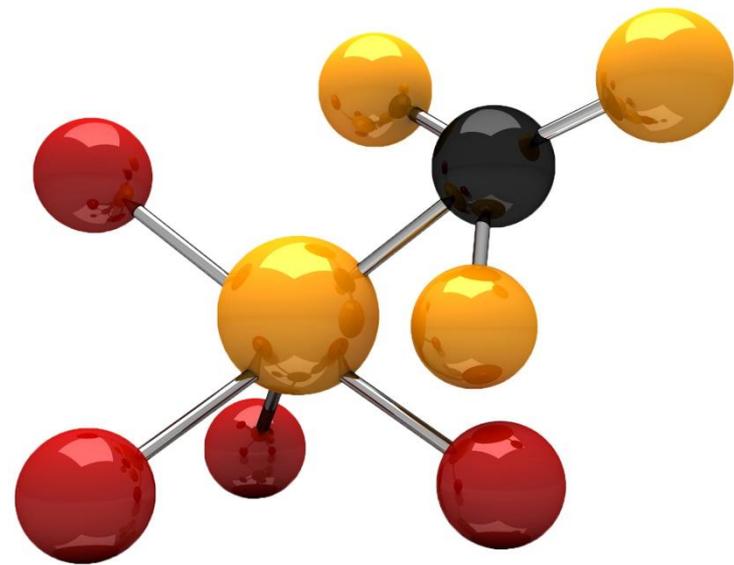


Лекция №5



Гетерофункциональные
соединения,
участвующие в процессах
жизнедеятельности

Цель лекции:

**Ознакомиться с основными
классами
гетерофункциональных
соединений и их
биологической ролью.**

План лекции:

1. Понятие гетерофункциональных соединений.
Аминоспирты, оксо- и гидроксикислоты.
2. Аминокислоты, пептиды, белки.
3. Углеводы: моносахариды, дисахариды, полисахариды.
4. Липиды: Жирные кислоты, триацилглицериды, фосфолипиды.
5. Нуклеозиды, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты.

Классификация

Органические вещества



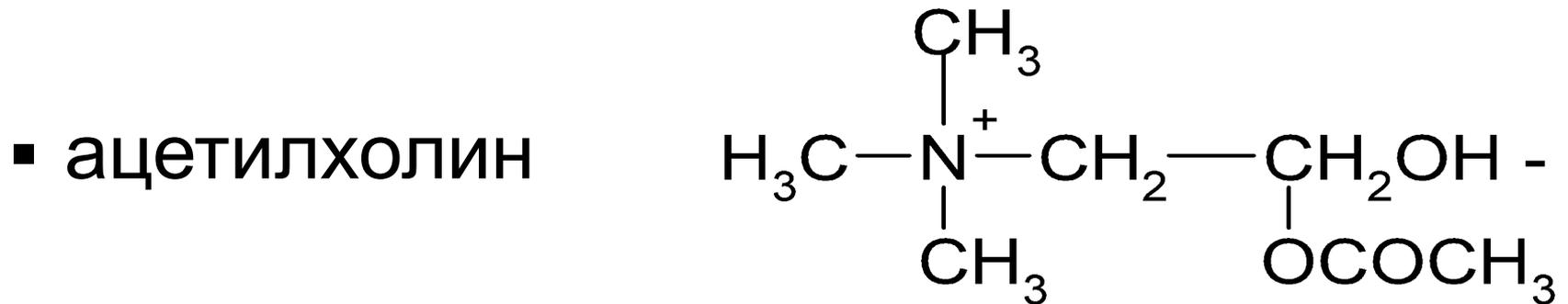
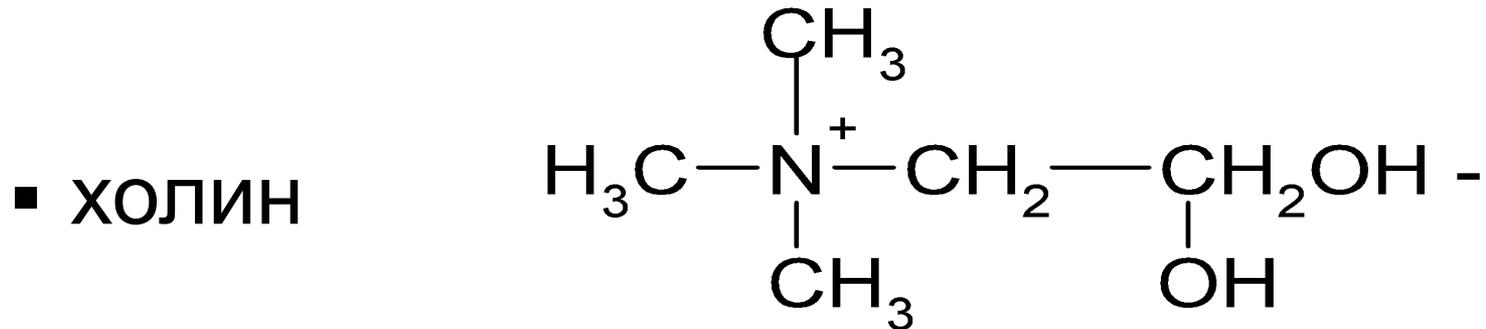
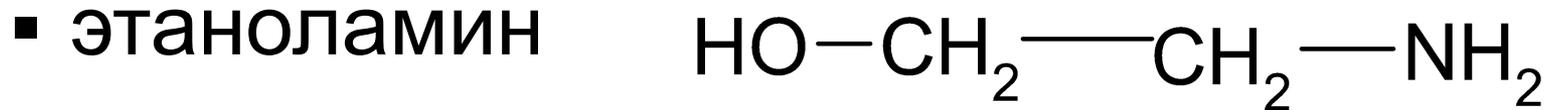
Гетерофункциональные соединения

- соединения, в молекулах которых имеются различные функциональные группы;
- участвуют в обмене веществ в организме (являются метаболитами);
- являются родоначальниками важнейших групп лекарственных препаратов.

Наиболее распространенные сочетания функциональных групп в биологически важных алифатических соединениях

Классы соединений	Функциональные группы		Представители	
			Формула	Тривиальное название
Ненасыщенные кислоты	$>C=C<$	- COOH	$CH_2=CHCOOH$	Акриловая кислота
Аминоспирты	- OH	- NH ₂	$HOCH_2CH_2NH_2$	Коламин
Гидроксикислоты	- OH	- COOH	$HOCH_2COOH$	Гликолевая кислота
Аминокислоты	- NH ₂	- COOH	$CH_3CH(NH_2)COOH$	Аланин
Гидроксикарбонильные соединения	- OH	- C(O)H	$HOCH_2CH(OH)C(O)H$	Глицериновый альдегид
Оксокислоты	$>C=O$	- COOH	$CH_3C(O)COOH$	Пировиноградная кислота

Биологически важные аминоспирты

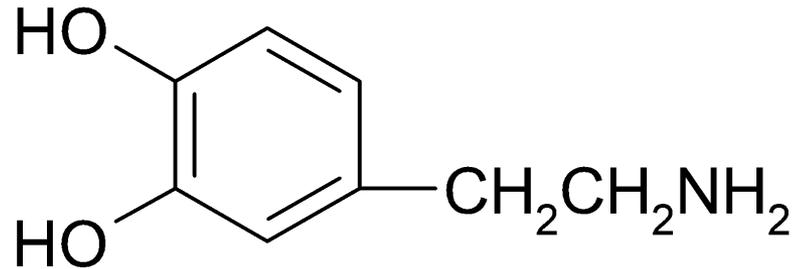


Катехоламины

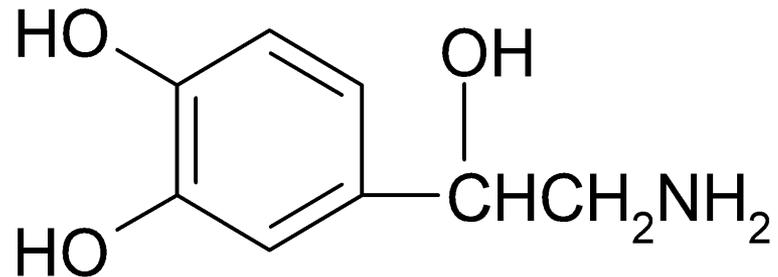
- аминоспирты, содержащие в качестве структурного фрагмента остаток пирокатехина (катехол или 1,2-дигидроксибензол);
- гормоны надпочечников, являющиеся медиаторами нервной системы;
- представители катехоламинов: дофамин, норадреналин (предшественники адреналина) и адреналин.

Катехоламины

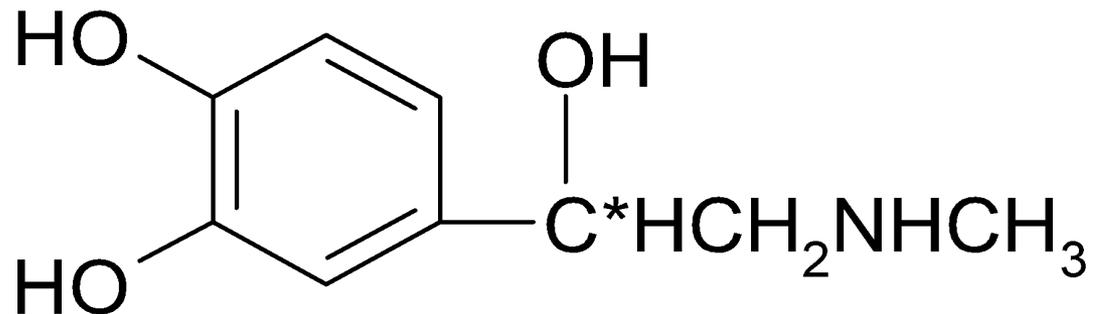
- дофамин



- норадреналин



- адреналин



Адреналин:

- гормон мозгового вещества надпочечников;
- участвует в регуляции сердечной деятельности, обмене углеводов
- «гормон страха», выделяющийся в кровь при физиологических стрессах;
- выполняет роль нейромедиатора;
- активность его связана с конфигурацией хирального центра, определяющего взаимодействие с рецептором;
- используется при шоке, остановке сердца, падении кровяного давления.

Гидроксикарбоновые кислоты

это соединения, молекулы которых содержат функциональные группы:

- гидроксильные (-ОН);
- карбоксильные группы(-СООН).

Некоторые биогенные гидроксикарбоновые кислоты и их кислотные свойства

Формула	Тривиальное название	Название соли	Кислотный показатель, pK_a
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Молочная	Лактаты	3,06
$\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{CH} - \text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Яблочная	Малаты	3,5 5,0
$\text{HOOC} - \begin{array}{c} \text{CH} - \text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array} - \begin{array}{c} \text{CH} - \text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Винная	Тартраты	2,93 4,23
$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Лимонная	Цитраты	3,1 4,7 6,4

Оксокислоты

соединения, одновременно
содержащие в молекуле
карбоксильную и альдегидную
или кетонную группы.

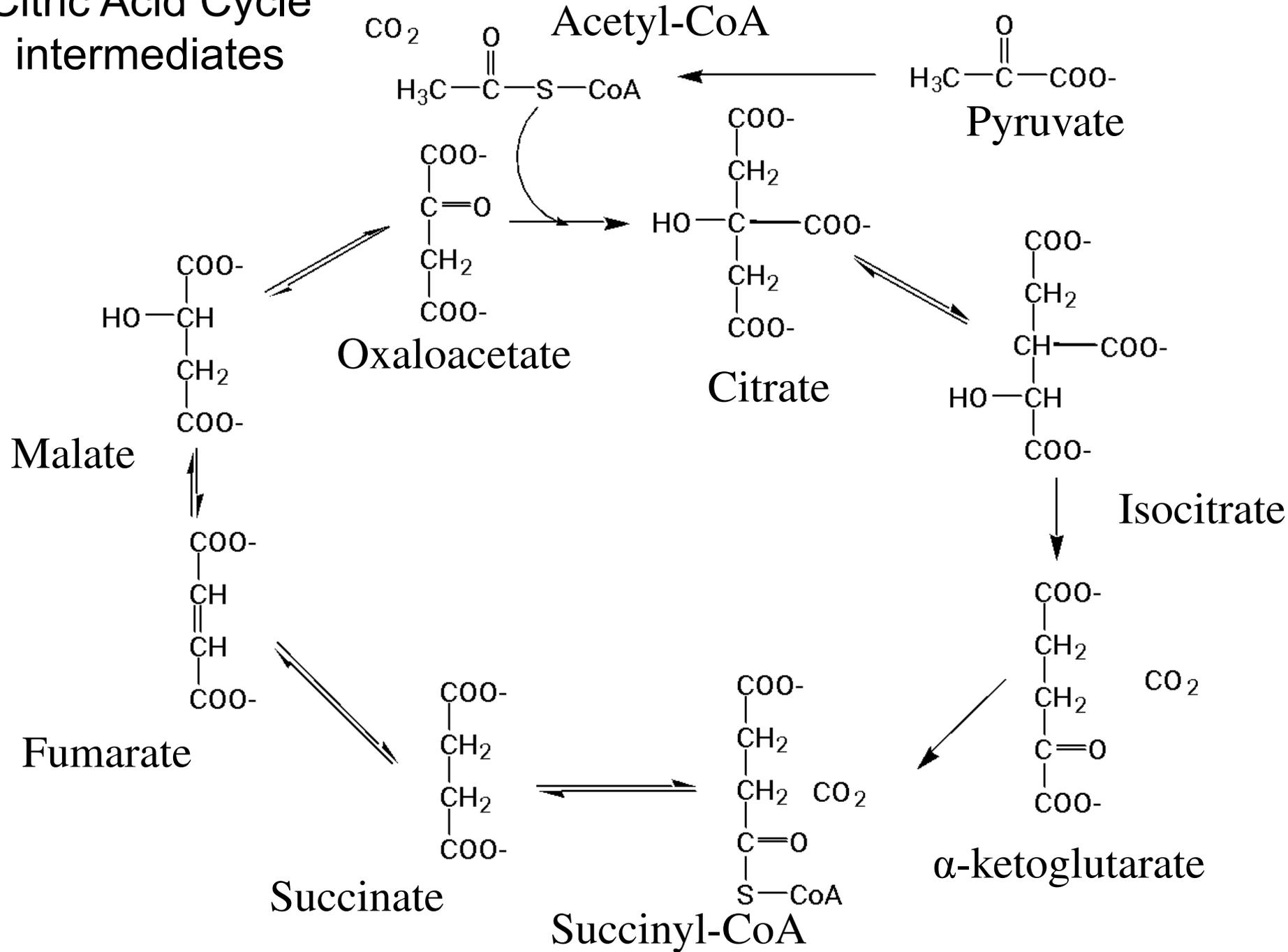
Некоторые биогенные оксокарбоновые кислоты

Формула	Название кислоты	Название солей
$\begin{array}{c} \text{H} - \text{C} - \text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	Глиоксиловая	Глиоксилаты
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{C} - \text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	Пировиноградная	Пируваты
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	Ацетоуксусная	Ацетоацетаты
$\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	Щавелевоуксусная	Оксалоацетаты
$\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	α -оксоглутаровая	α -оксоглутараты

Биологическая роль некоторых оксокислот

- пировиноградная – важнейший промежуточный метаболит в живых системах;
- ацетоуксусная – образуется в организме при β -окислении жирных кислот; накапливается при сахарном диабете;
- щавелевоуксусная – метаболит, участвующий в цикле Кребса;
- α -оксоглутаровая - метаболит, участвующий в цикле Кребса и в синтезе глутаминовой и γ -аминомасляной кислот.

Citric Acid Cycle intermediates



План лекции:

1. Понятие гетерофункциональных соединений.
Аминоспирты, оксо- и гидроксикислоты.
2. Аминокислоты, пептиды, белки.
3. Углеводы: моносахариды, дисахариды, полисахариды.
4. Липиды: Жирные кислоты, триацилглицериды, фосфолипиды.
5. Нуклеозиды, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты.

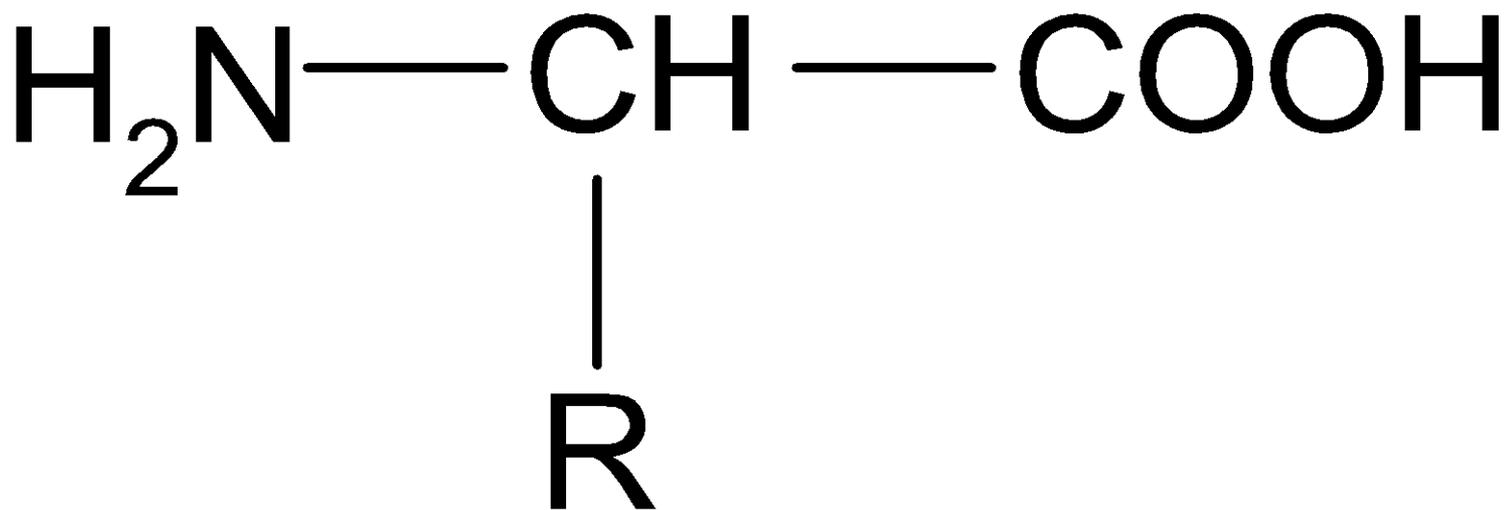
Аминокислоты –

вещества, содержащие одновременно амино- и карбоксильные группы.

α -аминокислоты –

это гетерофункциональные соединения, молекулы которых содержат одновременно амино-группу и карбоксильную группу у одного и того же атома углерода.

Строение α -аминокислот



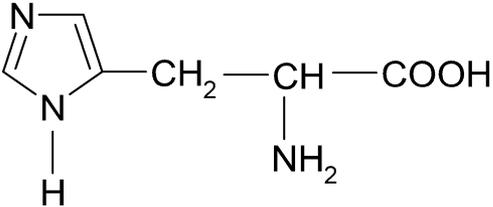
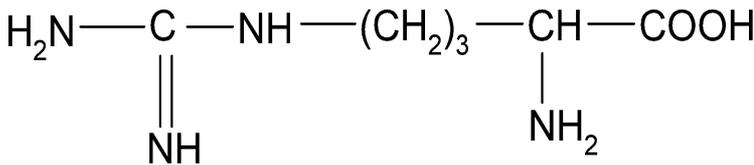
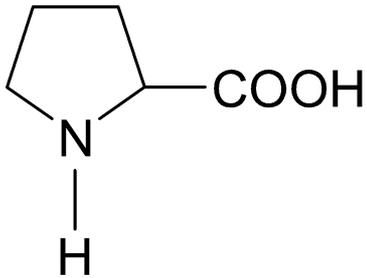
Примеры тривиальных названий α-аминокислот

Формула	Тривиальное название	Источник получения	Латинское (греческое) слово
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Серин	Фиброин шелка	<i>Serius</i> – шелковис- тый
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Тирозин	Сыр	<i>Tyros</i> – сыр

Примеры названий α -аминокислот по систематической номенклатуре

Формула	Тривиальное название	Название по систематической (рациональной) номенклатуре
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} - \text{CH} - \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	Серин	2-амино-3-гидроксипропановая кислота (α -амино- β -гидроксипропионовая кислота)
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} - \text{CH} - \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Тирозин	2-амино-3-(п)-гидроксифенил-пропановая кислота (α -амино- β -(п)-гидроксифенил-пропионовая кислота)

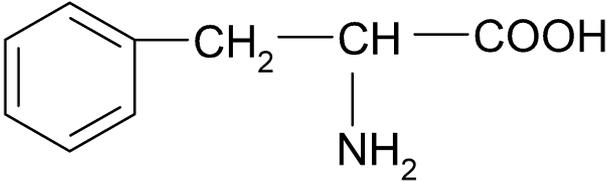
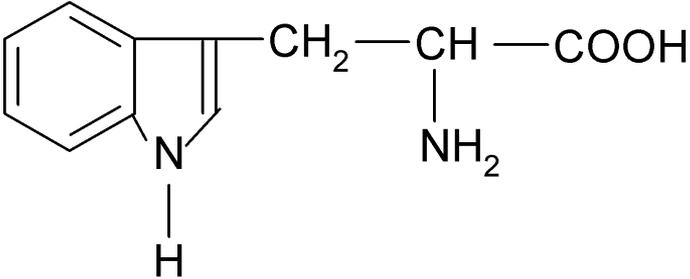
Примеры сокращенных названий α -аминокислот

Название	Формула	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
Гистидин	 <chem>NC1=CN=C(C1)CC(N)C(=O)O</chem>	ГИС	HIS
Аргинин	 <chem>NC(=N)NCCC(N)C(=O)O</chem>	АРГ	ARG
Пролин	 <chem>C1CCNC1C(=O)O</chem>	ПРО	PRO

Признаки классификации α -аминокислот

- по строению радикала;
- по кислотно-основным свойствам;
- по возможности синтеза в организме.

Классификация α -аминокислот по строению радикала

Аминокислоты		Примеры
Ациклические		Изолейцин $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$
Циклические	Гомоциклические	Фенилаланин 
	Гетероциклические	Триптофан 

Классификация α -аминокислот по кислотно-основным свойствам

Кислотно-основная характеристика α -аминокислот	Число функциональных групп		Примеры
	-COOH	-NH ₂	
Кислые (моноамино-дикарбоновые)	2	1	Глутаминовая кислота $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$
Нейтральные (моноамино-монокрбоновые)	1	1	Метионин $\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad \text{NH}_2$
Основные (диамино-монокрбоновые)	1	2	Лизин $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad \text{NH}_2$

Классификация α -аминокислот по возможности синтеза в организме

Незаменимые α-аминокислоты	Условно заменимые α-аминокислоты	Заменимые α-аминокислоты
Валин Лейцин Изолейцин Метионин Треонин Фенилаланин Лизин Триптофан	Аргинин Гистидин	Глицин Аланин Серин Цистеин Цистин Аспарагиновая кислота Аспарагин Глутаминовая кислота Глутамин Пролин

Пептиды

продукты реакции
поликонденсации α -
аминокислот, протекающей с
образованием пептидной
(амидной) связи.

Классификация пептидов по числу остатков аминокислот, составляющих пептид, и молекулярной массе

- олигопептиды (низкомолекулярные пептиды) – содержат в цепи не более 10 аминокислотных остатков;
- полипептиды – содержат в составе цепи до 100 аминокислотных остатков;
- белки (полипептиды) - содержат в составе цепи более 100 аминокислотных остатков.

Основные группы биологически активных пептидов

- пептиды – гормоны: вазопрессин, окситоцин, глюкагон, кальцитонин и др.
- пептиды, участвующие в регуляции пищеварения: гастрин, панкреатический полипептид и др.
- пептиды крови: глутатион, ангиотензин, брадикинин и др.
- нейропептиды: пептиды памяти, пептиды сна, эндорфины и др.
- пептиды, участвующие в сокращении мышц: анзерин, карнозин;
- пептиды «средние молекулы» - внутренние эндотоксины, образующиеся в организме в результате различных патологических процессов, обуславливающих тяжесть протекания заболевания.

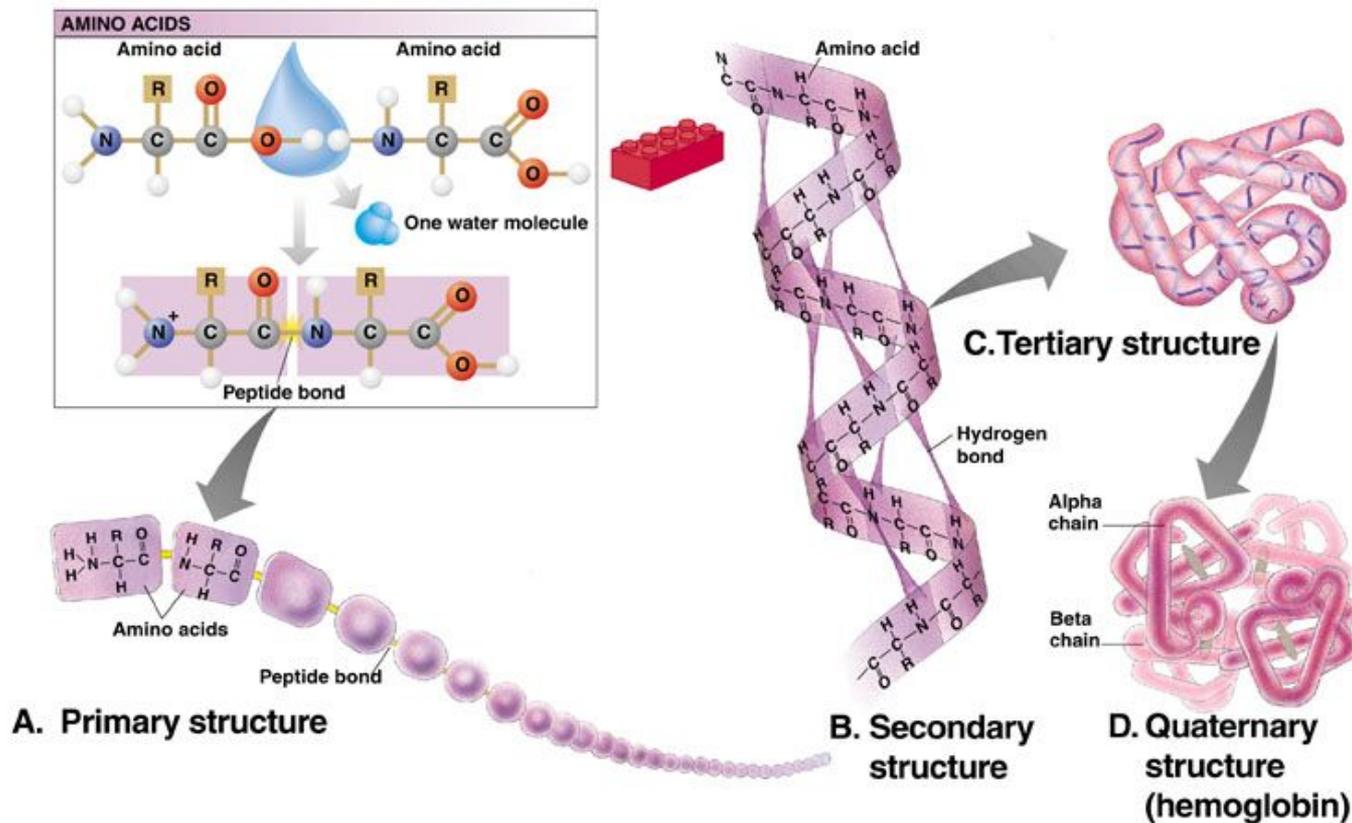
Классификации белков

Признак классификации	Класс белков	Характеристика
Состав	Простые белки	При гидролизе дают только аминокислоты и не образуют других органических и неорганических продуктов
	Сложные белки	При гидролизе дают не только аминокислоты, но и другие органические и неорганические продукты
Конформация	Фибриллярные	Полипептидные цепи располагаются параллельно друг другу вдоль одной оси, образуя длинные волокна
	Глобулярные	Полипептидные цепи плотно свернуты в компактные сферические или глобулярные структуры

Уровни структурной организации белков

первичная;
вторичная;
третичная;
четвертичная

Tobin/Dusheck, Asking About Life, 2/e
Figure 3.18



Биологическая роль белков в организме человека

- ферментативная
- гормональная
- рецепторная
- структурная (пластическая)
- иммунологическая
- гемостатическая
- противосвертывающая
- геннорегуляторная
- транспортная
- сократительная
- обезвреживающая
- опорная (механическая)
- создание биопотенциалов
- энергетическая

План лекции:

1. Понятие гетерофункциональных соединений.
Аминоспирты, оксо- и гидроксикислоты.
2. Аминокислоты, пептиды, белки.
3. Углеводы: моносахариды, дисахариды, полисахариды.
4. Липиды: Жирные кислоты, триацилглицериды, фосфолипиды.
5. Нуклеозиды, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты.

Углеводы

– полифункциональные соединения, состав которых часто выражается общей формулой



Биологическое значение углеводов

- Источники энергии в метаболических процессах
- Структурные компоненты клеточных стенок
- Составные элементы жизненно важных веществ
- Лекарственные средства
- Основные ингредиенты пищи млекопитающих

Классификация углеводов

УГЛЕВОДЫ

Моносахариды		Олигосахариды	Полисахариды	
Альдозы	Кетозы	Ди-, три-, тетра-сахариды	Гомо-полисахариды	Гетеро-полисахариды
триозы		сахароза	крахмал	гепарин
тетрозы		мальтоза	гликоген	гиалуроновая
пентозы		лактоза	клетчатка	кислота
гексозы		целлобиоза		хондроитинсульфаты

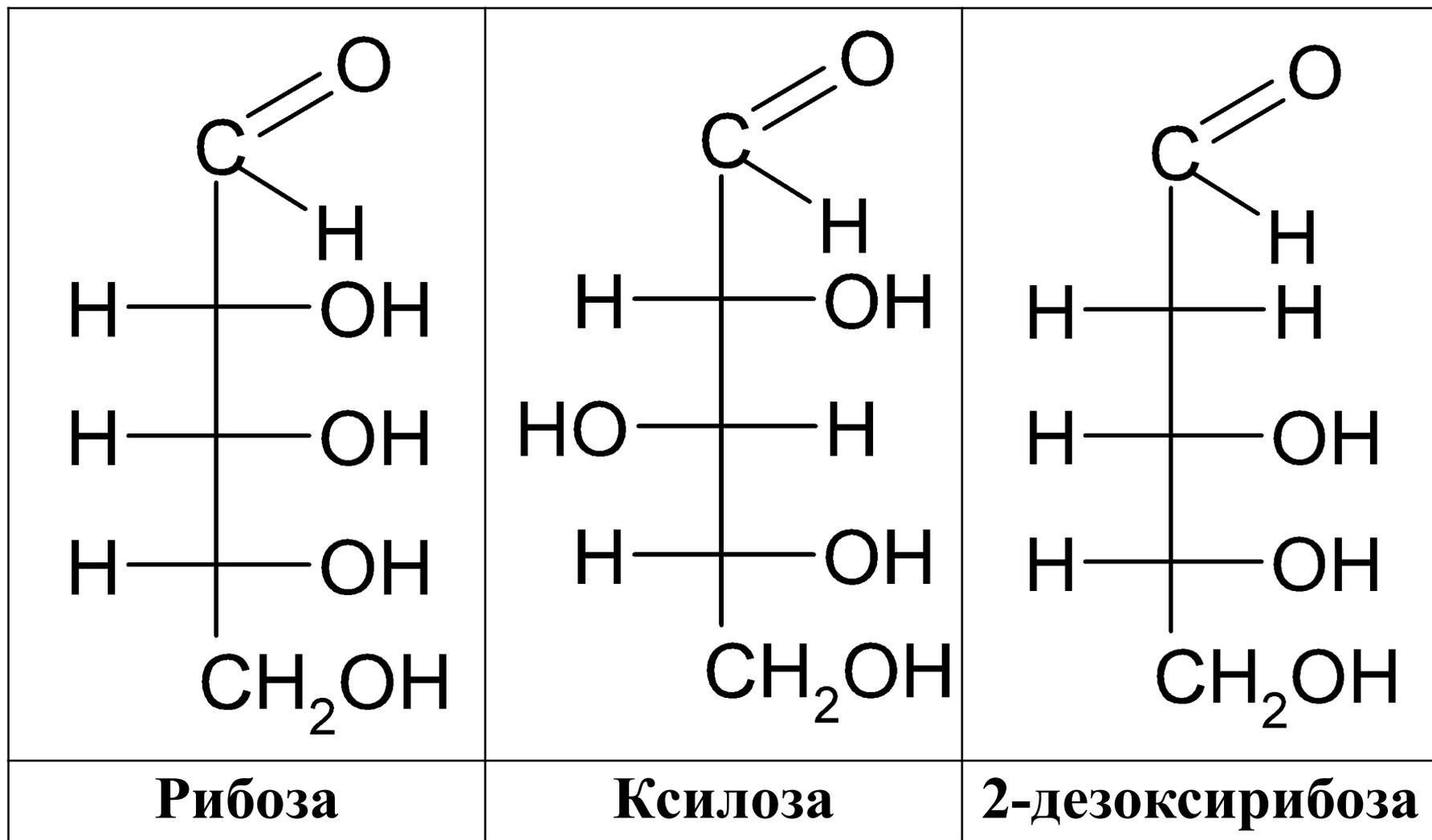
Классификация углеводов по способности к гидролизу

Название	Отношение к гидролизу	Отдельные представители
Моносахариды	не гидролизуются	рибоза фруктоза глюкоза
Олигосахариды	- гидролизуются до моносахаридов; - содержат 2-10 моносахаридных остатка	сахароза мальтоза целлобиоза
Полисахариды	- гидролизуются до моносахаридов; - являются продуктами поликонденсации моносахаридов	крахмал гликоген целлюлоза

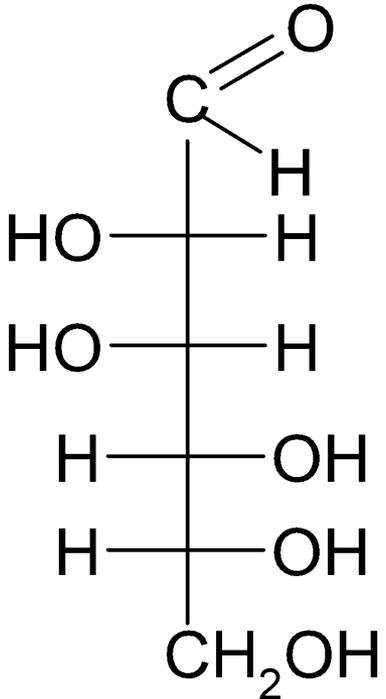
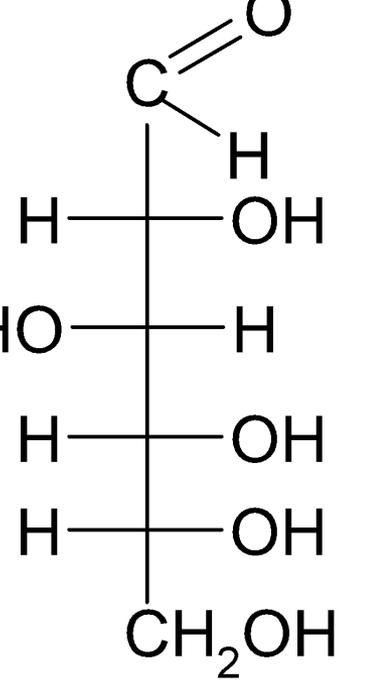
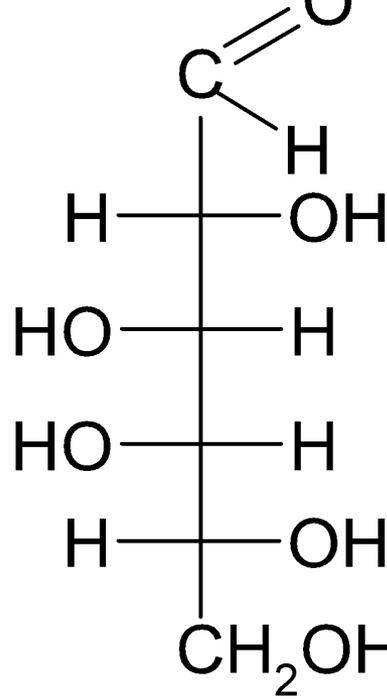
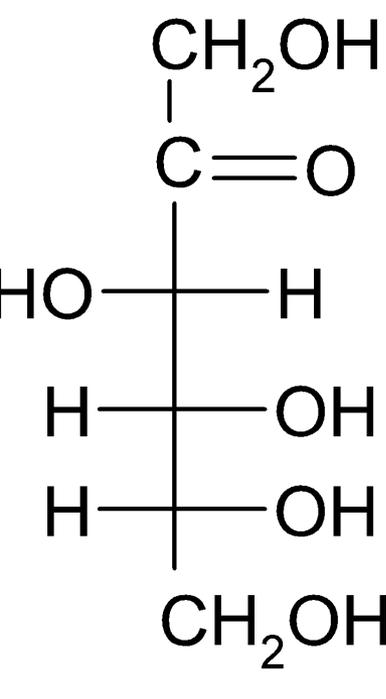
Моносахариды

- гетерофункциональные соединения, содержащие оксогруппу и несколько гидроксильных групп;
- углеводы, которые не гидролизуются до более простых форм;
- в организме человека присутствуют в виде D-формы.

Наиболее важные альдопентозы



Наиболее важные гексозы

			
D - манноза	D - глюкоза	D - галактоза	D - фруктоза
Эпимеры		Эпимеры	
Диастереомеры			

Биологическая роль глюкозы

- D-глюкоза – виноградный сахар, содержится в меде, винограде и других плодах;
- D-глюкоза – обязательный компонент крови и тканей животных, источник энергии для клеточных реакций;
- уровень содержания глюкозы в крови человека постоянен (в пределах 0,08 - 0,11%);
- во всем объеме крови взрослого человека содержится 5-6 г глюкозы;
- при заболевании сахарным диабетом содержание глюкозы в крови повышается.

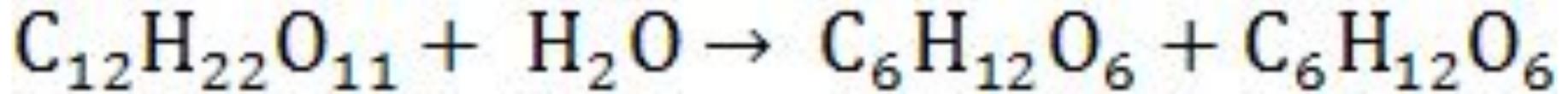
Дисахариды

- продукты конденсации двух моносахаридов;
- построены из двух одинаковых или разных моносахаридных остатков, связанных гликозидной связью;
- представляют собой O-гликозиды циклических таутомеров соответствующих моносахаридов;
- имеют брутто-формулу $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Важнейшие природные представители дисахаридов

- сахароза (свекловичный или тростниковый сахар);
- мальтоза (солодовый сахар)
- лактоза (молочный сахар)
- целлобиоза (продукт неполного гидролиза целлюлозы).

Состав дисахаридов



сахароза + $H_2O \rightarrow D$ – глюкоза + D – фруктоза

мальтоза + $H_2O \rightarrow D$ – глюкоза + D – глюкоза

лактоза + $H_2O \rightarrow D$ – глюкоза + D – галактоза

целлобиоза + $H_2O \rightarrow D$ – глюкоза + D – глюкоза

План лекции:

1. Понятие гетерофункциональных соединений.
Аминоспирты, оксо- и гидроксикислоты.
2. Аминокислоты, пептиды, белки.
3. Углеводы: моносахариды, дисахариды, полисахариды.
4. Липиды: Жирные кислоты, триацилглицериды, фосфолипиды.
5. Нуклеозиды, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты.

Липиды

большая разнородная группа природных соединений, объединяемых общими свойствами:

- нерастворимость в воде;
- растворимость в малополярных органических растворителях.

Простые липиды

липиды, продуктами гидролиза которых являются спирты и карбоновые кислоты.

Сложные липиды

липиды, продуктами гидролиза которых являются спирты, карбоновые кислоты и другие вещества (фосфорная кислота для фосфолипидов, углеводы для гликолипидов и т.д.).

Основные ВЖК, входящие в состав липидов человеческого организма

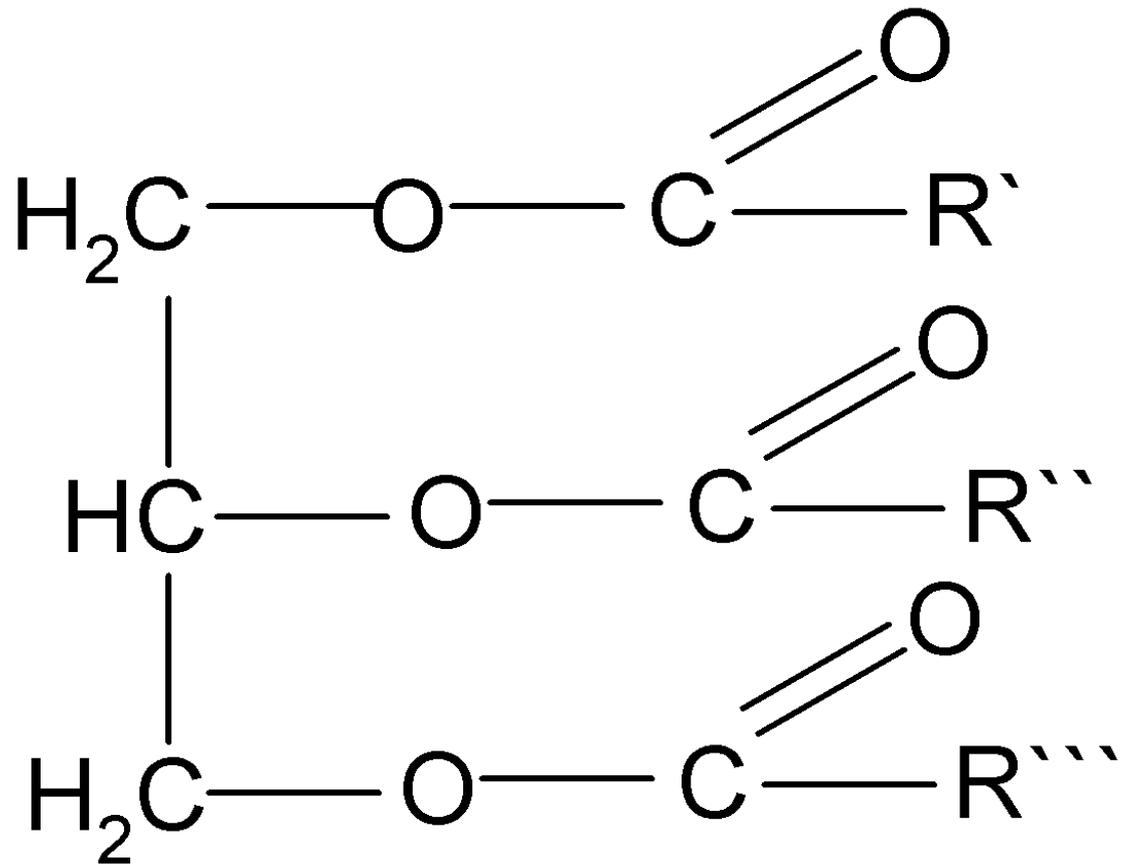
Насыщенные	Пальмитиновая	$C_{15}H_{31}COOH$
	Стеариновая	$C_{17}H_{35}COOH$
Ненасыщенные	Олеиновая	$C_{17}H_{33}COOH$
	Линолевая	$C_{17}H_{31}COOH$
	Линоленовая	$C_{17}H_{29}COOH$
	Арахидоновая	$C_{19}H_{31}COOH$

Незаменимые высшие жирные полиненасыщенные кислоты

- не могут синтезироваться в организме человека и должны поступать с пищей;
- необходимое количество составляет 5 г в сутки;
- содержатся в основном в растительных маслах;
- способствуют снижению содержания холестерина в крови.

Ацилглицерины

Триацилглицерин
(триглицерид)



Триацилглицерины

- ***простые*** - содержат остатки одинаковых высших жирных кислот;
- ***сложные*** - содержат остатки разных высших жирных кислот.

Классификация триацилглицеридов по агрегатному состоянию

Агрегатное состояние жиров	Различия в химическом строении	Происхождение жиров	Исключения
Твердые жиры	Содержат остатки насыщенных ВЖКК	Животные жиры	Рыбий жир
Смешанные жиры	Содержат остатки насыщенных и ненасыщенных ВЖКК		
Жидкие жиры (масла)	Содержат остатки ненасыщенных ВЖКК	Растительные жиры	Кокосовое масло

Жир в организме человека

- в организме жидкий;
- плавится при 15°C;
- имеет разный состав в различных органах;
- **СОДЕРЖИТ В ОСНОВНОМ:**
 - ✓ 50% олеиновой кислоты
 - ✓ 25% пальмитиновой кислоты
 - ✓ 10% линолевой кислоты
 - ✓ 8% стеариновой кислоты

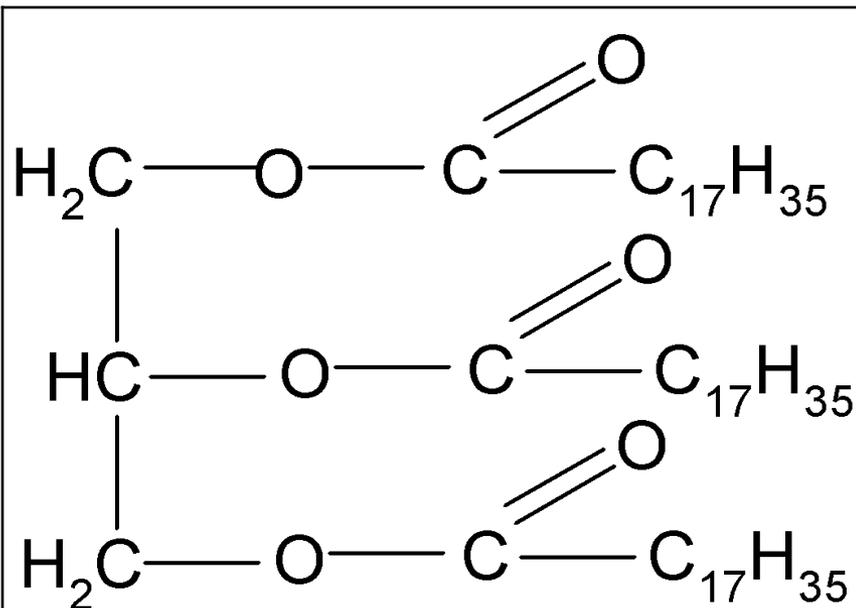
Биологическая роль жиров в организме

- в норме составляют 20% от массы тела;
- играют роль энергетических ресурсов;
- имеют низкую тепло- и электропроводимость, поэтому служат защитой от охлаждения и перегрева;
- имеют невысокую плотность, что придает многим организмам плавучесть;
- являются важным компонентом каждой клетки;
- являются эндогенным источником воды.

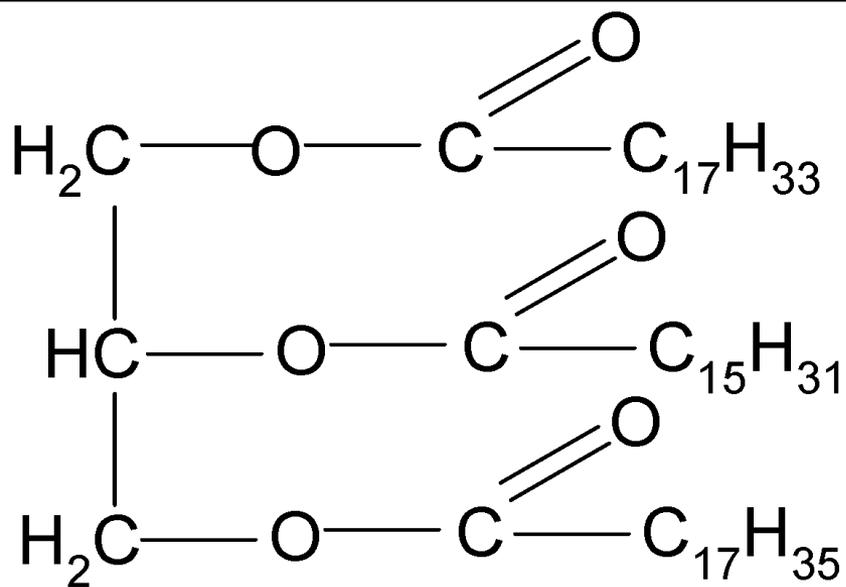
Жир – источник воды

- вносит вклад в водный обмен;
- при окислении 1 грамма образует 1,4 грамма воды;
- удовлетворяет потребность во влаге животных (впадающих в зимнюю спячку и обитателей пустынь).

Номенклатура триацилглицеринов



**Тристеароилглицерин
(тристеарин)**



**1-олеоил-2-пальмитоил-3-
стеароилглицерин
(1-олео-2-пальмитостеарин)**

Примеры глицерофосфолипидов

- фосфатидилхолины
(лецитины);
- фосфатидилэтаноламины
(коламинкефалины);
- фосфатидилсерины
(серинкефалины).

Фосфолипиды

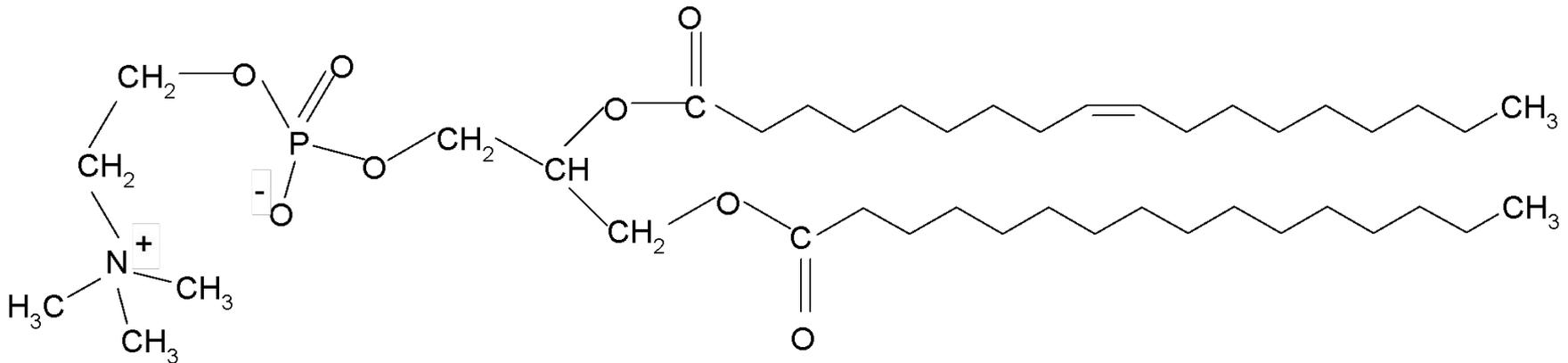
- являются структурными компонентами клеточных мембран;
- составляют 40-90% от общего количества липидов мембраны;
- имеют бифильное строение;
- на границе раздела фаз действуют как эмульгаторы;
- обеспечивают высокое электрическое сопротивление мембраны;
- обуславливают непроницаемость мембраны для ионов и полярных молекул и проницаемость для полярных веществ.

Биологическая роль фосфатидилэтаноламинов и фосфатидилхолинов

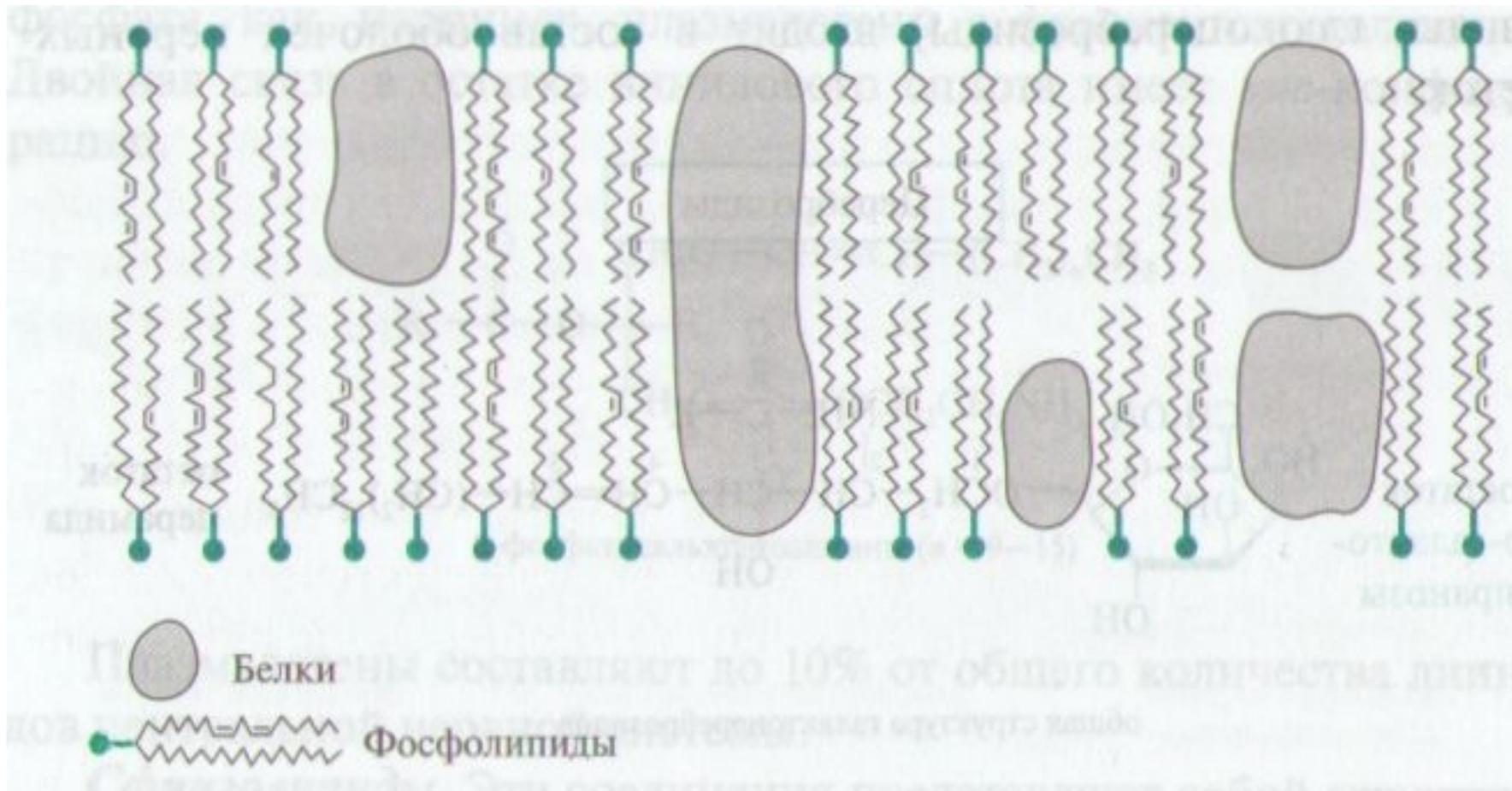
- являются незаменимыми компонентами нервных клеток;
- вместе с некоторыми белками образуют липопротейды, представляющие собой компоненты клеточных мембран;
- в организме содержатся в печени, сердечной мышце, эритроцитах;
- присутствуют в некоторых продуктах (яичный желток, соевые бобы, икра);
- при недостатке возникает малокровие, провоцируются заболевания нервной системы.

Фосфотидилхолины (лецитины)

- являются бифильными соединениями;
- углеводородные радикалы жирных кислот образуют два неполярных «хвоста»;
- карбоксильные, фосфатная и холиновая группы образуют полярную часть молекулы.



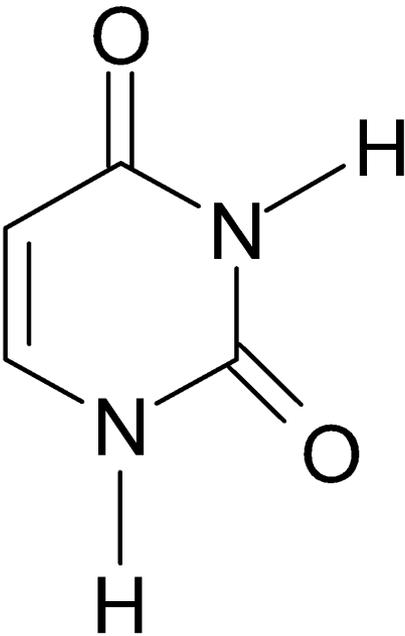
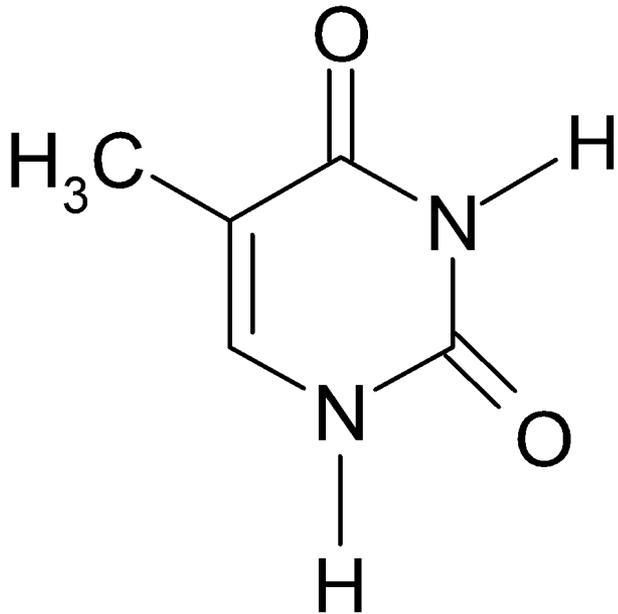
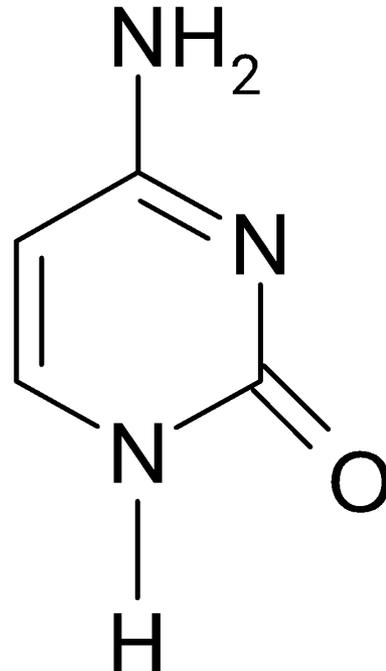
Строение клеточной мембраны



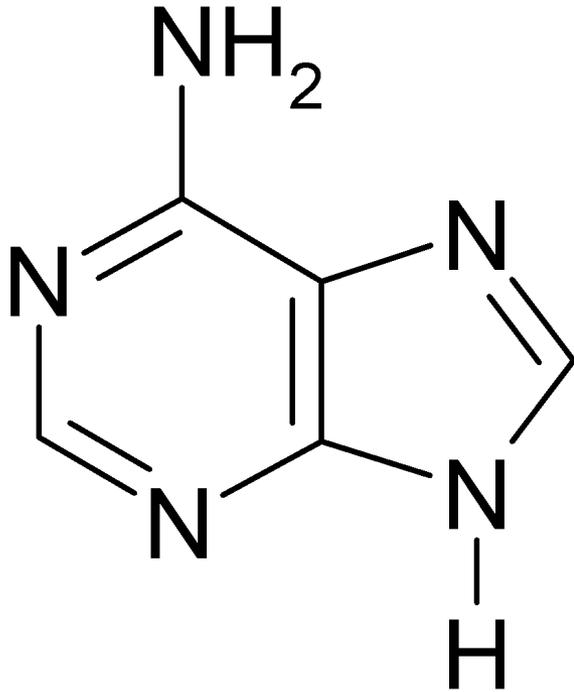
План лекции:

1. Понятие гетерофункциональных соединений.
Аминоспирты, оксо- и гидроксикислоты.
2. Аминокислоты, пептиды, белки.
3. Углеводы: моносахариды, дисахариды, полисахариды.
4. Липиды: Жирные кислоты, триацилглицериды, фосфолипиды.
5. Нуклеозиды, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты.

Нуклеиновые пиримидиновые основания

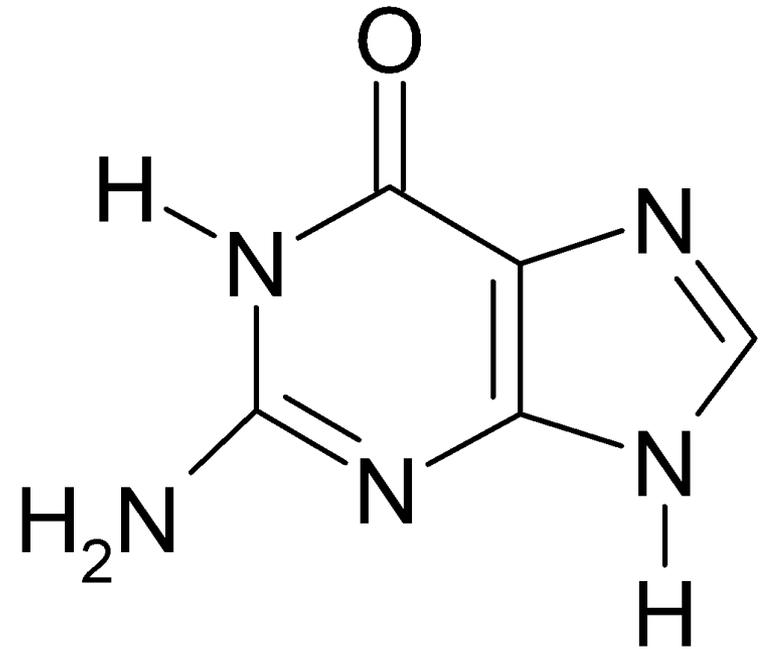
		
Урацил Ura	Тимин Thy	Цитозин Cyt
2,4-дигидрокси- пиримидин	2,4-дигидрокси-5- метилпиримидин	4-амино-2- гидроскипиримидин

Нуклеиновые пуриновые основания



Аденин Ade

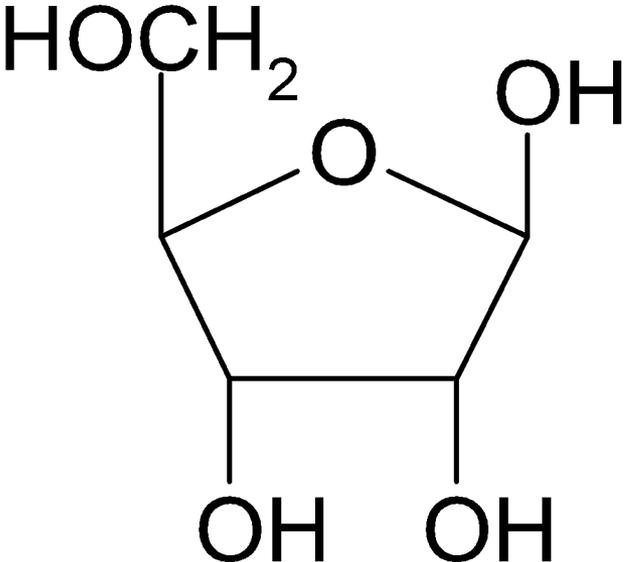
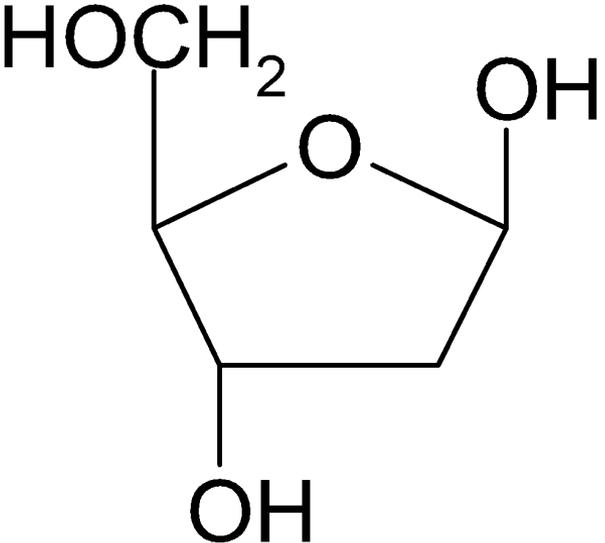
6-аминопурин



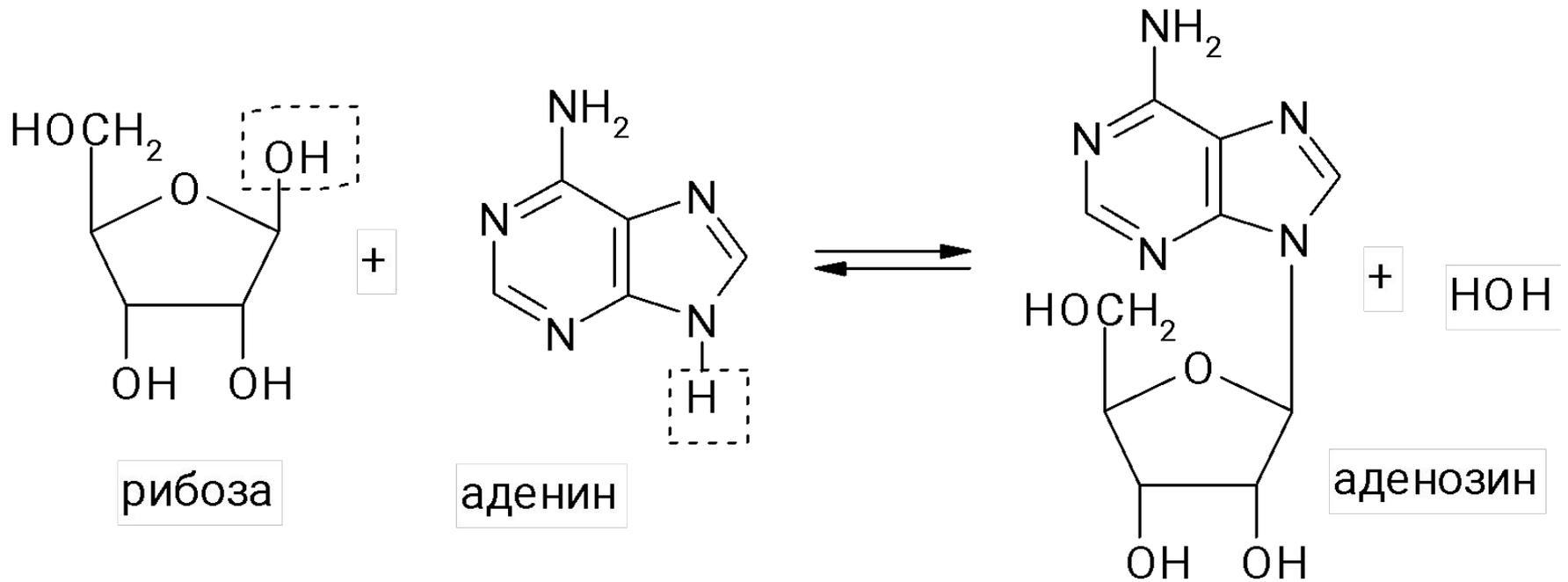
Гуанин Gua

2-амино-6-гидроксипурин

Углеводы, входящие в структуру нуклеозидов

D-рибоза	2-дезокси-D-рибоза
 <p>Chemical structure of D-ribose (β-D-ribofuranose). It is a five-membered ring with an oxygen atom at the top. The C1 position (top-left) has a CH₂OH group labeled "НОСН₂". The C2 position (top-right) has an OH group labeled "ОН". The C3 position (bottom-left) has an OH group labeled "ОН". The C4 position (bottom-right) has an OH group labeled "ОН".</p>	 <p>Chemical structure of 2-deoxy-D-ribose (β-D-2-deoxyribofuranose). It is a five-membered ring with an oxygen atom at the top. The C1 position (top-left) has a CH₂OH group labeled "НОСН₂". The C2 position (top-right) has an OH group labeled "ОН". The C3 position (bottom-left) has no substituent. The C4 position (bottom-right) has an OH group labeled "ОН".</p>

Образование нуклеозида А

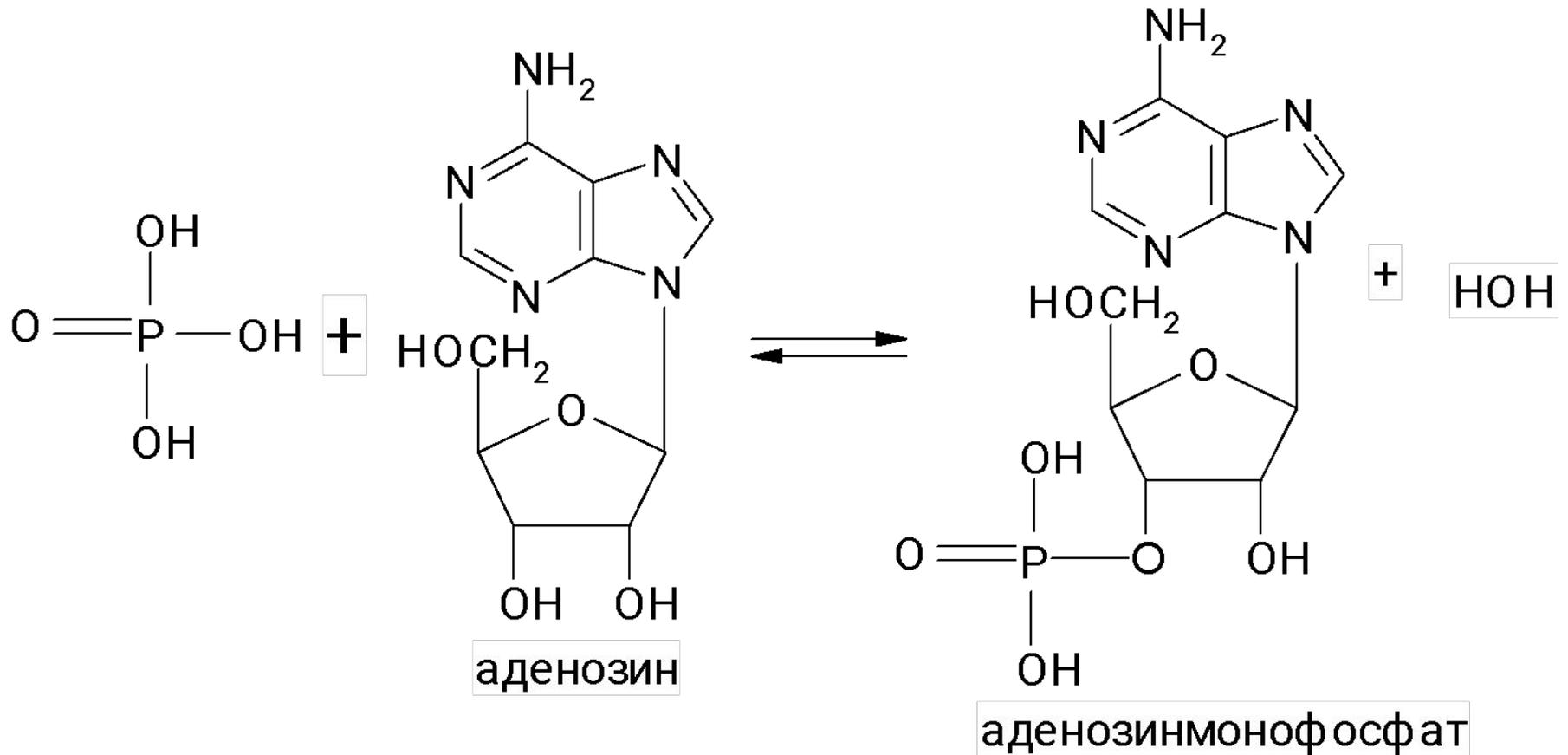


Нуклеотиды

сложные эфиры нуклеозидов
и фосфорной кислоты.

Образование нуклеотида

✓ аденозин - 3'- фосфат (3'- адениловая кислота)



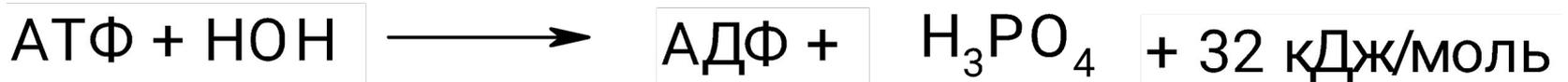
Нуклеозидполифосфаты

аденинсодержащие нуклеотиды

- аденозин-5'-монофосфат (АМР или АМФ);
- аденозин-5'-дифосфат (АДР или АДФ);
- аденозин-5'-трифосфат (АТР или АТФ).

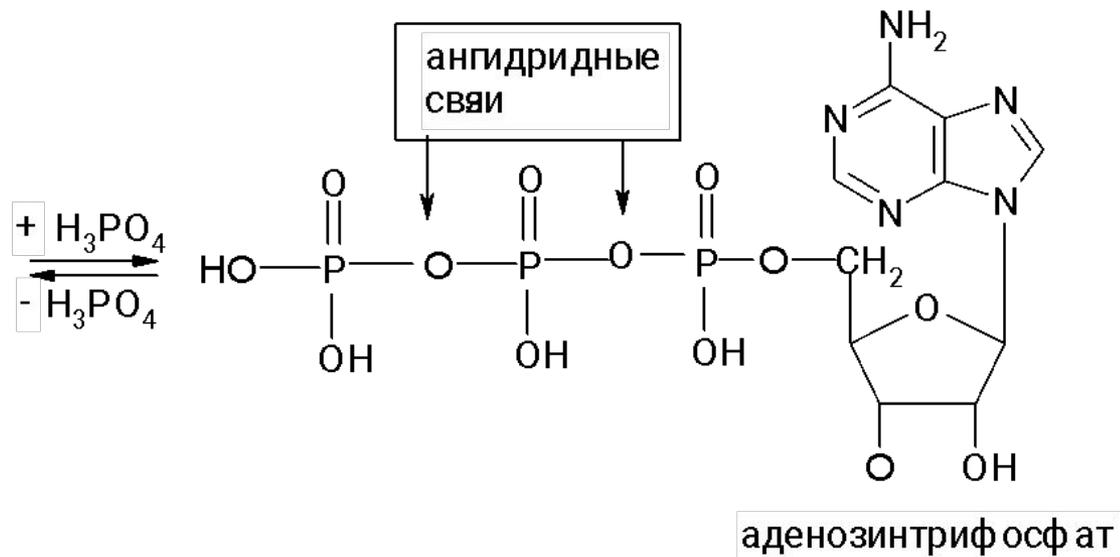
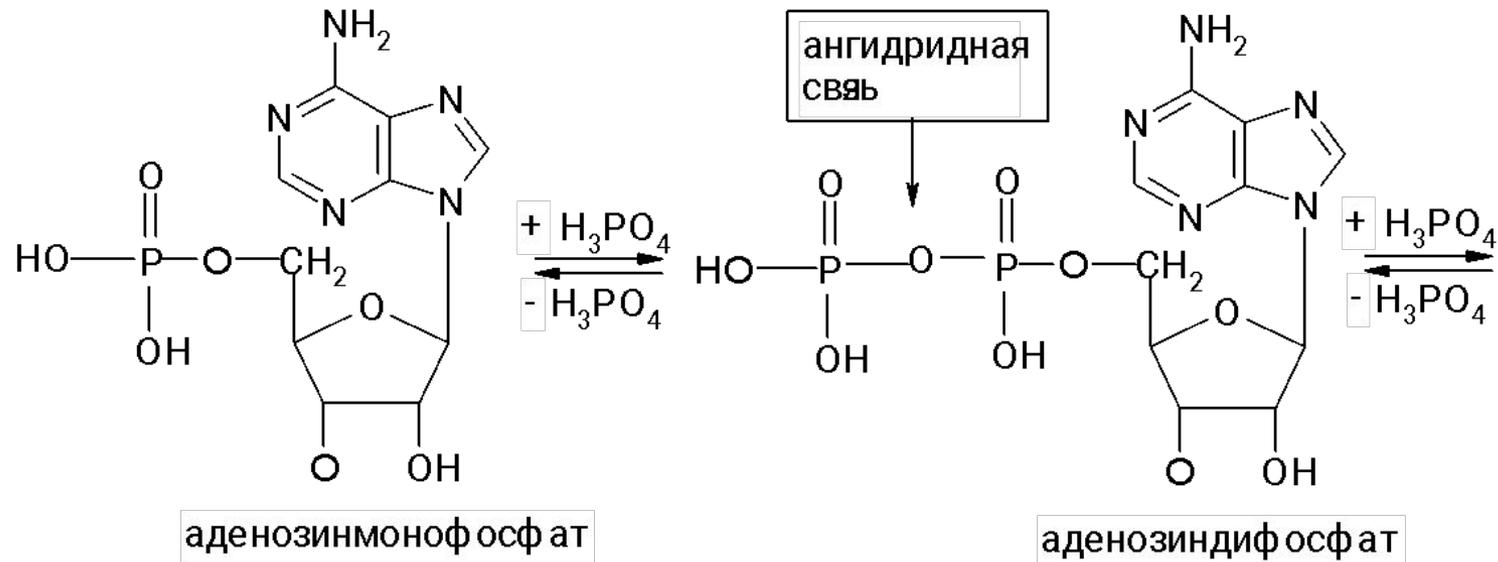
Нуклеозидполифосфаты

- АМФ, АДФ и АТФ способны к взаимопревращениям путем наращивания или отщепления фосфатных групп;
- АДФ содержит две, а АТФ – три ангидридных макроэргических связи, обладающих большим запасом энергии;
- ангидридные связи образуются за счет энергии, выделяющейся в процессе метаболизма углеводов;
- АТФ – «поставщик энергии» во всех живых клетках



- запасенная в макроэргических связях энергия используется живыми организмами на энергетические процессы.

Строение АТФ



Нуклеиновые кислоты (полинуклеотиды)

- представляют собой природные ВМС, макромолекулы которых состоят из мононуклеотидов;
- впервые обнаружены в 1868 году швейцарским химиком Ф.Мишером в клеточном ядре;
- имеют относительную молекулярную массу 10^4 - 10^{10} а.е.м.

Биологическая роль нуклеиновых кислот

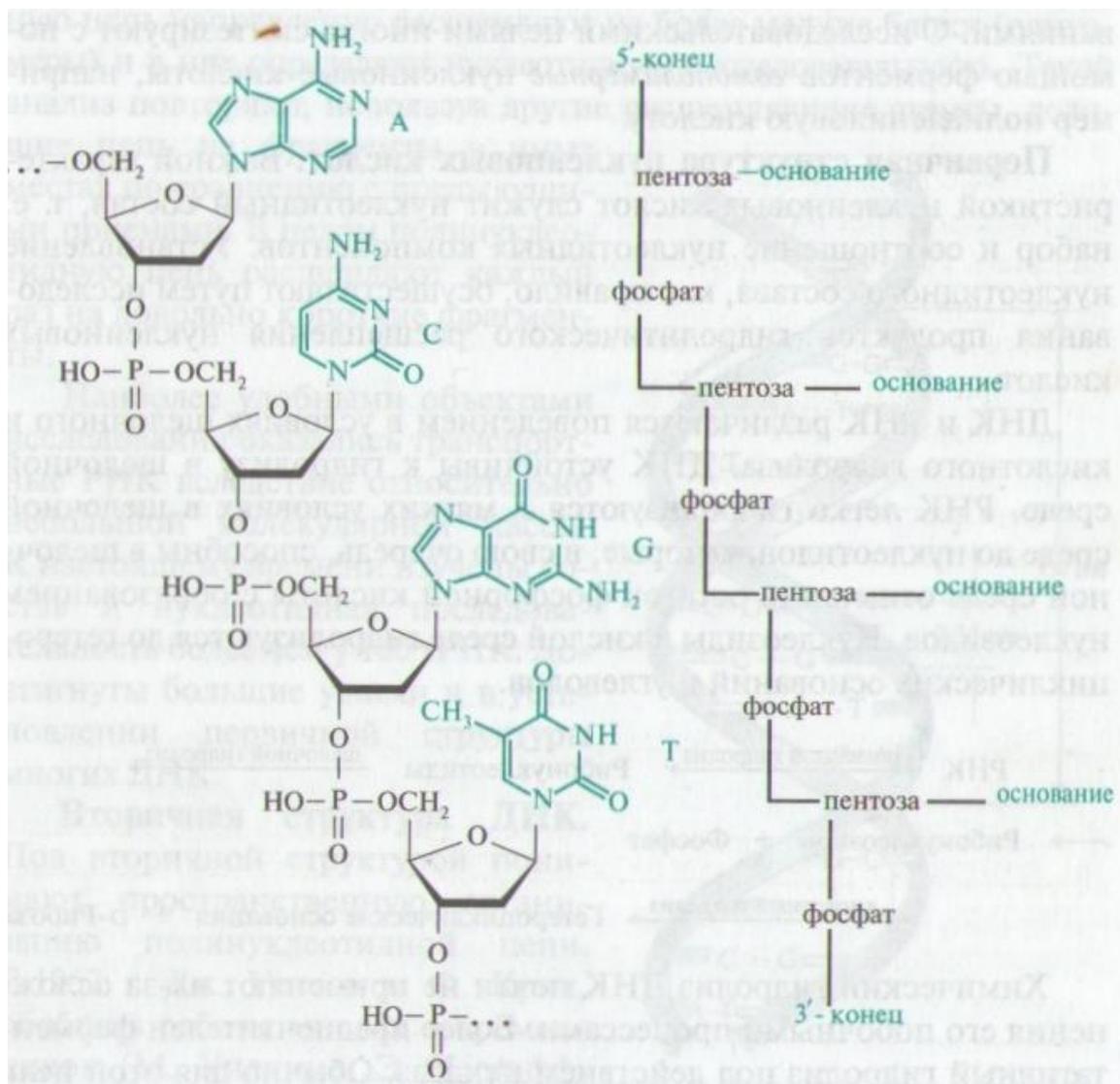
- передача наследственных признаков (генетической информации);
- управление процессом биосинтеза белка.

Отличительные особенности строения ДНК и РНК

Структурные сопоставляющие	РНК	ДНК
Пентоза	Рибоза	Дезоксирибоза
Пуриновые основания	Аденин, гуанин	Аденин, гуанин
Пиримидиновые основания	Цитозин, <i>урацил</i>	Цитозин, <i>тимин</i>

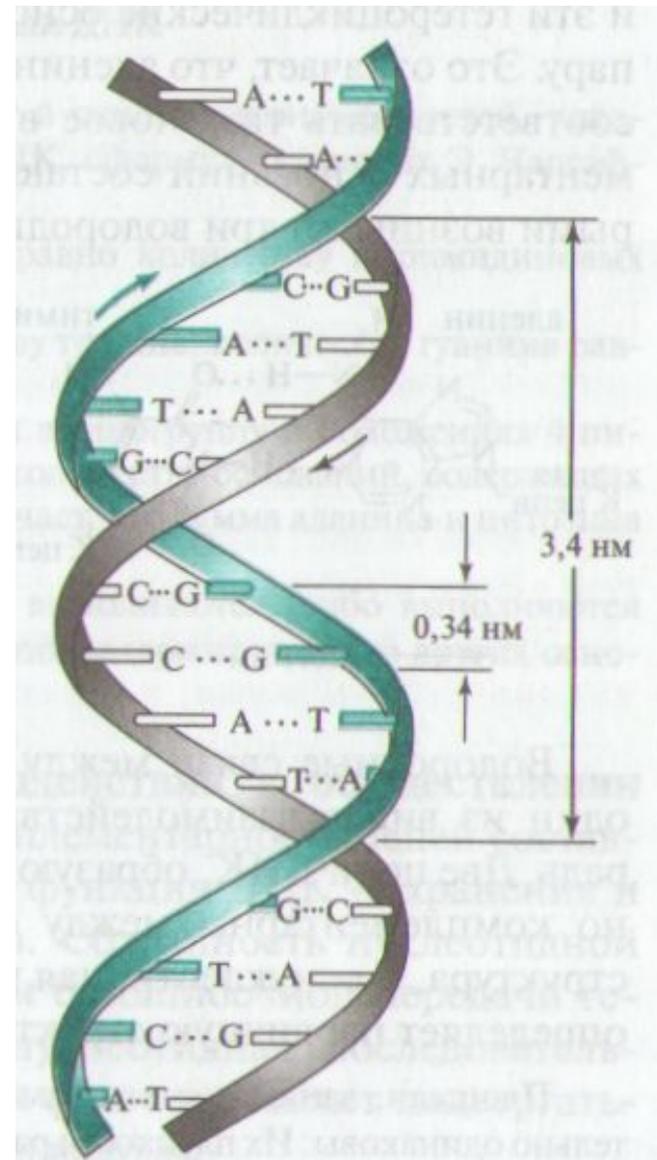
Характеристика различных уровней структурной организации нуклеиновых кислот

Первичная структура



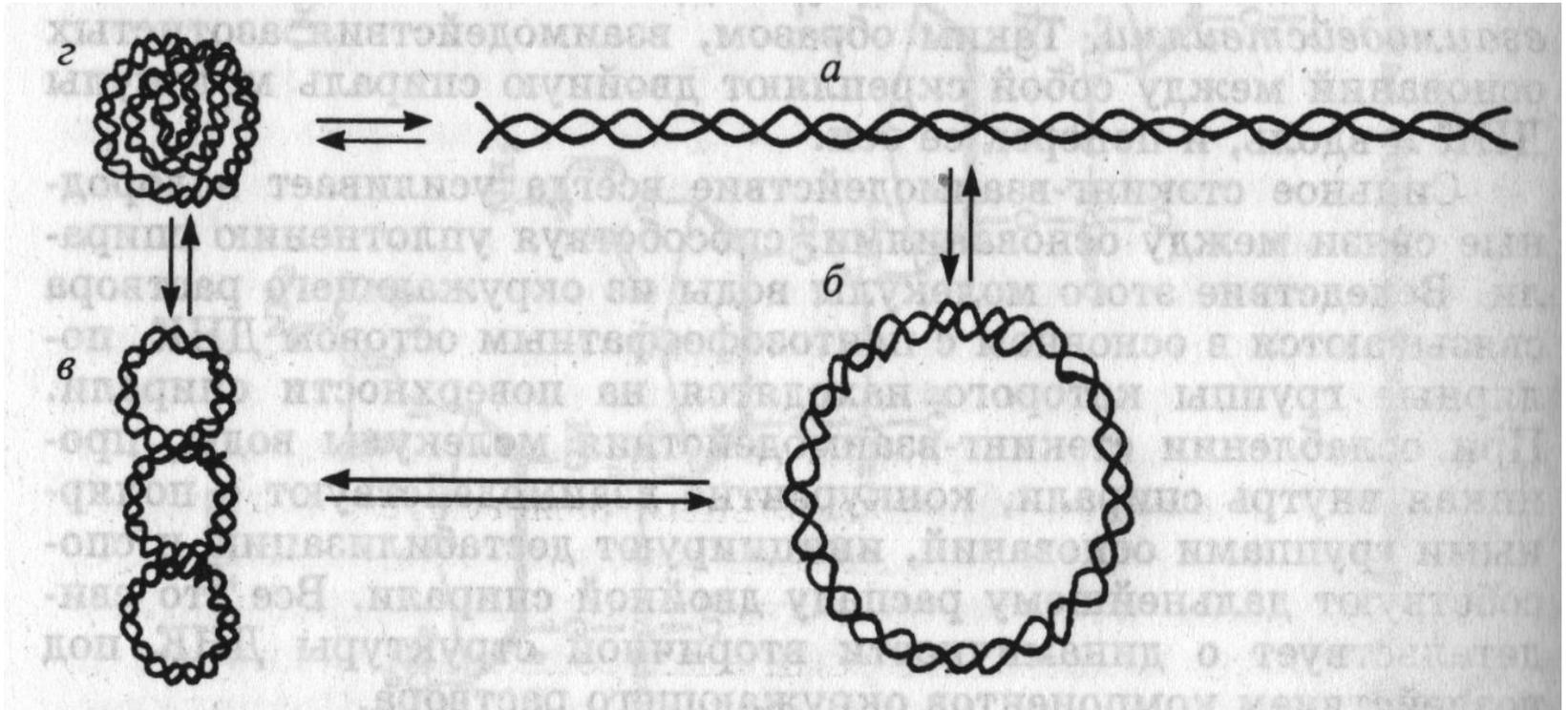
Характеристика различных уровней структурной организации нуклеиновых кислот

Вторичная структура



Характеристика различных уровней структурной организации нуклеиновых кислот

Третичная структура



- а) линейная; б) кольцевая; в) суперкольцевая;
г) компактный клубок

Комплементарность полинуклеотидных цепей в двойной спирали ДНК

