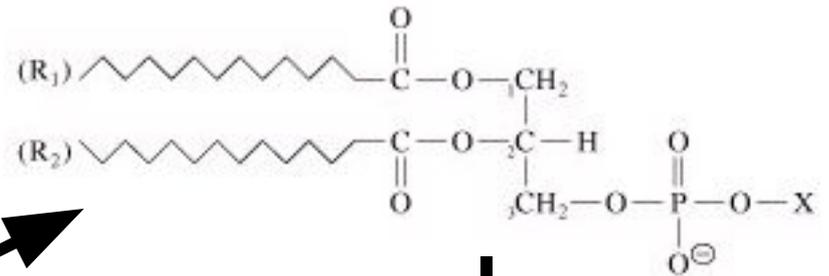
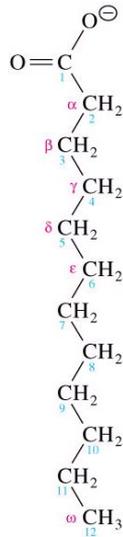
fatty acid

polymer

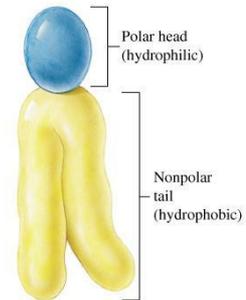
phospholipid

supramolecular structure

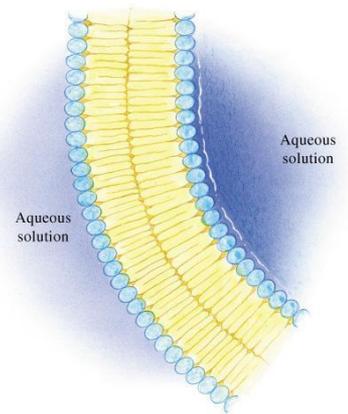
membrane



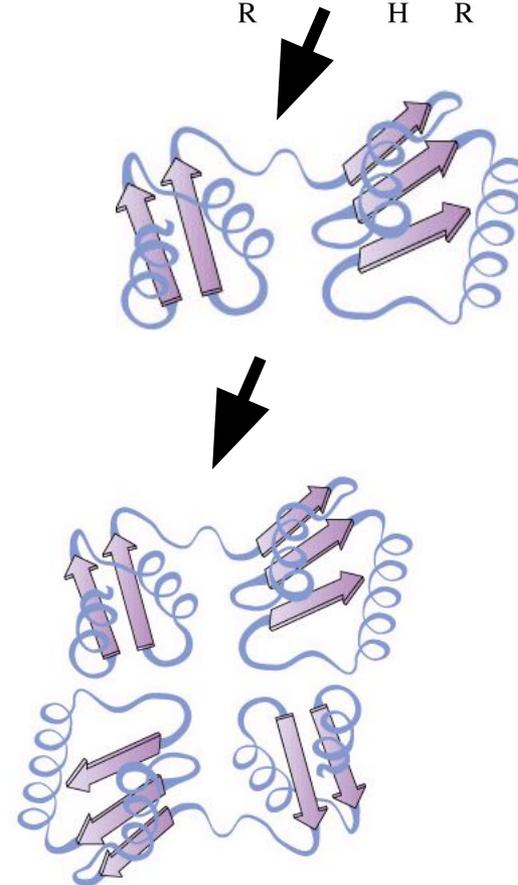
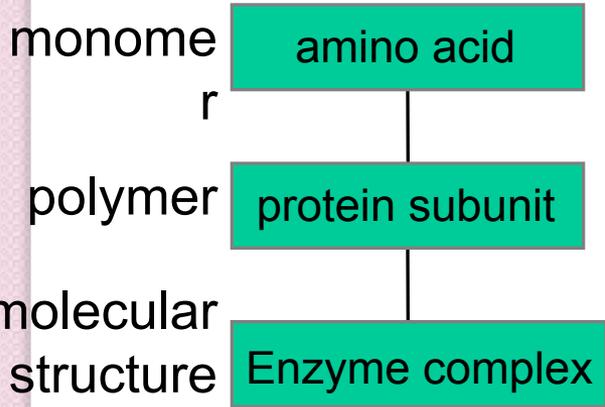
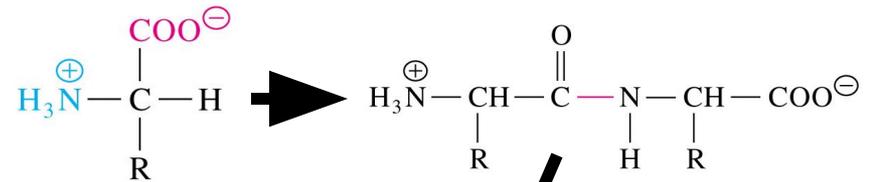
(a)



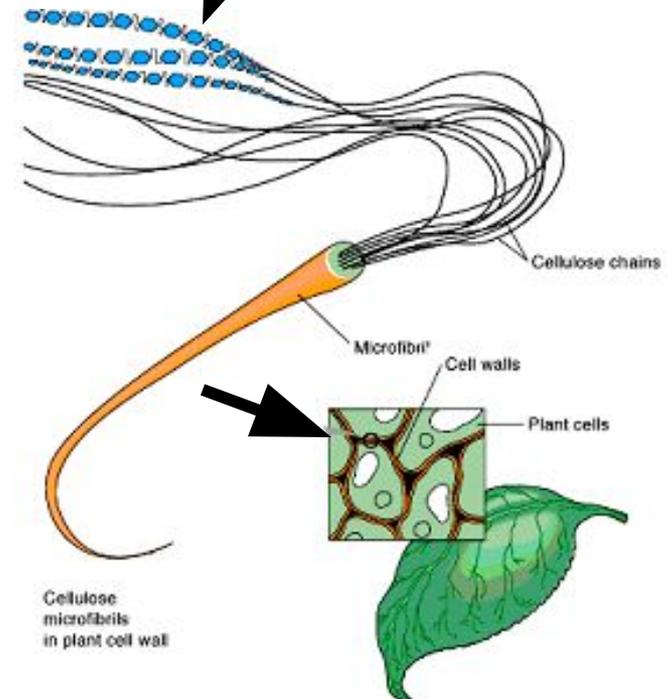
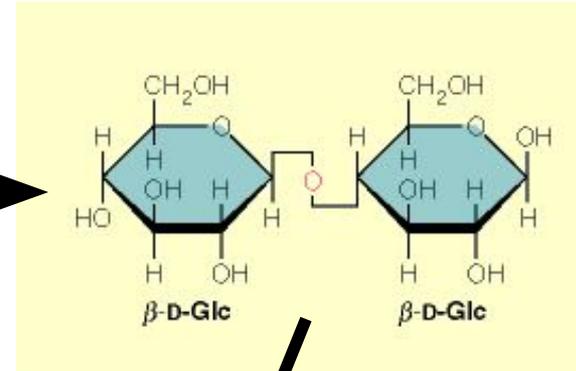
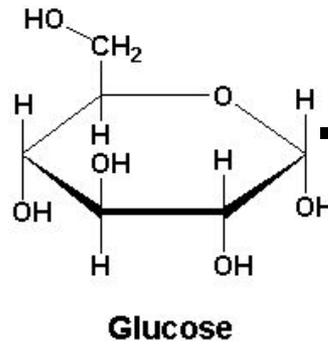
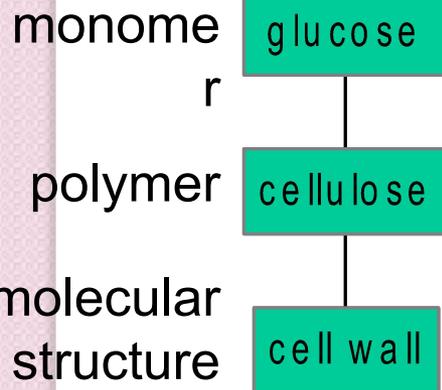
(b)



# Белки (протеины)



# Углеводы



# Нуклеиновые кислоты

monomer

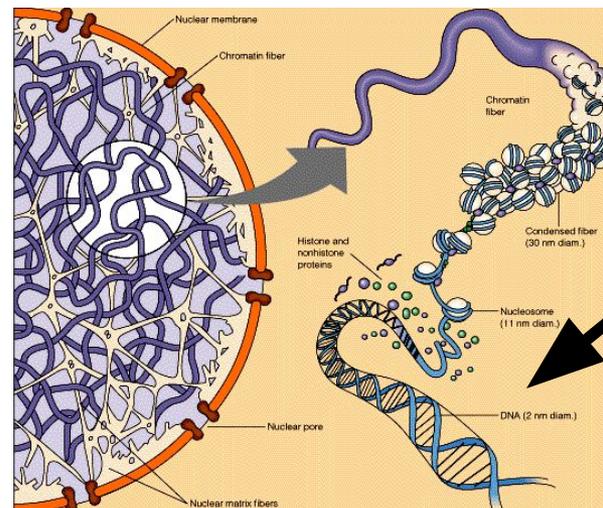
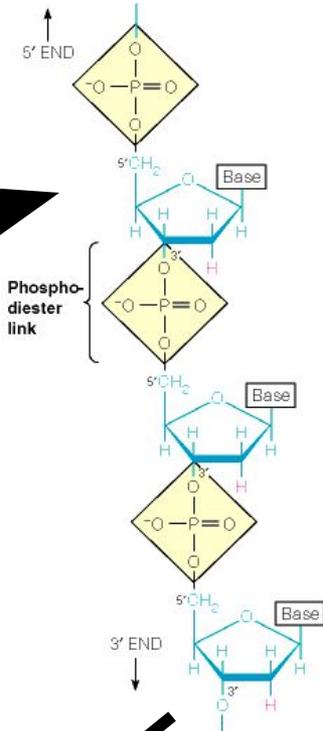
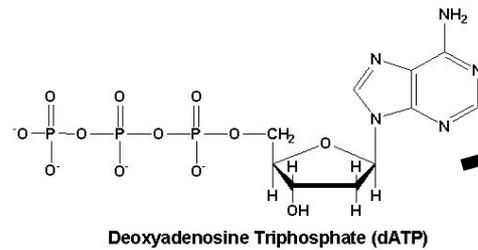
nucleotide

polymer

DNA

supramolecular structure

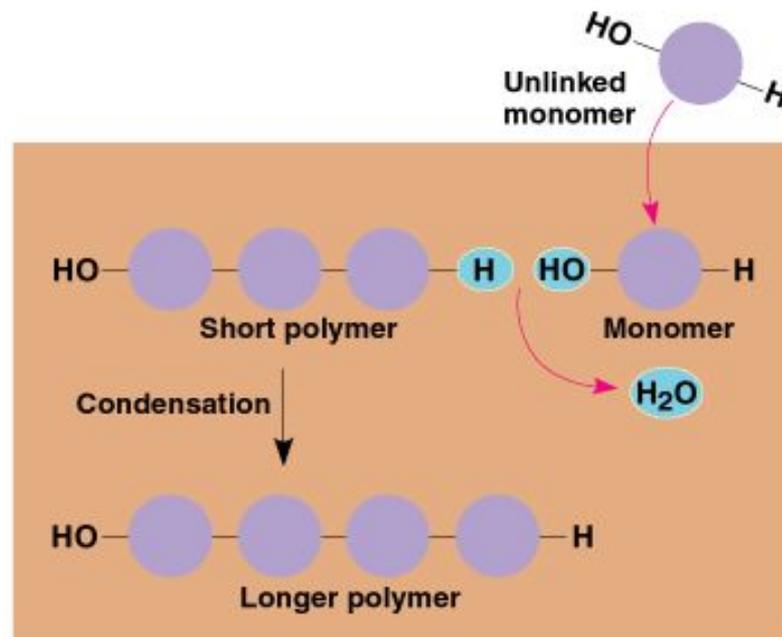
chromatin



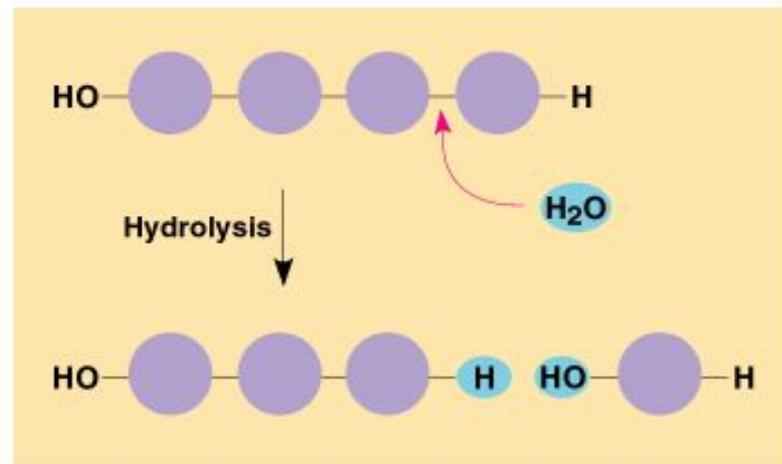
## Общие моменты:

Биополимеры образуются в реакции поликонденсации

Биополимеры деградируют в реакции гидролиза.

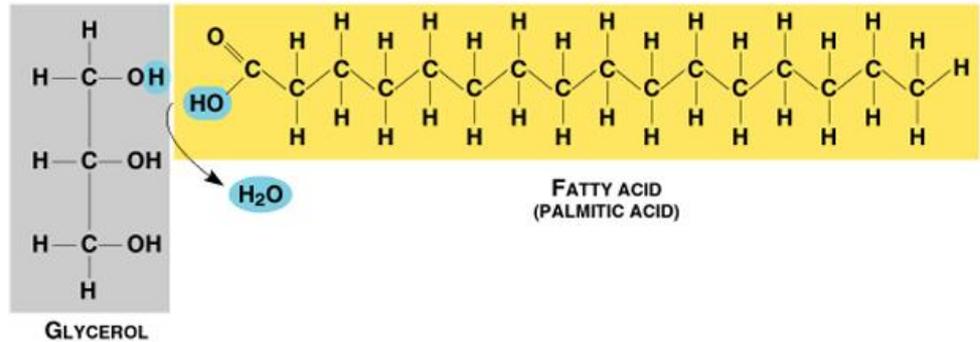
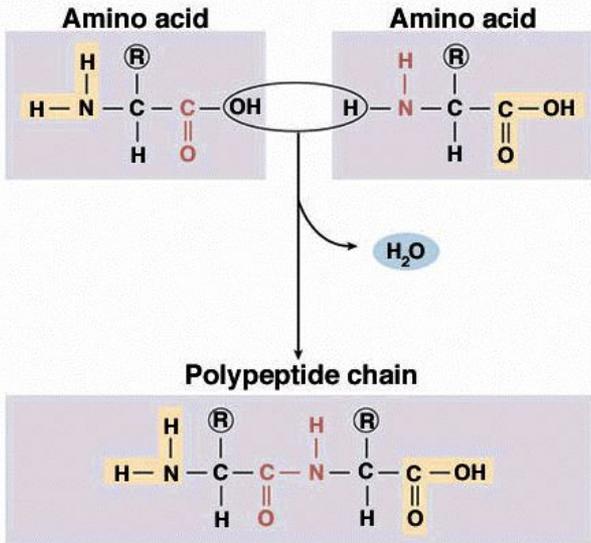


(a) Condensation (dehydration) synthesis of a polymer

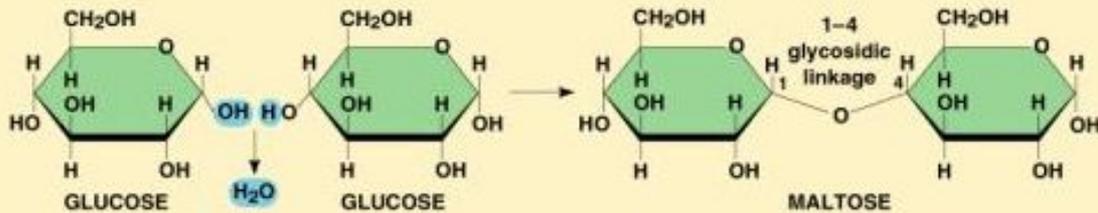
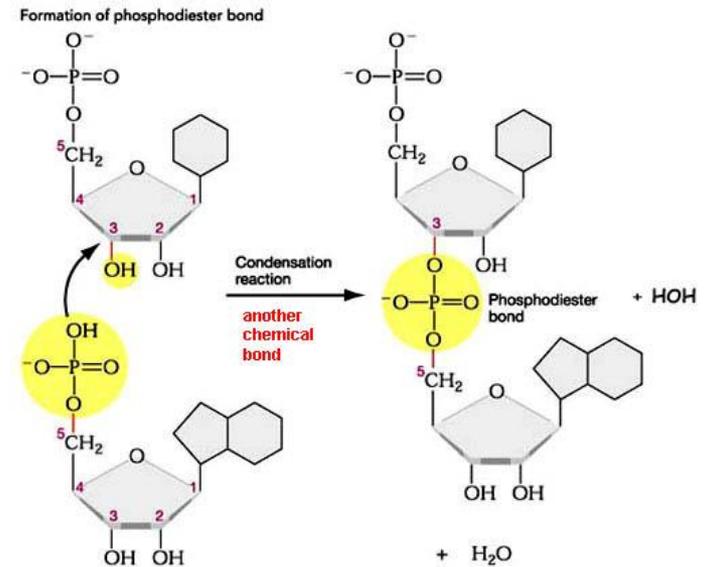


(b) Hydrolysis of a polymer

# Peptide Bond



(a) Dehydration synthesis  
(condensation reaction)

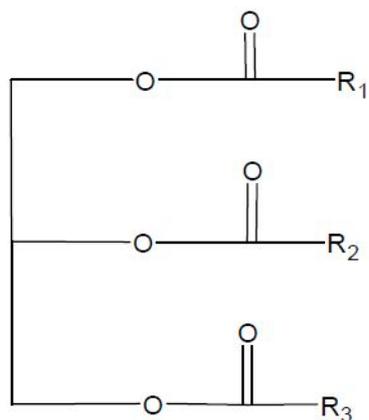


(a) Condensation synthesis of maltose

# Липиды

- большая группа веществ биологического происхождения, хорошо растворимых в органических растворителях: метанол, ацетон, хлороформ, бензол и т.д.

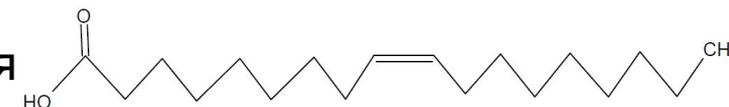
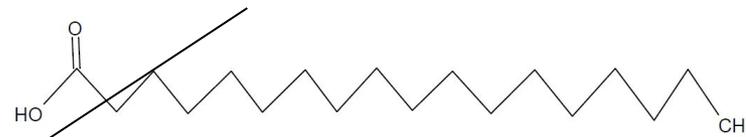
Нейтральные жиры: эфиры глицерина и карбоновых кислот



стеариновая

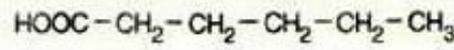
пальмитиновая

олеиновая



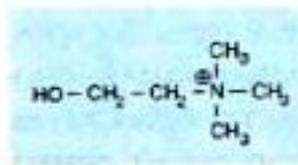
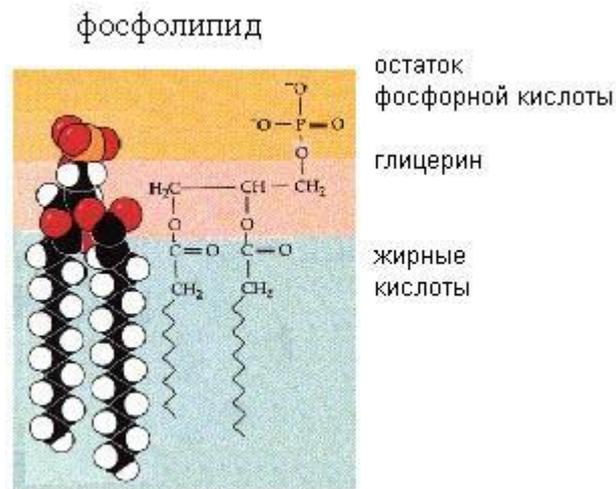
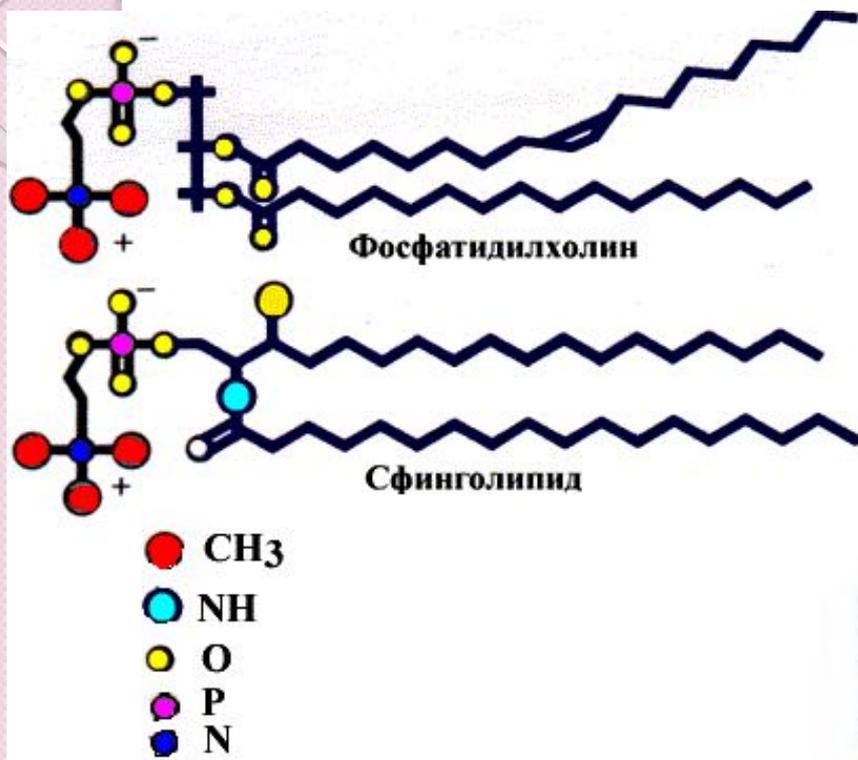
# Карбоновые кислоты

Тривиальное название	Число С-атомов	Число двойных связей	Положение двойных связей	
Муравьиная	1: 0	0		в липидах не встречается
Уксусная	2: 0	0		
Пропионовая	3: 0	0		
Масляная	4: 0	0		
Валериановая	5: 0	0		
Капроновая	6: 0	0		
Каприловая	8: 0	0		
Каприновая	10: 0	0		
Лауриновая	12: 0	0		
Миристиновая	14: 0	0		
Пальмитиновая	16: 0	0		
Стеариновая	18: 0	0		
Олеиновая	18: 1; 9	1		
Линолевая	18: 2; 9,12	2		
Линоленовая	18: 3; 9,12,15	3		
Арахидиновая	20: 4; 5,8,11,14	4		
Бегеновая	22: 0	0		
Эруковая	22: 1; 13	1		
Лигноцериновая	24: 0	0		
Нервоновая	24: 1; 15	1		

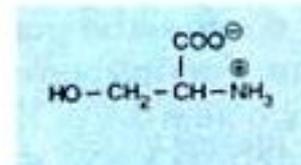


Незаменимые жирные кислоты не синтезируются в организме и должны поступать с пищей.

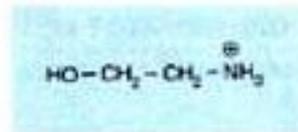
# Фосфолипиды



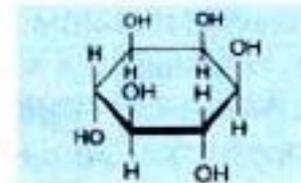
холин



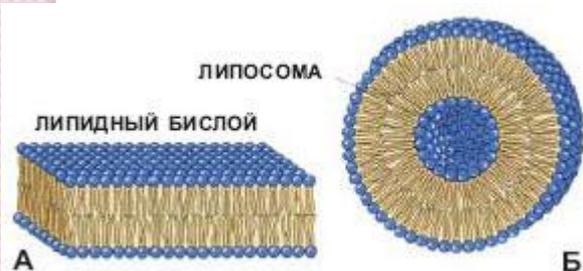
серин



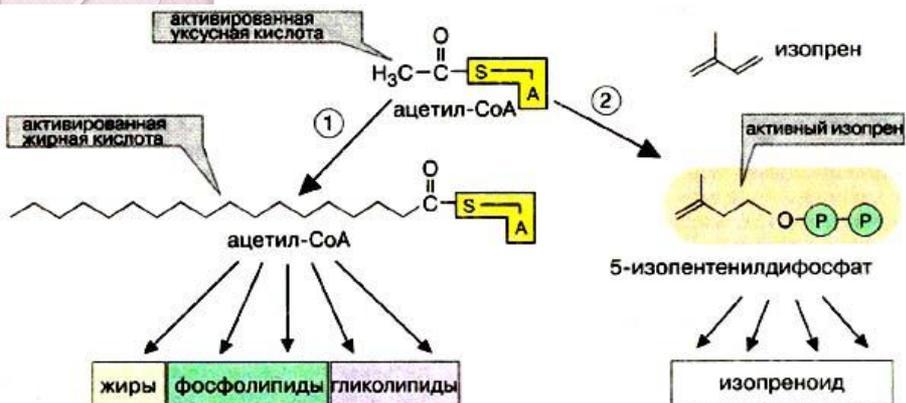
этаноламин



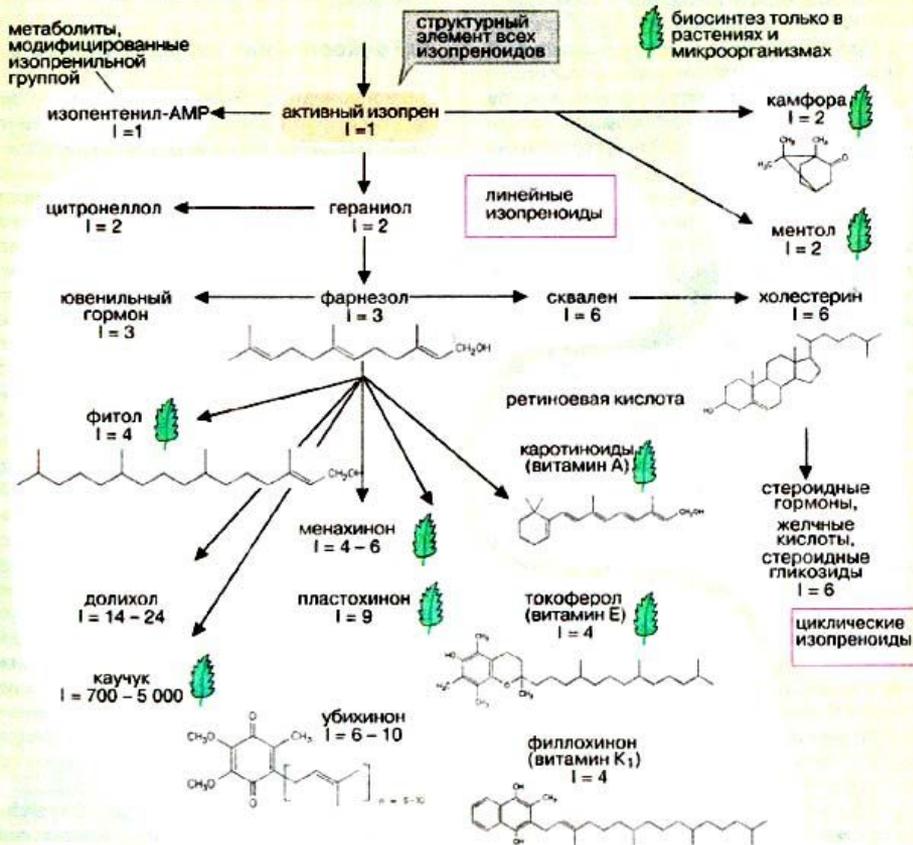
миоинозит



Из Кольман, Рем  
 «Наглядная биохимия»



**А. Ацетил-СоА, как предшественник липидов**



**Б. Изопреноиды**

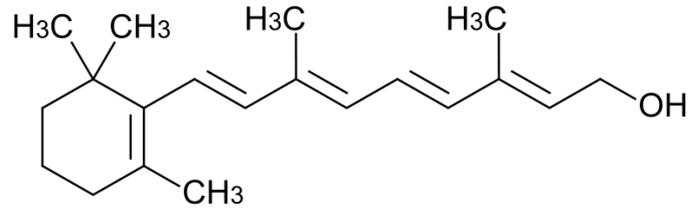
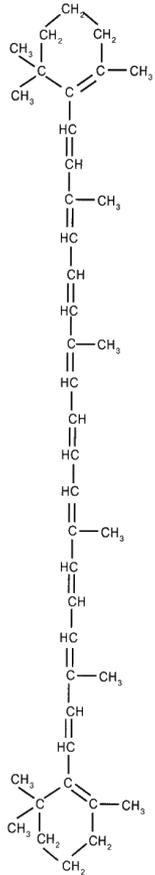
# Изопреноиды

Все липиды произошли от одного предшественника — **ацетилкофермента А** [ацетил-КоА (ацетилСоА)], представляющего собой активированную форму уксусной кислоты

Из Кольман, Рем  
«Наглядная биохимия»



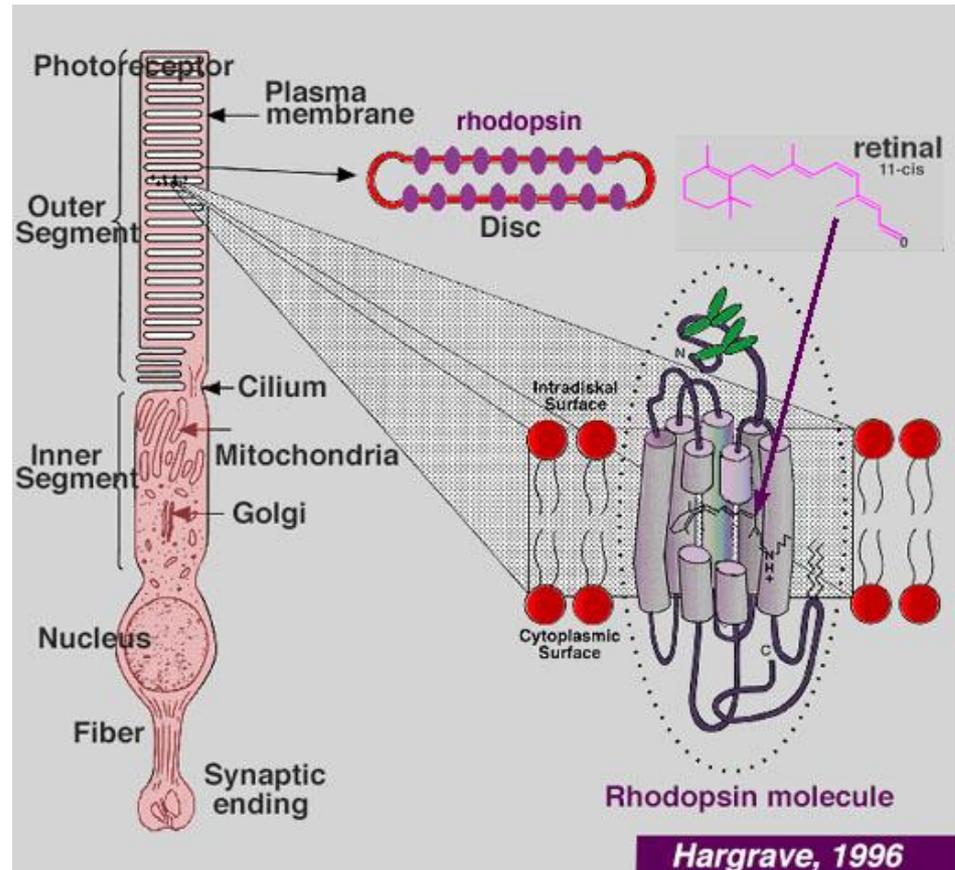
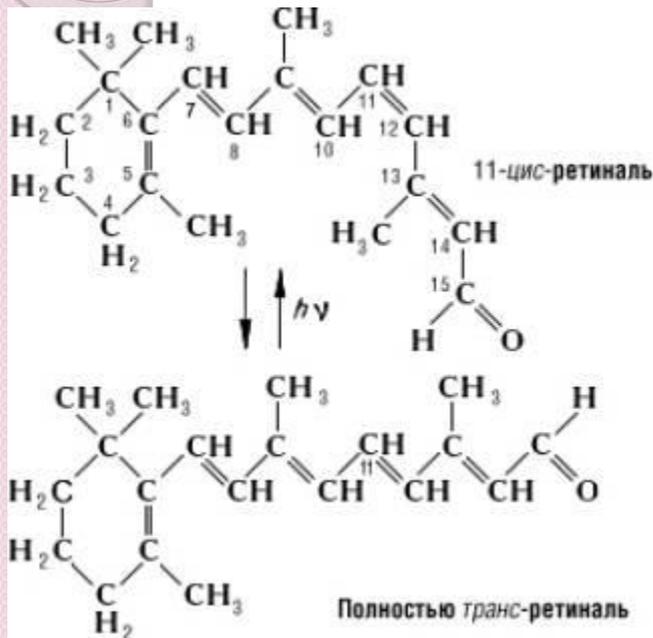
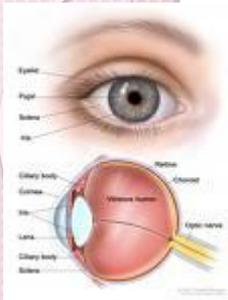
# Витамин А



Витамин А - **ретинол**

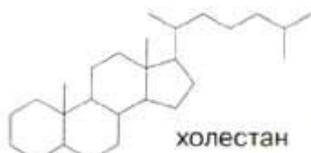
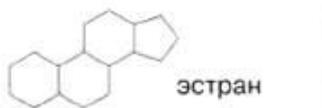
- Провитамин А  
– **β каротин**

# Родопсин (белок с хромофорной группой)

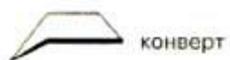
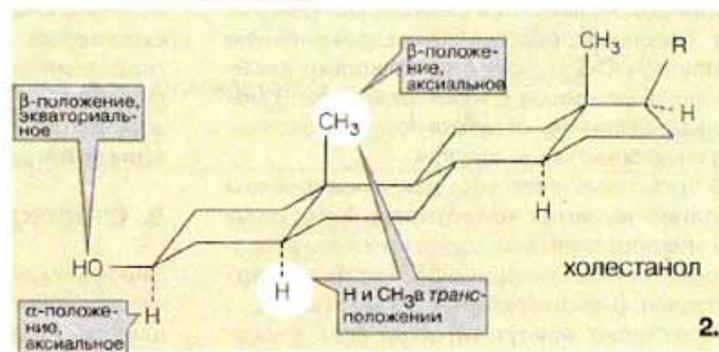
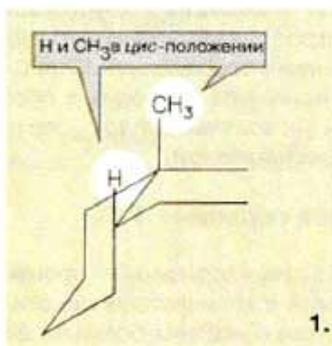
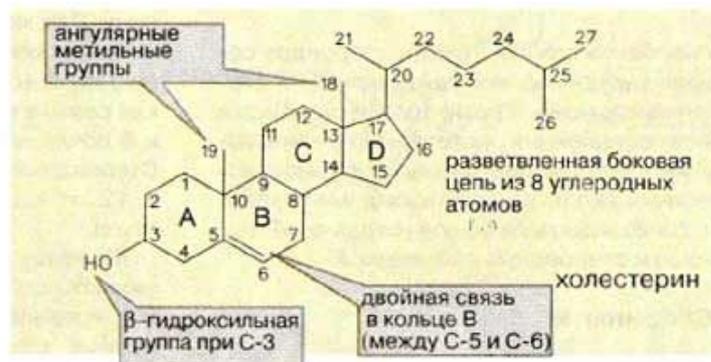


- 1) Поглощение кванта света
- 2) хромофорная группа (11-цис-ретиаль) переходит в транс-форму
- 3) разложение родопсина
- 4) возбуждение зрительного нерва

# СТЕРОИДЫ



## А. Базовая структура стероидов



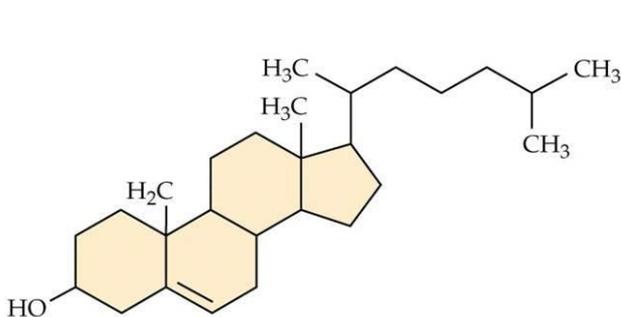
Конформации колец

## Б. Пространственная структура стероидов

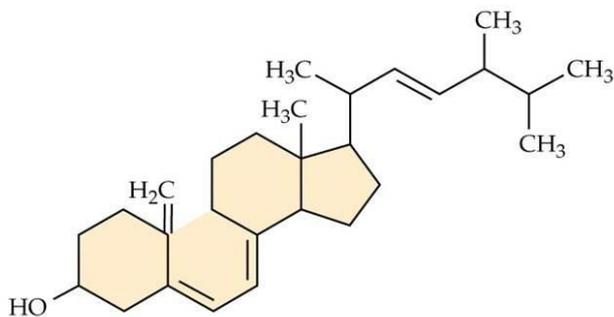


Из Кольман, Рем  
«Наглядная биохимия»

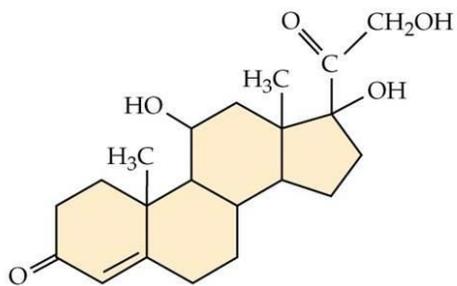
# Стероиды



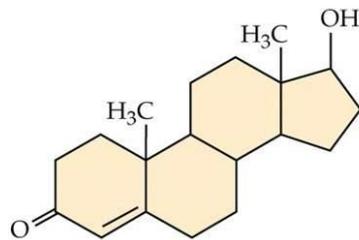
холестерин



витамин Д



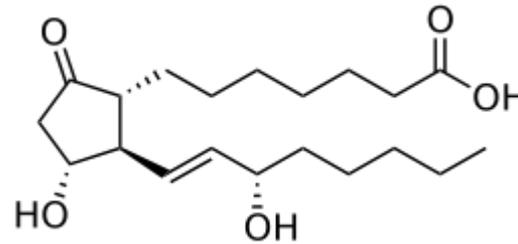
кортизол



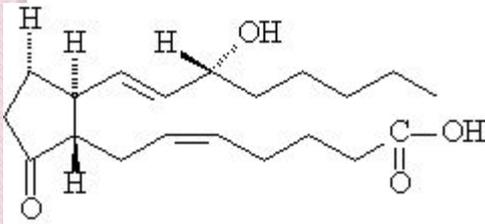
тестостерон

Структура мембран, желчные кислоты, гормоны, витамины

# Простагландины



E1



E2

Липидные медиаторы – обнаружены во всех органах и тканях животных.  
Аспирин – ингибитор синтеза простагландинов.

# Функции липидов

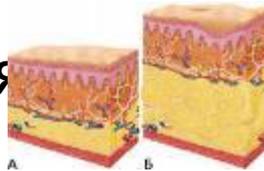
- 1) Структурная



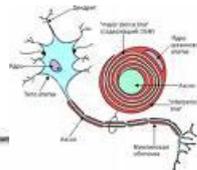
- 2) Энергетическая



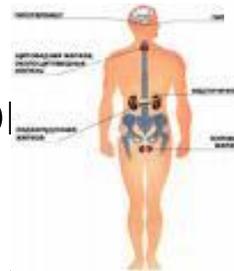
- 3) Запасная



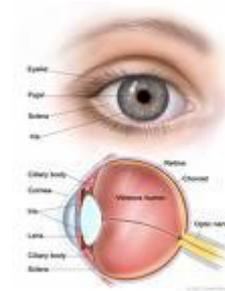
- 4) Изоляционная



- 5) Регулятор



- 6) Рецепторная



# БИОПОЛИМЕРЫ

- Гомополимеры – один тип мономеров
- Гетерополимеры – более одного типа мономеров
  
- Регулярные –A-B-A-B-A-B-
- Нерегулярные –A-C-B-A-Г-A-

# Литература