

# Биологически активные гетероциклические соединения. Нуклеиновые кислоты.

Биоорганическая химия  
для специальности 31.05.01 Лечебное  
дело  
ИФОИТМ  
Доцент Янькова В.И.

## Основные вопросы лекции:

- 1. Характеристика БАВ, производных 5-ти членных ГТЦ с одним и двумя ГТА.
- 2. Характеристика БАВ, производных 6-ти членных ГТЦ с одним и двумя ГТА.
- 3. Характеристика ГТЦ с конденсированными ядрами.
- 4. Структурные компоненты нуклеиновых кислот (НК).
- 5. Характеристика нуклеозидов.
- 6. Структура и роль нуклеотидов в процессах метаболизма.
- 7. Первичная и вторичная структуры ДНК, особенности строения РНК; участие НК в биосинтезе белков, геном человека, генная инженерия.



---

**Гетероциклическими** называют циклические органические соединения, в состав цикла которых, помимо атомов углерода, входят один или несколько атомов других элементов (гетероатомов).

### ***КЛАССИФИКАЦИЯ***

1. По размеру цикла (3 – 7-членные)
2. По числу гетероатомов (1, 2, 3)
3. По природе гетероатома (N-, O-, S-, P-)
- 4 . По степени насыщенности
5. По числу циклов (моно-, ди-, полициклические)

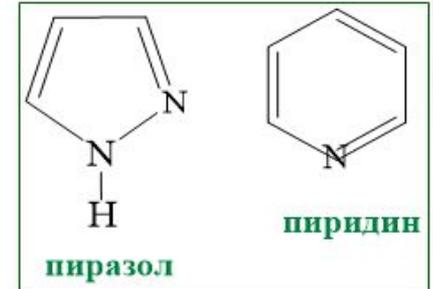
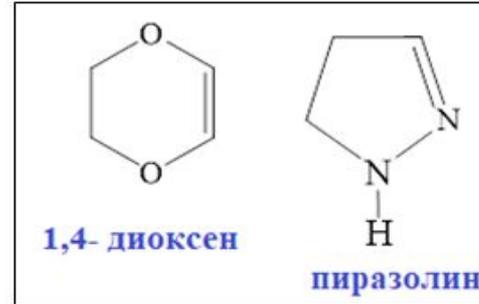
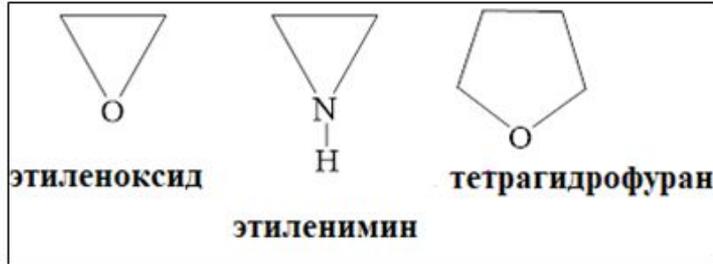


# Гетероциклы

**насыщенные**

**ненасыщенные**

**ароматические**



# Критерии ароматичности (правило Хюккеля)

Соединение является ароматическим, если:

1. Имеет плоский замкнутый  $\sigma$  – цикл.
2. Сопряженную  $\pi$  – электронную систему, охватывающую все атомы цикла.
3. Содержащую  $(4n + 2) \pi$  (или  $\pi + p$ ) – электронов.

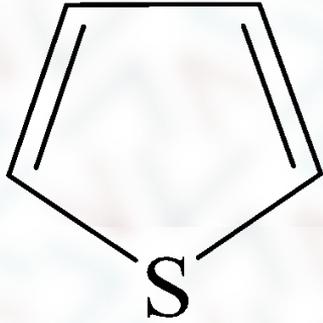
**Правило Хюккеля** применимо ко всем плоским конденсированным системам.

n – простые натуральные числа 1, 2, 3, 4 и т.д.

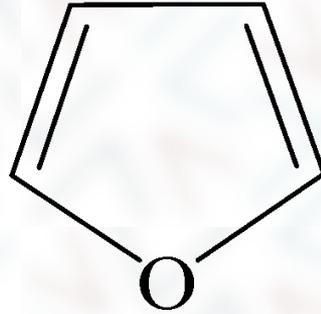
Ароматические числа: 6, 10, 14, 18, 22 и т.д.



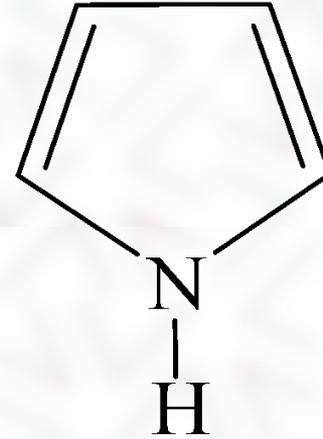
# Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом



тиофен



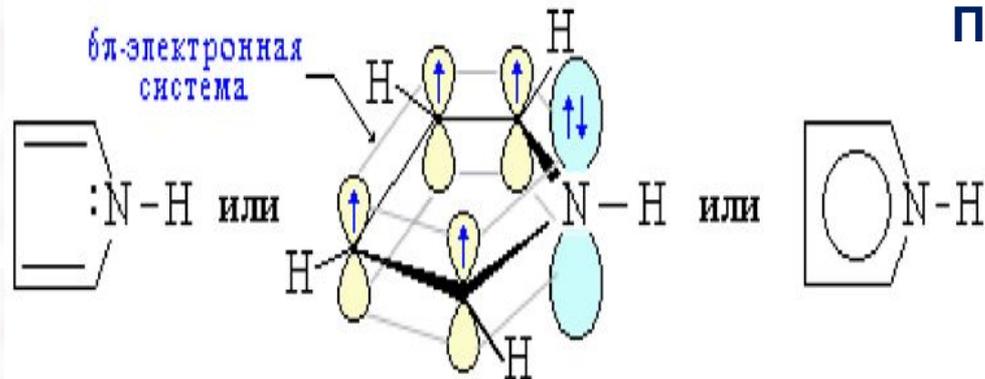
фуран



пиррол



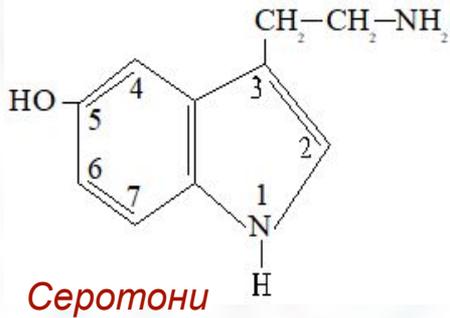
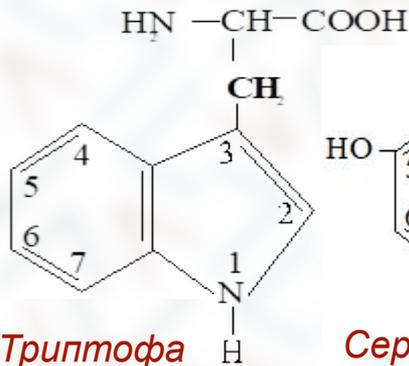
# Электронное строение пиррола



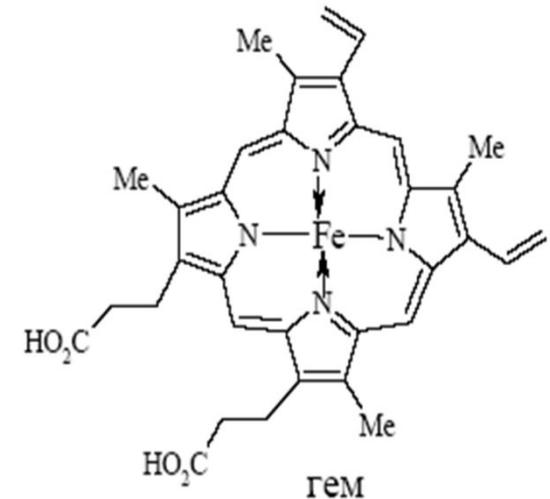
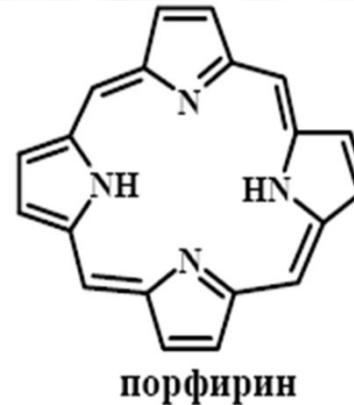
Пиррол - ароматическое соединение.

Атомы углерода и азота  $sp^2$ -гибридизации,  $\sigma$ -связи образуют замкнутый цикл. Неподеленная пара электронов атома азота (негибридизованная  $p$ -орбиталь) участвует в сопряжении с  $p$ -электронами четырех атомов углерода с образованием единого шестизлектронного облака ( **$p, \pi$ -сопряжение**). Шестизлектронное облако в пирроле делокализовано на пяти атомах цикла, поэтому пиррол представляет собой  **$\pi$ -избыточную** систему. Атом азота в таком электронном состоянии получил название **пиррольного**.

# Производные пиррола:

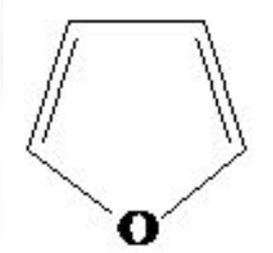


Четыре пиррольных кольца образуют циклическую сопряженную систему, называемую **порфином**, которая входит в состав хлорофилла, гемоглобина, цитохромов.



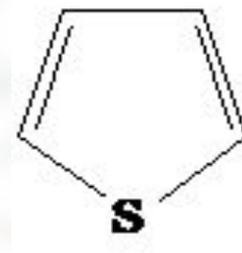
**Триптофан** – α-аминокислота, которая входит в состав полипептидов растительных и животных организмов. Важнейшим направлением в метаболизме триптофана является гидроксирование, в результате чего получается 5-гидрокситриптофан, который при декарбоксилировании преобразуется в **серотонин** (биогенный амин).

## Фуран



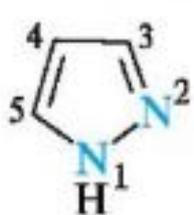
Кольцо фурана входит в состав **лекарственных средств**, например, **фурацилина** и **фуразолидона**. Они эффективны при гнойно-воспалительных процессах, вызываемых микроорганизмами (дизентерии, брюшном тифе и т.д.).

## Тиофен

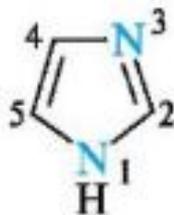


Производные тиофена входят в состав **ихтиоловой мази**, оказывающей противовоспалительное, антисептическое и местное обезболивающее действие. Производным тетрагидротиофена является **биотин (витамин Н)**, отсутствие которого в пище нарушает обмен белков и жиров в организме и ведет к кожным заболеваниям.

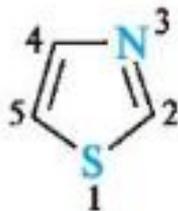
# Пятичленные циклы с двумя гетероатомами



пиррол



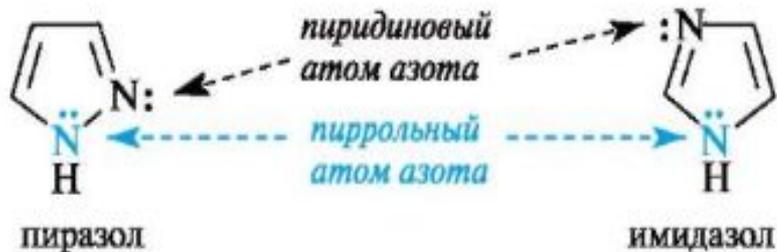
имидазол



тиазол

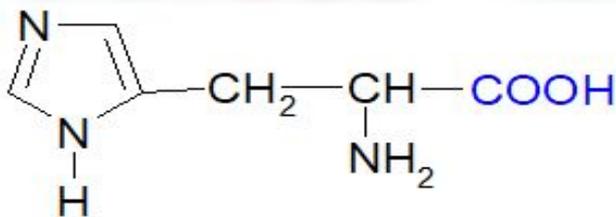
В имидазоле и пирроле два атома азота вносят разный вклад в образование **делокализованного** электронного облака:

- **пиррольный** атом азота поставляет **пару *p*-электронов**,
- **пиридиновый** - **один *p*-электрон**.



# Производные имидазола:

ИМИДАЗОЛЬНОЕ КОЛЬЦО ВХОДИТ В СОСТАВ НЕКОТОРЫХ АМИНОКИСЛОТ, ПУРИНОВЫХ ОСНОВАНИЙ И АЛКАЛОИДОВ.



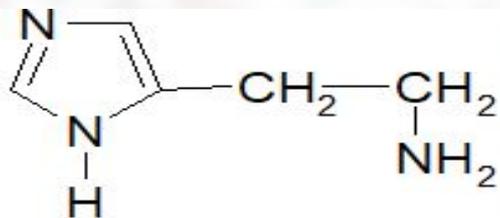
*гистидин*

Гистидин входит в состав многих белков, в том числе гемоглобина.

В гемоглобине за счет **пиридинового** атома азота имидазольного фрагмента этой кислоты белок глобин связывается с **атомом железа** гема.

Особенности строения имидазольного кольца объясняют роль Гис в ферментативных реакциях, способность осуществлять катализ:

- кислотный - за счет пиррольной группы
- основной - за счет пиридинового атома азота.



*гистамин*

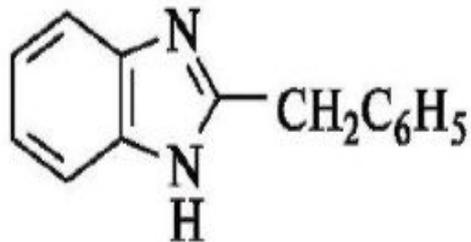
Гистамин является медиатором аллергической реакции организма.



# Производные имидазола - лекарства



бензимидазол

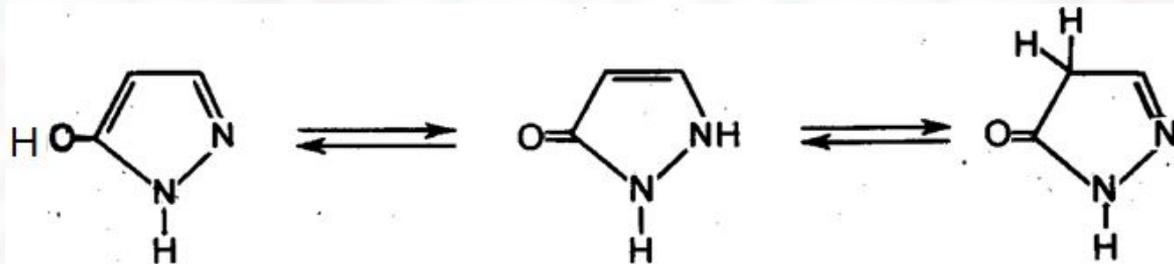


дибазол

Имидазол, конденсированный с бензольным кольцом - **бензимидазол** - входит в состав ряда природных веществ, в частности **витамина В<sub>12</sub>**, а также **дибазола**, понижающего артериальное давление.



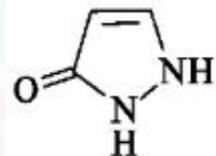
# Производные пиразола - лекарства (негормональные болеутоляющие препараты)



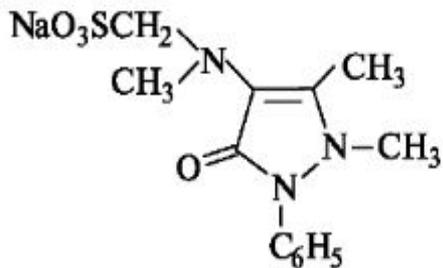
Гидроксиформа

ПИРАЗОЛОН-5

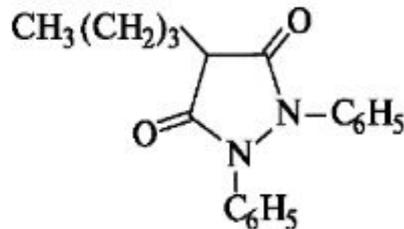
Оксоформы



пиразолон



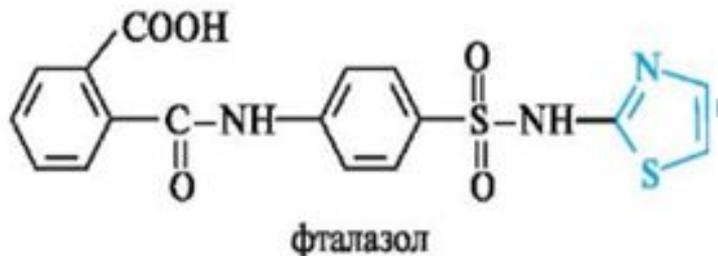
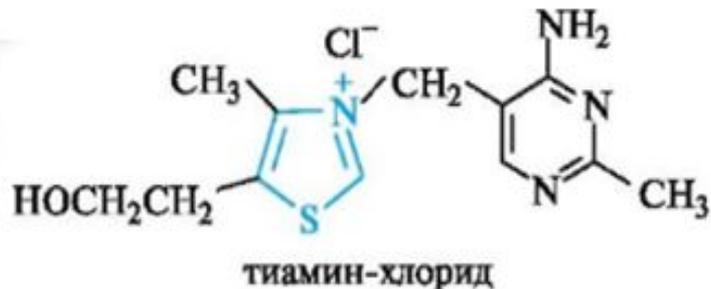
анальгин



бутадион

Производные пиразола в природе не обнаружены. Наиболее известным производным пиразола является пиразолон, одна из изомерных форм. На основе пиразолонана созданы анальгетические средства - анальгин, бутадион и др.

# Производные тиазола

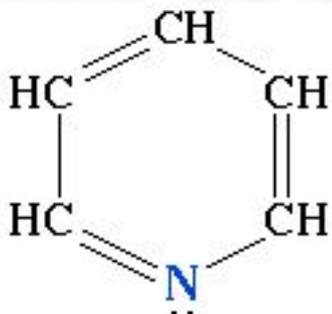
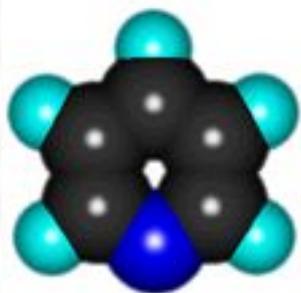


В цикле тиазола содержатся два разных гетероатома.

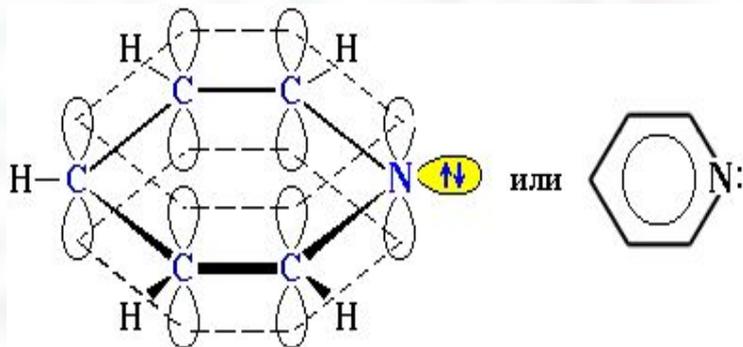
Структура тиазола встречается в составе важных биологически активных веществ - **тиамина (витамина В<sub>1</sub>)** и ряде **сульфаниламидных препаратов**, например, противомикробного средства **фthалазола**.

Цикл полностью гидрированного тиазола - **тиазолидин** - является структурным фрагментом **пенициллиновых антибиотиков**.

# Шестичленные циклы с одним атомом азота



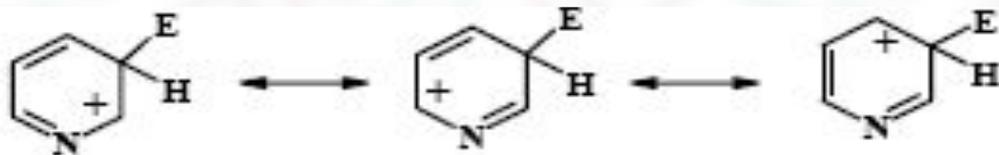
## Электронное строение пиридина



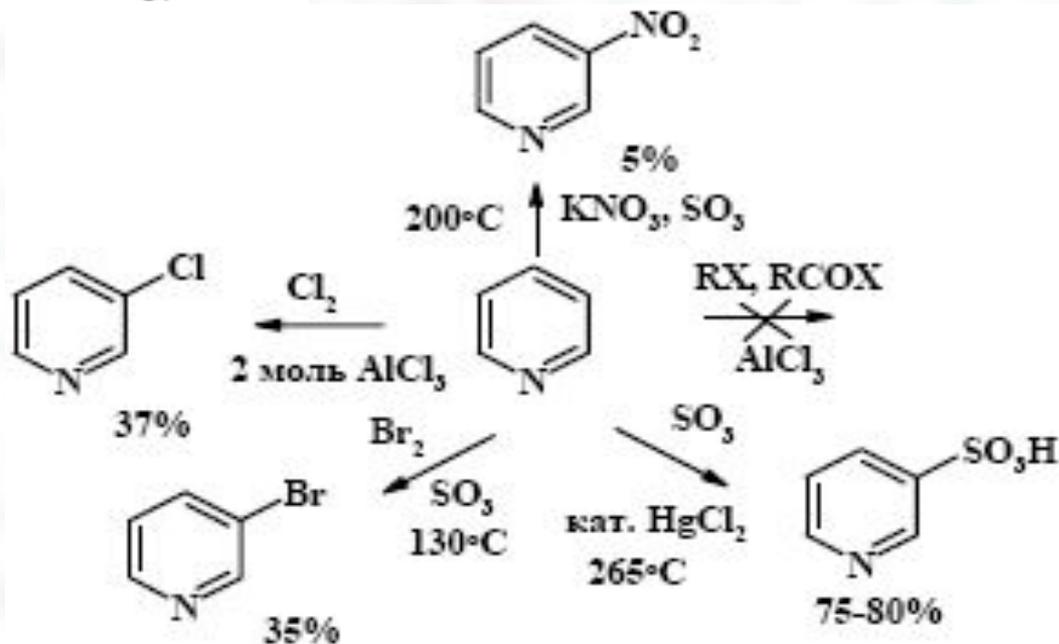
## Критерии ароматичности пиридина:

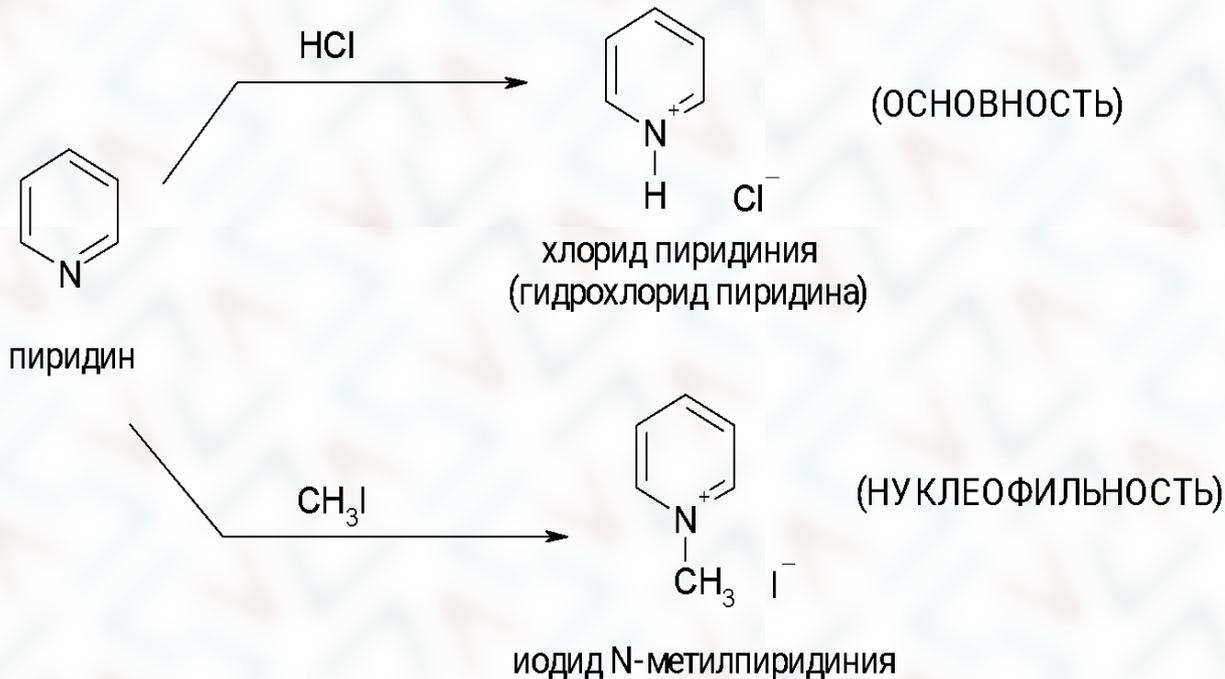
- Молекула пиридина имеет циклическое строение.
- Все атомы цикла, включая атом азота, находятся в состоянии  $sp^2$ -гибридизации. Образуют плоский  $\sigma$ -скелет молекулы.
- Существует единая  $\pi$ -электронная система ( **$\pi, \pi$ -сопряжение**) охватывающая все атомы цикла и включающая 6  $\pi$ -электронов (по одному электрону пять атомов углерода и пиридиновый атом азота). Системы с пиридиновым атомом азота называют  **$\pi$ -недостаточными**.

# Химические свойства пиридина



**Пиридин** наиболее типичный представитель ароматических гетероциклов проявляет большинство химических свойств ароматических соединений:  
легче вступает в реакции электрофильного замещения ( $S_E$ ), чем присоединения; его атомы углерода устойчивы к действию





Способность гетероциклических соединений подвергаться глубоким превращениям под действием кислот называют **ацидофобностью** (боязнью кислот), а сами гетероциклы - **ацидофобными**.

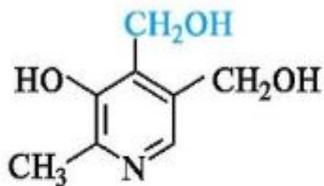


# Производные пиридина

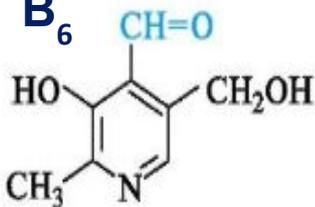
## Витамин В<sub>6</sub> и коферменты

### Витамин

В<sub>6</sub>



пиридоксин



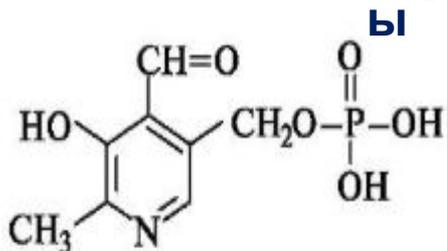
пиридоксаль



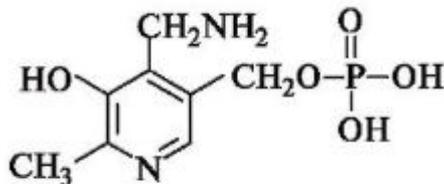
пиридоксамин

### Кофермент

ы



пиридоксальфосфат



пиридоксаминфосфат

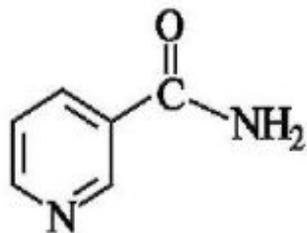
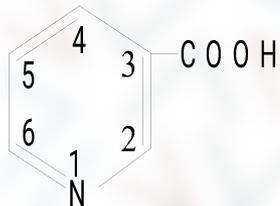
Важными производными пиридина являются некоторые витамины группы В, выступающие в роли структурных элементов коферментов.

Различные формы витамина В<sub>6</sub>, участвующие в виде фосфатов (коферментов) в реакциях биосинтеза α-аминокислот.

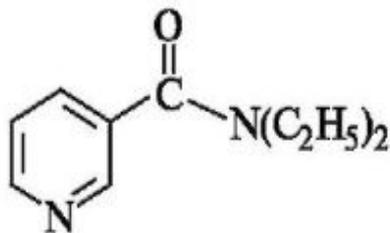
# Производные пиридина

## Никотиновая и изоникотиновая кислоты и их производные

### Никотиновая кислота



никотинамид



кордиамин

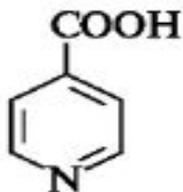
Никотиновая кислота и ее амид - **никотинамид** - известны как две формы **витамина РР**.

Никотинамид является составной частью ферментных систем, ответственных за окислительно-восстановительные процессы в организме, а диэтиламид никотиновой кислоты - **кордиамин** - служит эффективным стимулятором ЦНС.

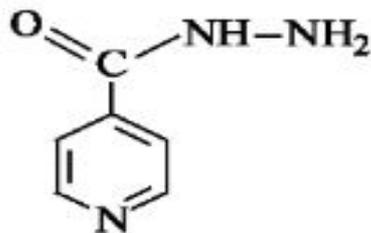


## Производные пиридина

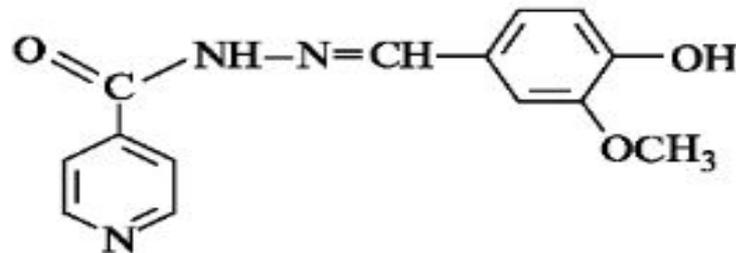
### Никотиновая и изоникотиновая кислоты и их производные



изоникотиновая  
кислота



изониазид  
(тубазид)

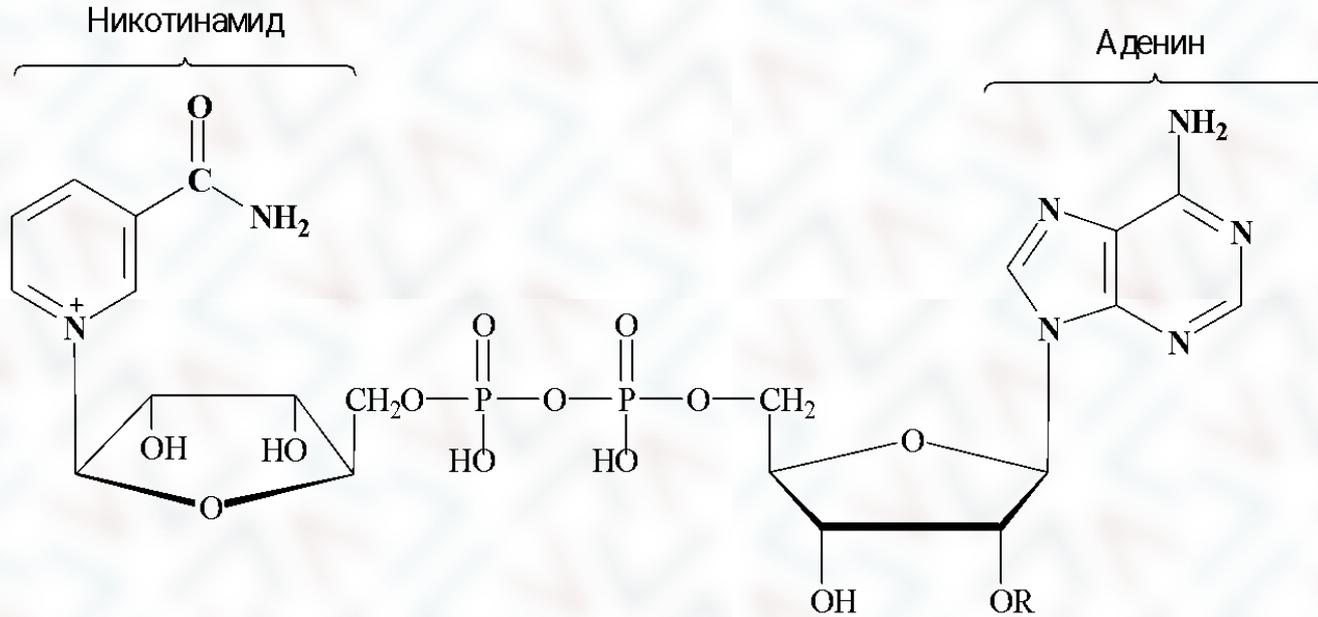


фтивазид

На основе изоникотиновой кислоты синтезированы противотуберкулезные средства изониазид (тубазид) - гидразид этой кислоты и его производное фтивазид.



# Никотинамиднуклеотиды- коферменты дегидрогеназ



R=H    Никотинамидадениндинуклеотид (НАД<sup>+</sup>)

R=PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>    Никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ<sup>+</sup>)



# Шестичленные гетероциклы с двумя гетероатомами

## Пиримидин

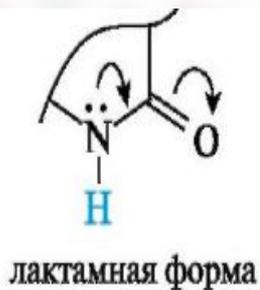


Производные пиримидина объединяются в группу **пиримидиновых оснований**.

К ним относятся урацил, тимин, цитозин.

Пиримидиновые основания являются структурными компонентами **нуклеиновых кислот (ДНК, РНК)**.

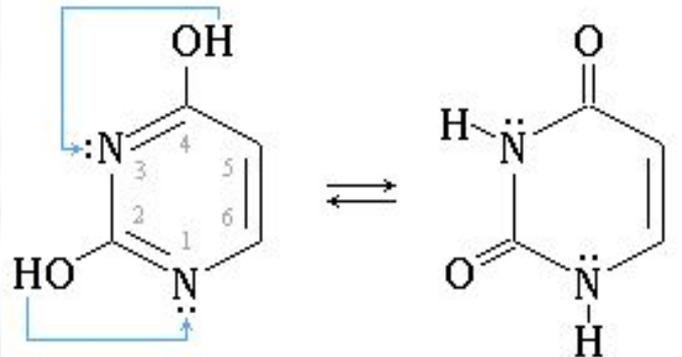
Для пиримидиновых оснований характерна **лактим-лактаманная таутомерия**.



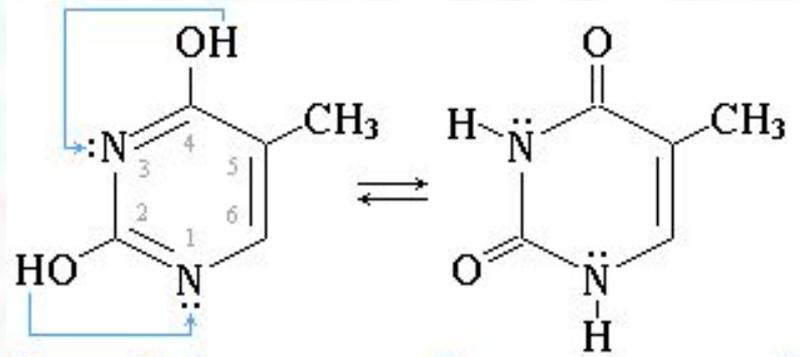
**Лактимы** - гидроксильные соединения, в которых гидроксигруппа стоит при атоме углерода с двойной связью.

Такие соединения крайне неустойчивы, в них происходит внутримолекулярная перегруппировка атомов: разрывается двойная связь, атом водорода из гидроксильной группы переходит к смежному по двойной связи атому азота.

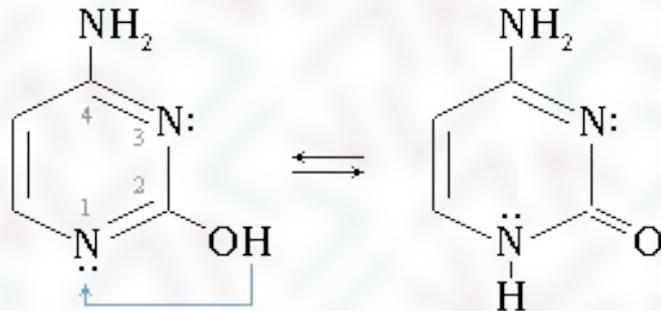
# Пиримидиновые основания



Урацил (2,4-дигидроксипиримидин)



Тимин (2,4-дигидрокси-5-метилпиримидин)

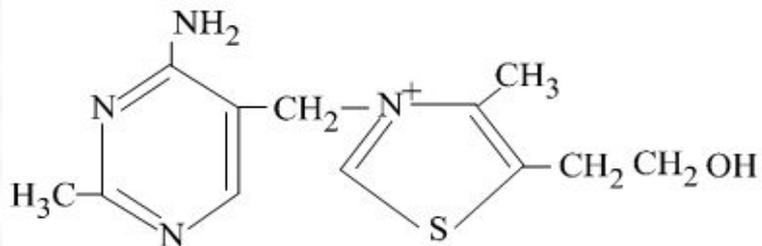


Цитозин (4-амино-2-гидроксипиримидин)

Пиримидиновые основания существуют практически только в лактамной форме.

# Производные пиридина

Тиамин (витамин В<sub>1</sub>)

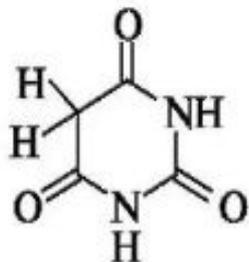


фрагмент  
пиридина

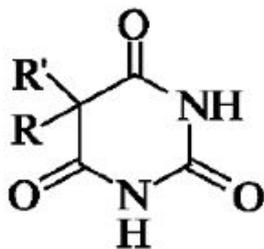
фрагмент  
тиазола

Витамин В<sub>1</sub> входит в структуру кофермента **кокарбоксилазы**.

**Барбитураты** - производные барбитуровой кислоты, у которых в положении 5 находятся два углеводородных заместителя. Снотворные средства - барбитал (веронал), фенобарбитал (люминал). Последний применяют в настоящее время как противосудорожное средство.



барбитуровая кислота



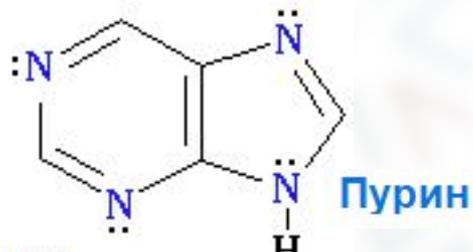
барбитал (R = R' = C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)  
фенобарбитал (R = C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R' = C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)

# Бициклические гетероциклы

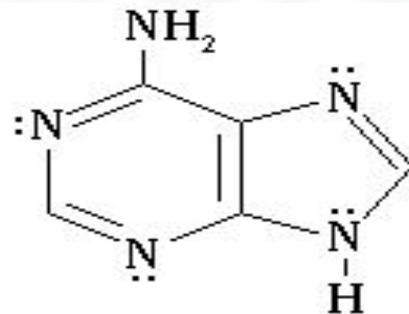
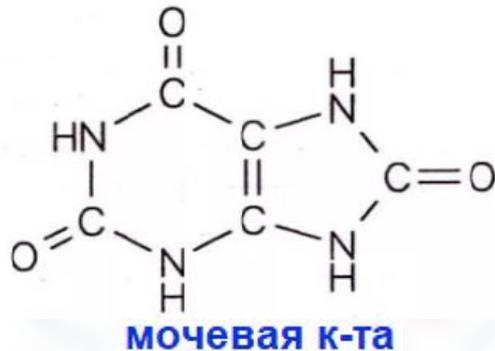
## Конденсированные системы гетероциклов



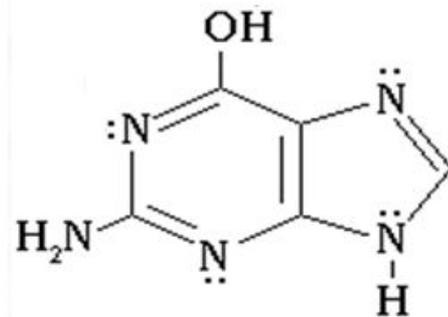
Пуриновое ядро является фрагментом, нуклеиновых кислот, нуклеотидных коферментов, АТФ, некоторых



ядро пириимидина      ядро имидазола



Аденин (6-аминопури́н)

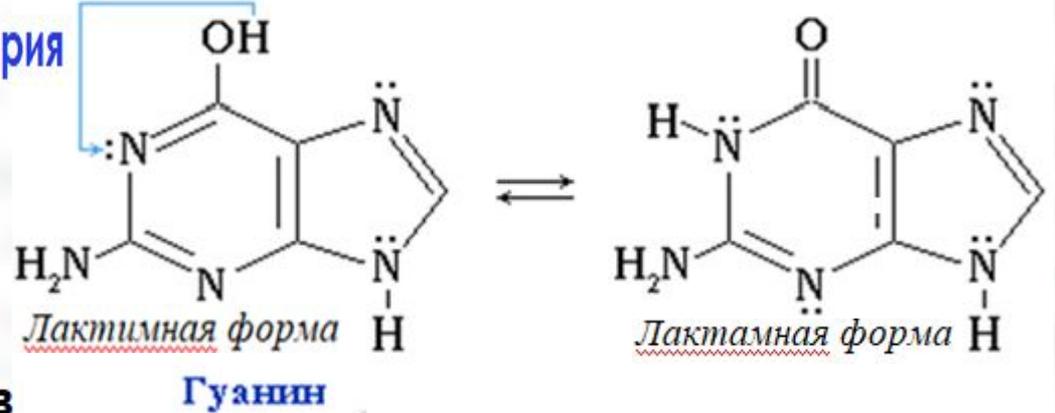


Гуани́н (2-амино-6-гидроксипури́н)

# Пуриновые азотистые основания

## Таутомерия

лактим-лактамная (кето-енольная) таутомерия



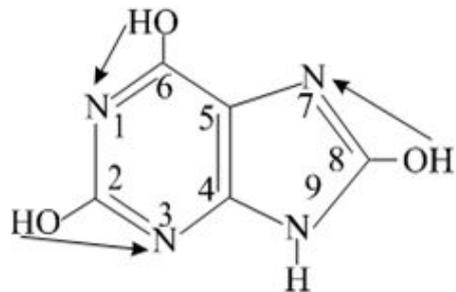
таутомерия азолов



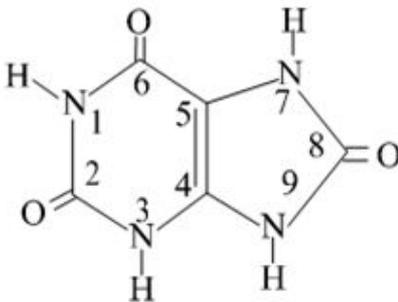
При метаболизме нуклеиновых кислот из пуриновых оснований в организме образуются гипоксантин, ксантин и мочевая кислота.

# Производные пурина

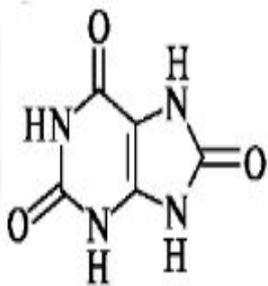
## Мочевая кислота



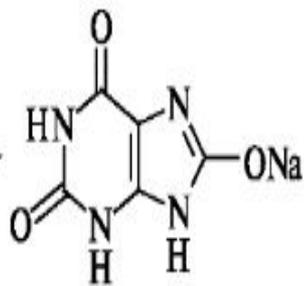
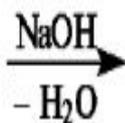
*Лактимная форма*



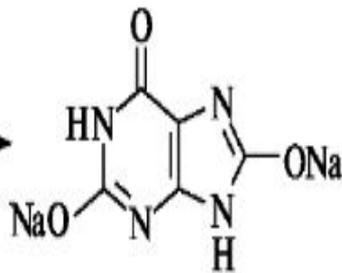
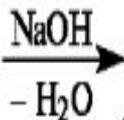
*Лактамная форма*



мочевая кислота



моноватриевая соль



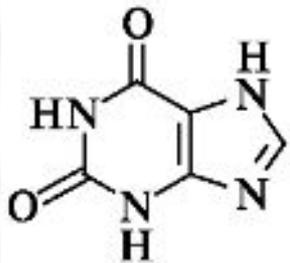
динатриевая соль

**Мочевая кислота** – конечный продукт метаболизма пуриновых оснований в организме. Выделяется с мочой в количестве **0,5-1 г в сутки**.

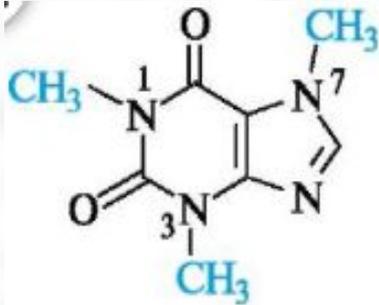
Мочевая кислота двухосновна, плохо растворима в воде, но легко растворяется в щелочах, образуя соли - **ураты**.

При некоторых нарушениях в организме они откладываются в суставах, например, при **подагре** а также в виде

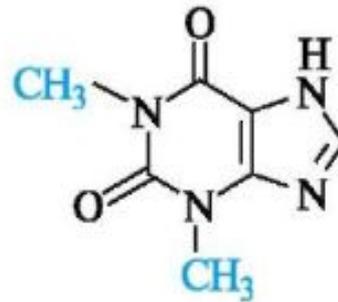
## Производные пурина - лекарства



ксантин



кофеин



теофиллин



теобромин

Метилированные в различной степени по атомам азота производные **ксантина** обычно относят к **алкалоидам**. Это кофеин (1,3,7-триметилксантин), теофиллин (1,3-диметилксантин) и теобромин (3,7-диметилксантин). Их природными источниками служат листья чая, зерна кофе, бобы какао.

Кофеин - эффективный возбудитель ЦНС, он стимулирует работу сердца.

Общестимулирующее действие теофиллина и теобромина выражено меньше, но они обладают довольно сильными мочегонными свойствами

# Нуклеиновые кислоты

## Состав НК

**Нуклеиновые кислоты (НК)** – это биополимеры – **полинуклеотиды**, полимерные цепи которых состоят из мономерных единиц

**нуклеотидов.**

**Нуклеотиды** - фосфорные эфиры нуклеозидов.

**Нуклеозиды** – гликозиды, образованные нуклеиновыми (азотистыми) основаниями и пентозой (рибозой или дезоксирибозой).

Н  
у  
к  
л  
е  
о  
т  
и  
д  
ы

**Каждый нуклеотид включает:**

- Азотистое гетероциклическое основание (пуриновое или пиримидиновое)
- Углеводный компонент (остаток пентозы – рибозы или дезоксирибозы)
- Фосфатную группу (остаток фосфорной кислоты)

Н  
у  
к  
л  
е  
о  
з  
и  
д  
ы



В зависимости от углеводного компонента различают:

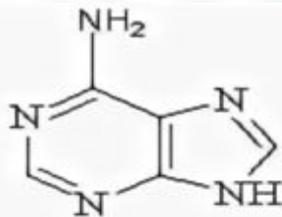
- **рибонуклеотиды** – содержащие остаток **рибозы** (структурные звенья **РНК**).
- **дезоксирибонуклеотиды** – содержащие остаток **дезоксирибозы** (структурные звенья **ДНК**).

<b>РНК</b>	<b>ДНК</b>
урацил	тимин
цитозин	цитозин
аденин	аденин
гуанин	гуанин

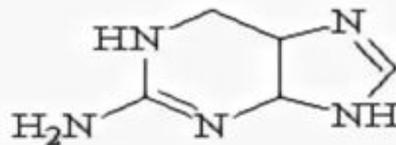
**ДНК** содержатся в основном в ядрах клеток, **РНК** находятся преимущественно в **рибосомах**, а также **протоплазме** клеток. **РНК** непосредственно участвуют в **биосинтезе белка**.



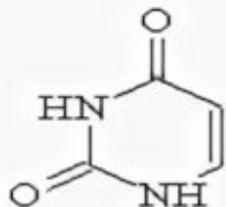
# Нуклеиновые основания (ДНК,РНК)



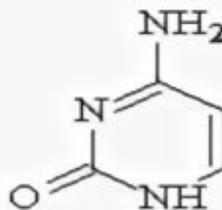
аденин (А)  
6-аминопурин  
РНК+ДНК



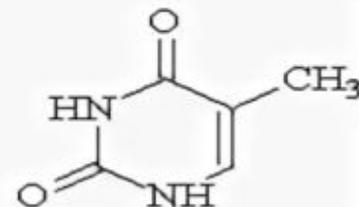
гуанин (Г)  
6-аминопурин  
РНК+ДНК



урацил (У)  
2,4-диоксопиримидин  
РНК



цитозин (С)  
2-оксо-4-аминопиримидин  
ДНК+РНК

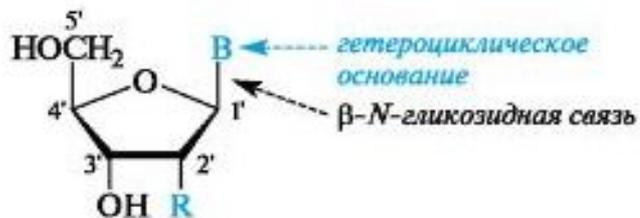


Тимин (Т)  
(5-метил-2,4-диоксопиримидин)  
ДНК

# Нуклеозиды

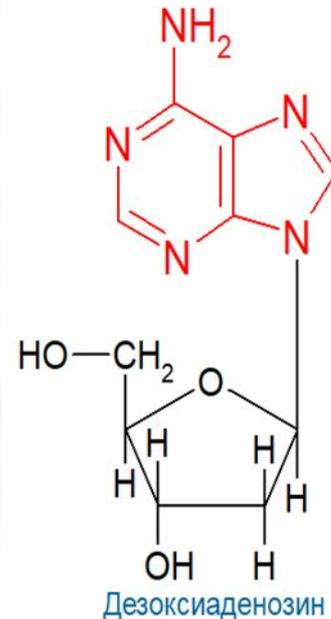
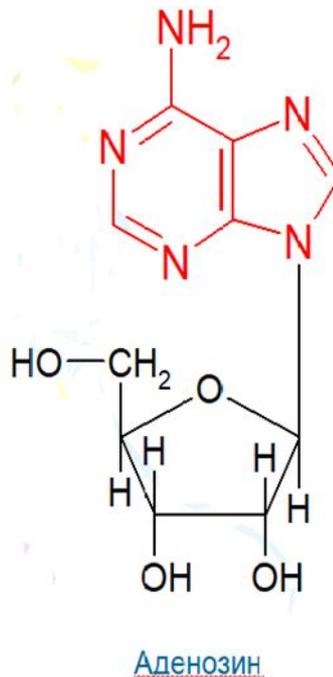
## Гидролиз нуклеозидов

### ОБЩАЯ СТРУКТУРА НУКЛЕОЗИДОВ

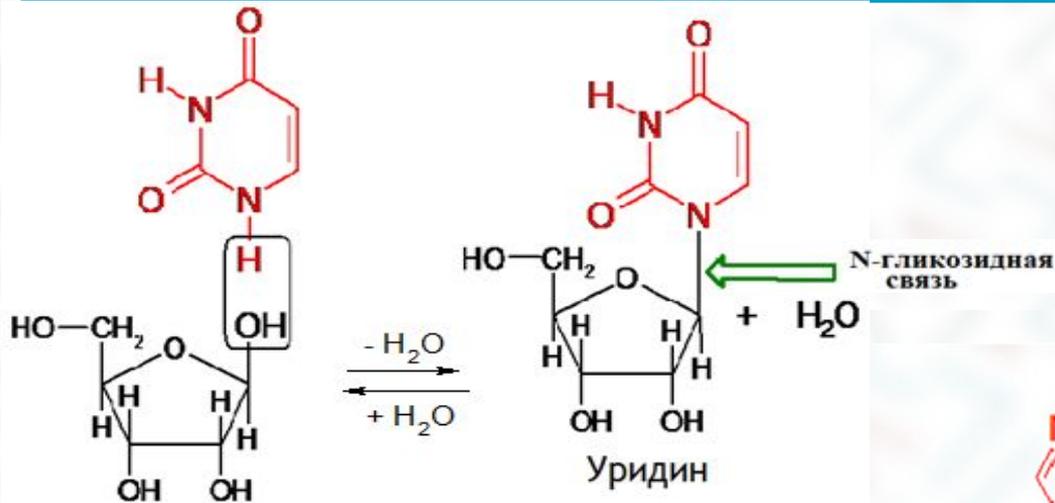


### Азотистые основания и соответствующие им нуклеозиды

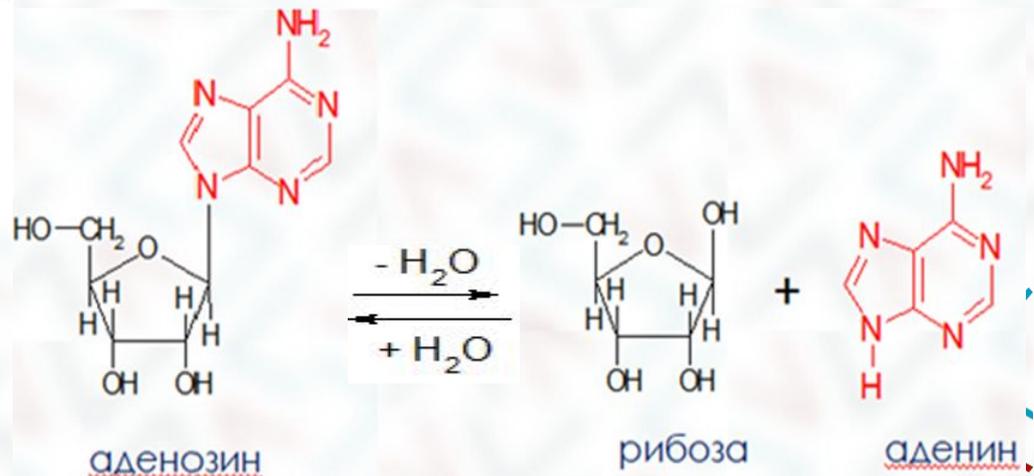
АО	Нуклеозиды РНК	Нуклеозиды ДНК
<u>Аденин</u>	<u>Аденозин</u>	<u>Дезоксиаденозин</u>
<u>Гуанин</u>	<u>Гуанозин</u>	<u>Дезоксигуанозин</u>
<u>Цитозин</u>	<u>Цитидин</u>	<u>Дезоксицитидин</u>
<u>Урацил</u>	<u>Уридин</u>	-
<u>Тимин</u>	-	<u>Тимидин</u>



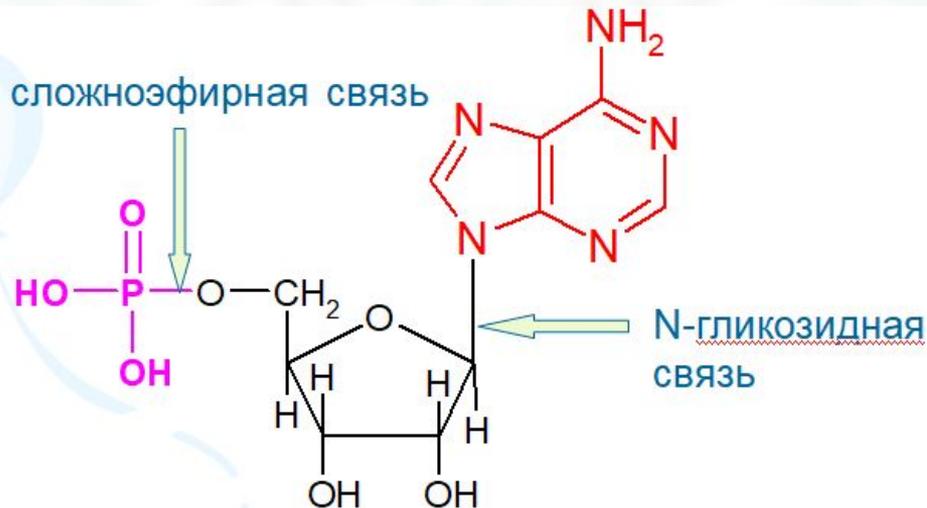
# Нуклеозиды: образование и гидролиз



Нуклеозиды в кислой среде гидролизуются до гетероциклических оснований и углеводов.

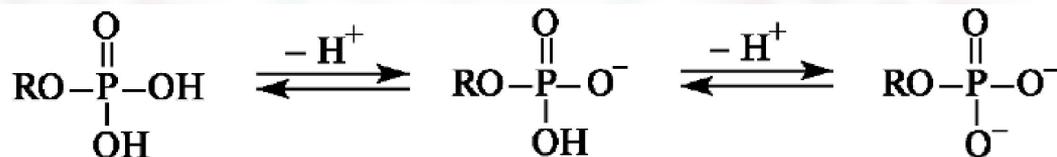


# Нуклеотиды – фосфорные эфиры нуклеозидов



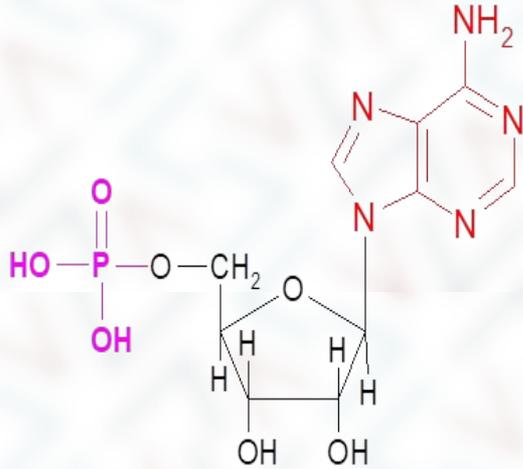
Фосфорная кислота присоединяется к **5'-атому углерода пентозы**, образуя **сложно-эфирную связь**.

За счет фосфатного остатка нуклеотиды проявляют свойства двухосновной кислоты и в **физиологических условиях** при pH ~7 находятся в полностью **ионизированном состоянии**.

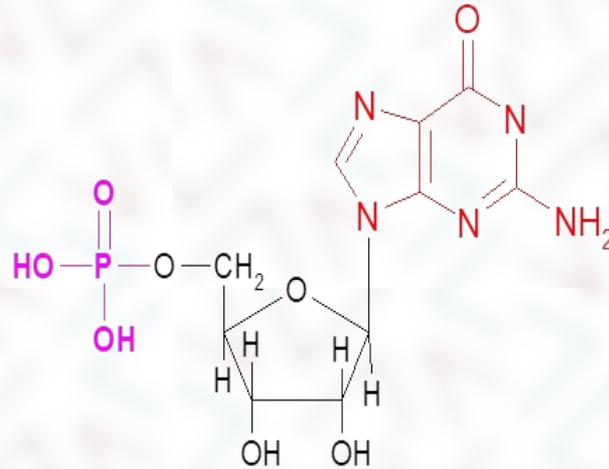


R – остаток нуклеозида

# Номенклатура нуклеотидов



Аденозин-5'-фосфат  
Аденозинмонофосфат (АМФ)  
5'-адениловая кислота



Гуанозин-5'-фосфат  
Гуанозинмонофосфат (ГМФ)  
5'-гуаниловая кислота

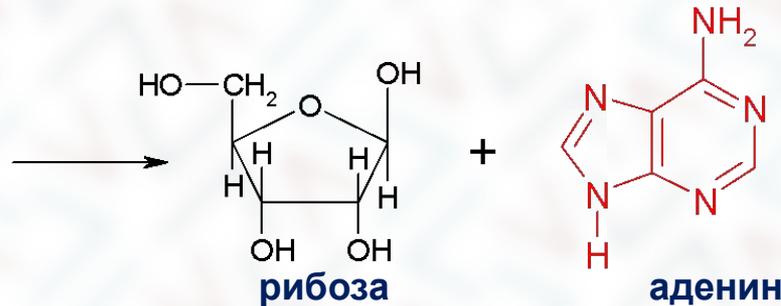
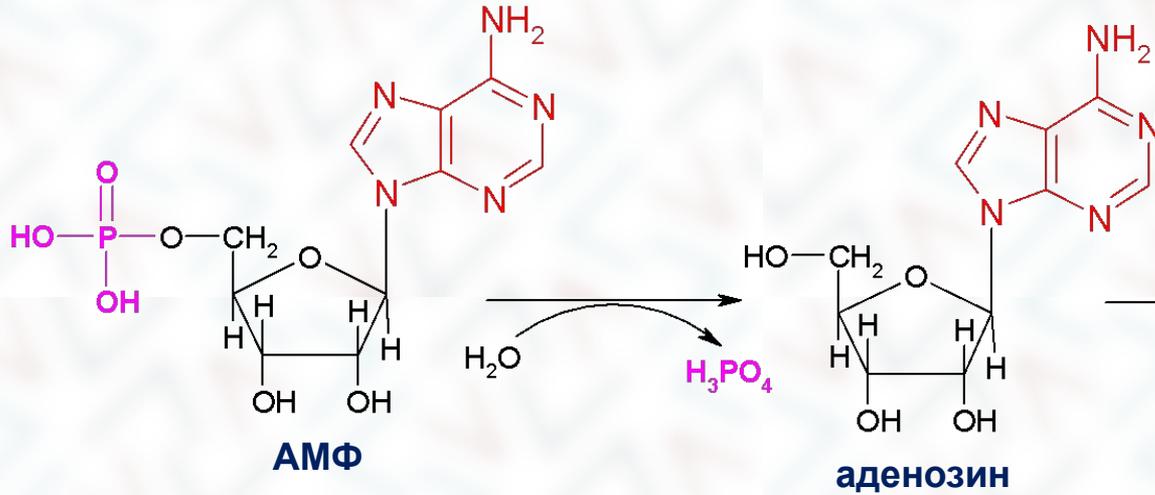
## Два вида названий:

1. наименование нуклеозида с указанием положения в нем фосфатного остатка;
2. к названию остатка пиримидинового основания добавляется сочетание «-иловая кислота» с указанием положения в нем фосфатного остатка.

В биохимической литературе – названия как монофосфатов (аденозинмонофосфат) с отражением этого признака в сокращенном коде (АМФ).



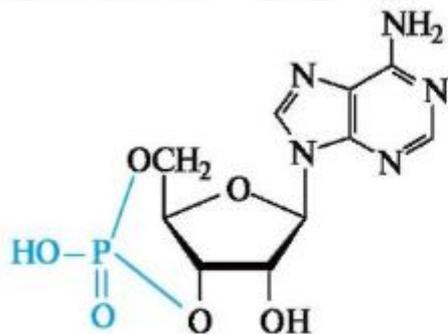
# Гидролиз нуклеотидов



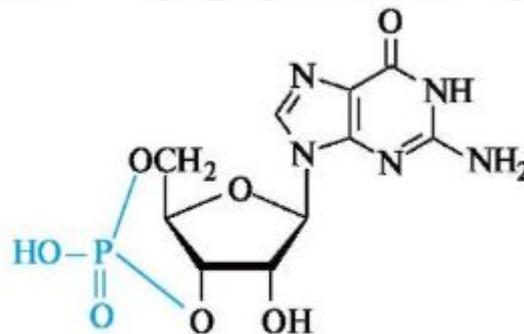
Нуклеотиды способны гидролизоваться. Гидролизу подвергаются как N-гликозидная, так и сложноэфирная связи. В зависимости от этого могут образовываться или нуклеозиды или компоненты нуклеотида.



# Циклофосфаты нуклеозидов



аденозин-3',5'-фосфат (сАМФ)

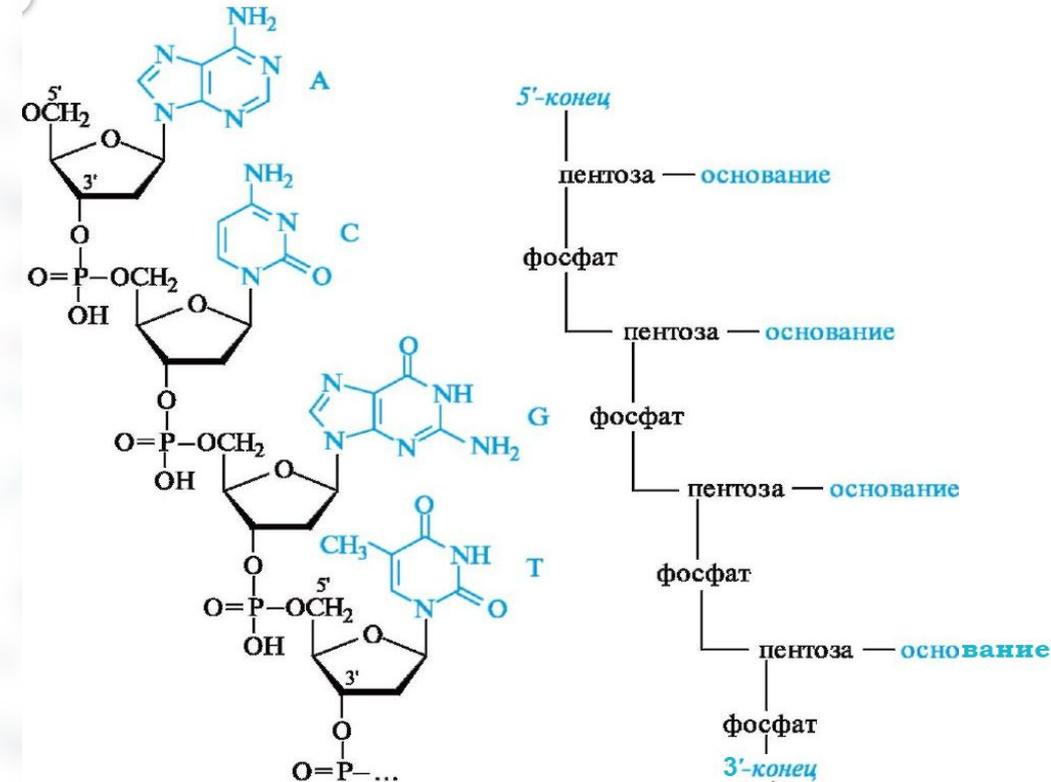


гуанозин-3',5'-фосфат (сГМФ)

К ним относятся нуклеотиды, у которых одна молекула фосфорной кислоты этерифицирует одновременно две гидроксильные группы углеводного остатка. Практически во всех клетках присутствуют два нуклеозидциклофосфата – аденозин-3',5'- циклофосфат (цАМФ) и гуанозин-3',5'-циклофосфат (цГМФ). цАМФ активирует ферменты – протеинкиназы, которые катализируют реакции фосфорилирования различных белков с участием АТФ.

# Структура нуклеиновых кислот

## Первичная структура



**Первичная структура –**  
последовательность нуклеотидных  
звеньев, соединенных с помощью  
3'-5'-фосфадиефирных связей.

Фосфатная группа образует две  
сложноэфирные связи:  
с **С-3'** предыдущего и с **С-5'**  
последующего нуклеотидных  
звеньев.

Принцип построения цепи РНК такой  
же, как и у ДНК, с двумя  
исключениями: пентозным остатком в  
**РНК** служит  
**D-рибоза**, а в наборе  
гетероциклических оснований  
используется не тимин,

Важной характеристикой нуклеиновых кислот служит набор и количественное отношение нуклеотидных компонентов. Нуклеотидный состав устанавливают путем исследования продуктов гидролитического расщепления нуклеиновых кислот.



ДНК и РНК различаются поведением в условиях щелочного и кислотного гидролиза. ДНК устойчивы к гидролизу в щелочной среде. РНК легко гидролизуются в мягких условиях в щелочной среде до нуклеотидов, которые, в свою очередь, способны в щелочной среде отщеплять остаток фосфорной кислоты с образованием нуклеозидов. Нуклеозиды в кислой среде гидролизуются до гетероциклических оснований и углеводов.

# Структура нуклеиновых кислот

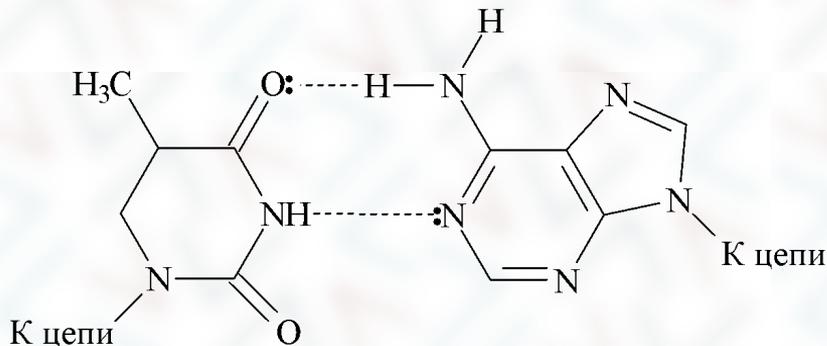
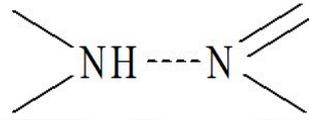
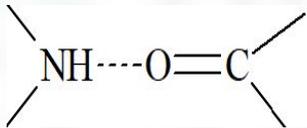
## Вторичная структура

**Вторичная структура –**  
пространственная организация  
полинуклеотидной цепи.

- Вторичная структура ДНК – **двойная правозакрученная спираль** (Уотсон, Крик, 1953)
- Две цепи **антипараллельны** друг другу.
- Цепи связаны **водородными связями по принципу комплементарности**



# Структура нуклеиновых кислот: комплементарность оснований



Тимин

Аденин



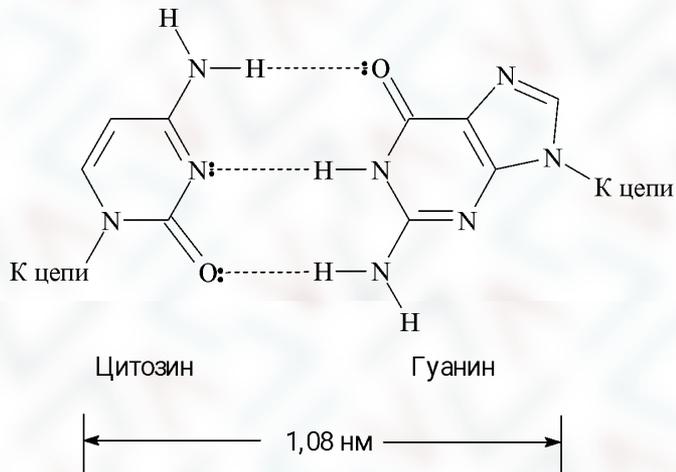
Пуриновые и пиримидиновые основания **направлены внутрь спирали ДНК.**

Между пуриновым основанием одной цепи и пиримидиновым основанием другой цепи возникают водородные связи, которые образуются между **аминогруппой одного основания и карбонильной группой другого -NH...O=C-**, а также между **амидным и иминным атомами азота -NH...N-**.

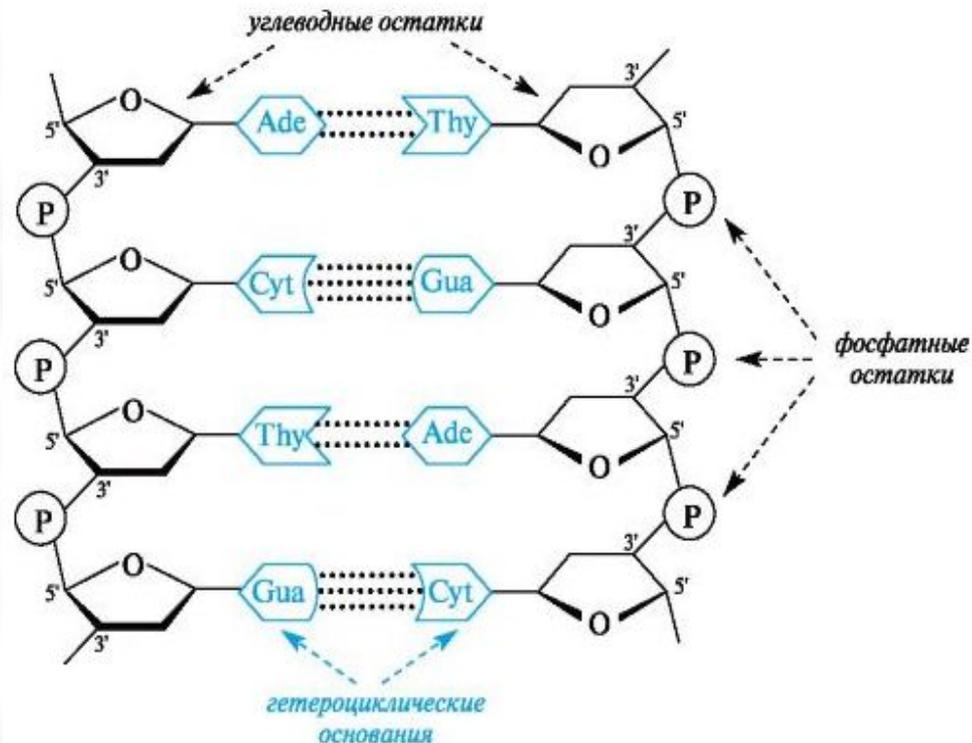
Между **аденином** и **тимином** образуются **две водородные связи**, и эти основания составляют комплементарную пару, т. е. **аденину в одной цепи будет**

соответствовать тимин в другой цепи

# Структура нуклеиновых кислот: комплементарность оснований

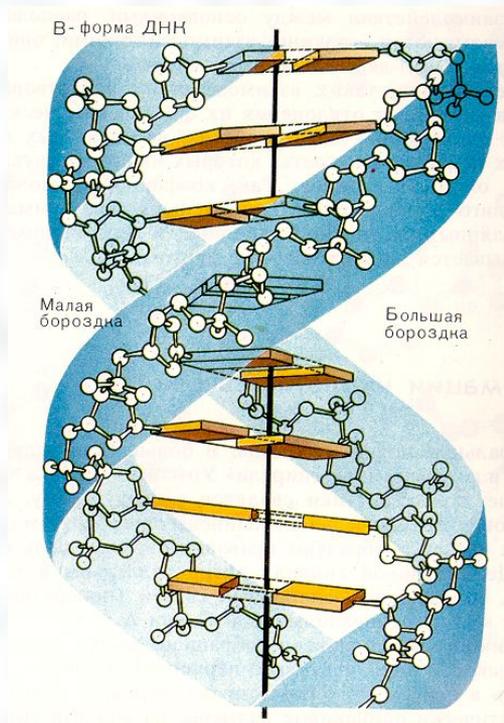


Две цепи ДНК, образующие двойную спираль, **не идентичны**, но **комплементарны** между собой. Это означает, что **первичная структура**, т. е. нуклеотидная последовательность, **одной цепи предопределяет первичную структуру второй цепи**.



# Структура нуклеиновых кислот

## Вторичная структура

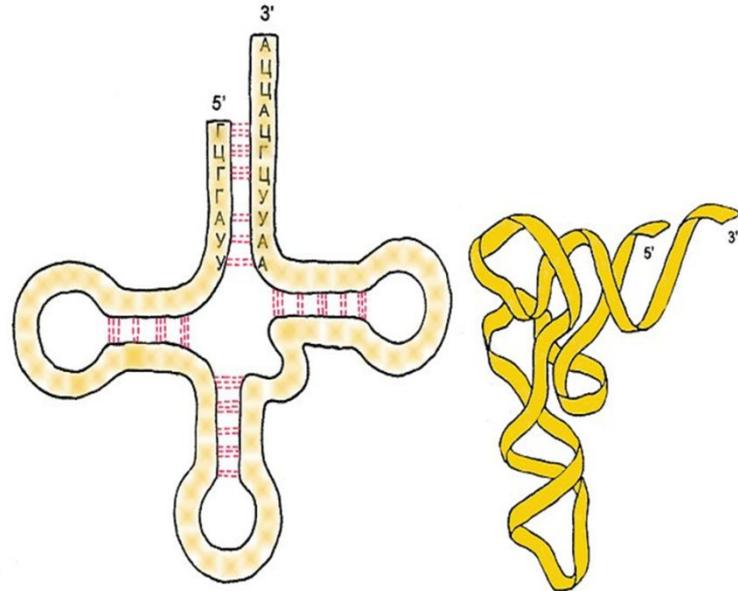


### МУТАЦИИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

1. Сдвиг таутомерного равновесия, в результате которого образуются необычные комплементарные пары:  
Г --- Т в ДНК вместо Г --- Ц.
2. Воздействие химических факторов, в результате которого происходит дезаминирование А и нарушается комплементарность пары А --- Т.
3. Воздействие бензпирена (курение!!!), который взаимодействует с Г и входит в структуру ДНК, вызывая образование раковых клеток.



# Вторичная структура НК



Структура молекулы тРНК с водородными связями, похожая на клеверный лист. Первичная последовательность указана только для части молекулы

Третичная структура

**ДНК** - «двойная спираль» в виде линейной, кольцевой и компактных клубковых форм.

**т-РНК** – «лист клевера», 15% всей РНК.

**м (и)-РНК** - наиболее высокомолекулярная, 2% РНК.

**р-РНК** – 80% всей РНК рибосомы, в ней осуществляется биосинтез белка.

**Малые – РНК** (роль выясняется).



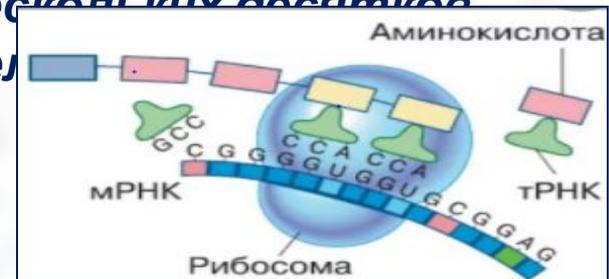
# Биологическая роль нуклеиновых кислот



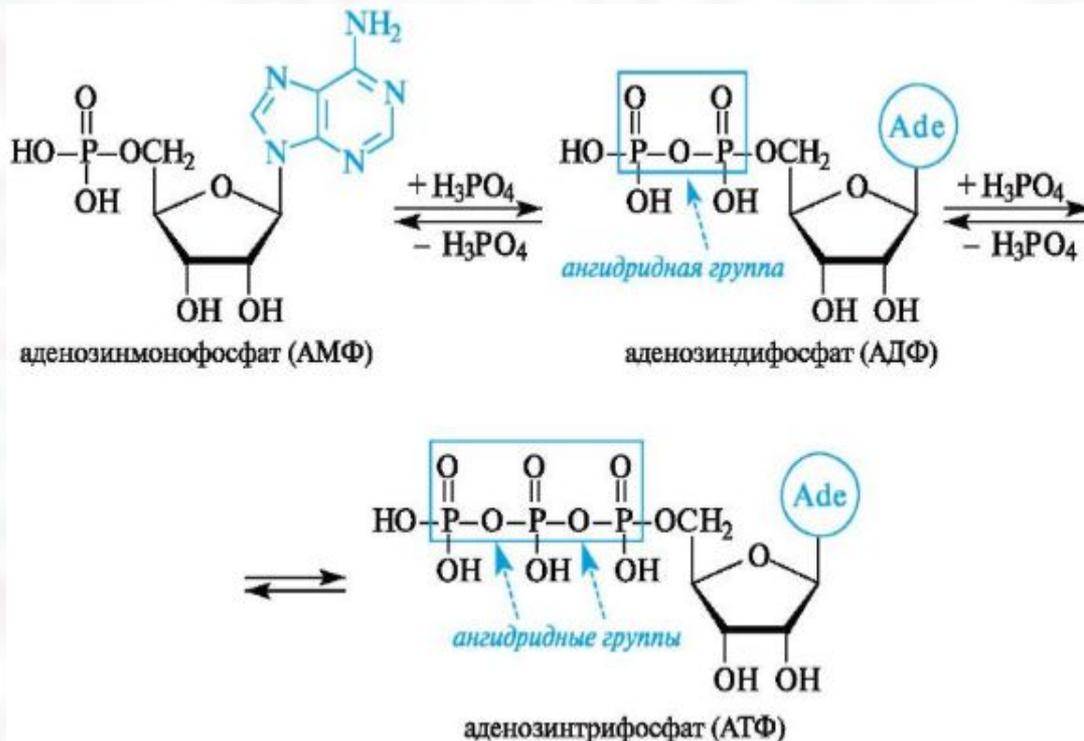
- 1. и(м)- РНК** считывает и переносит генетическую информацию от ДНК, содержащейся в хромосомах, к рибосомам, где происходит синтез белка со строго определенной последовательности.
- 2. т-РНК** переносит АК к рибосомам, где они соединяются аминокислот пептидными связями в определенной последовательности, которую задает м-РНК.

- 3. Рибосомная РНК (р-РНК)** непосредственно участвует в синтезе белков в рибосомах.

**Рибосомы** — это сложные надмолекулярные структуры, которые состоят из 4-х р-РНК и нескольких десятков белков.



# Нуклеотидные коферменты: Нуклеозидполифосфаты



Нуклеотиды участвуют в биохимических процессах в роли **коферментов**, т. е. веществ, тесно связанных с ферментами и необходимых для проявления ими **ферментативной активности**.

## Коферменты:

- Нуклеозидполифосфаты (АТФ, АДФ, АМФ)
- Никотинамиднуклеотиды (НАД<sup>+</sup>, НАДФ<sup>+</sup>, НАДН, НАДФН)

# Строение АТФ, ее биологическая роль

**АТФ – макроэргическое соединение**



**АТФ – источник энергии** для многих биологических процессов: биосинтеза белка, ионного транспорта, сокращения мышц, электрической активности нервных клеток и др.

Энергия, необходимая для этих процессов, обеспечивается **гидролизом** :

$$\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} = \text{АДФ} + \text{Ф}_\text{H} \quad \Delta G = -25 \div -40 \text{ кДж/моль}$$

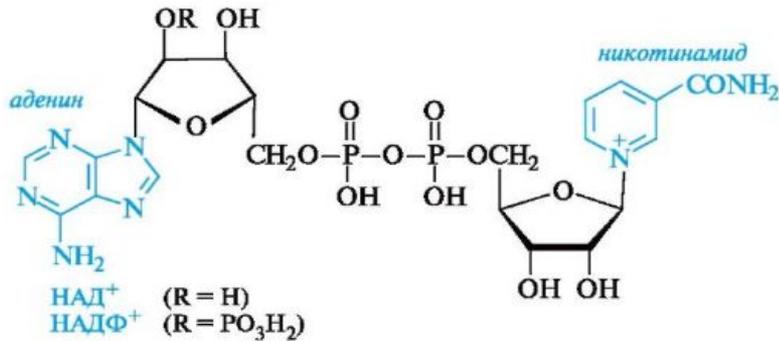
$$\text{АДФ} + \text{H}_2\text{O} = \text{АМФ} + \text{Ф}_\text{H} \quad \Delta G = -30 \text{ кДж/моль}$$

С участием **АТФ** и **АДФ** в организме осуществляется важнейший биохимический процесс - **перенос фосфатных групп**. Например, образование сложных эфиров (фосфатов) - типичная реакция в **метаболизме углеводов**. Все стадии **гликолиза** (превращения глюкозы в пируват) осуществляются только в фосфатной форме.

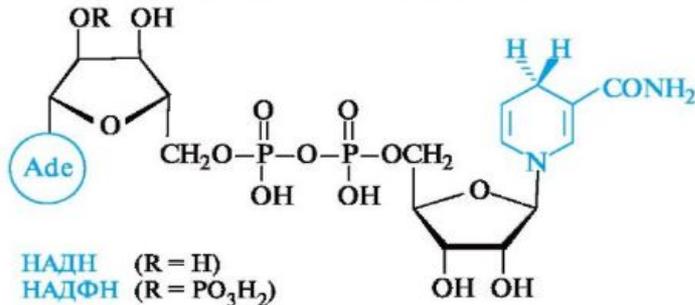
# Нуклеотидные коферменты:

## Никотинамиднуклеотиды- коферменты дегидрогеназ

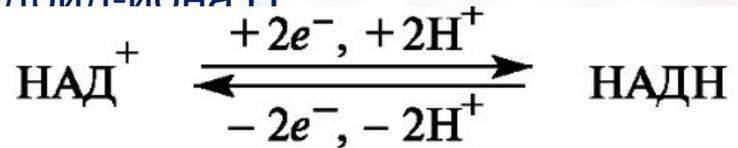
НИКОТИНАМИДНЫЕ КОФЕРМЕНТЫ НАД<sup>+</sup> И НАДФ<sup>+</sup>  
(окисленная форма)

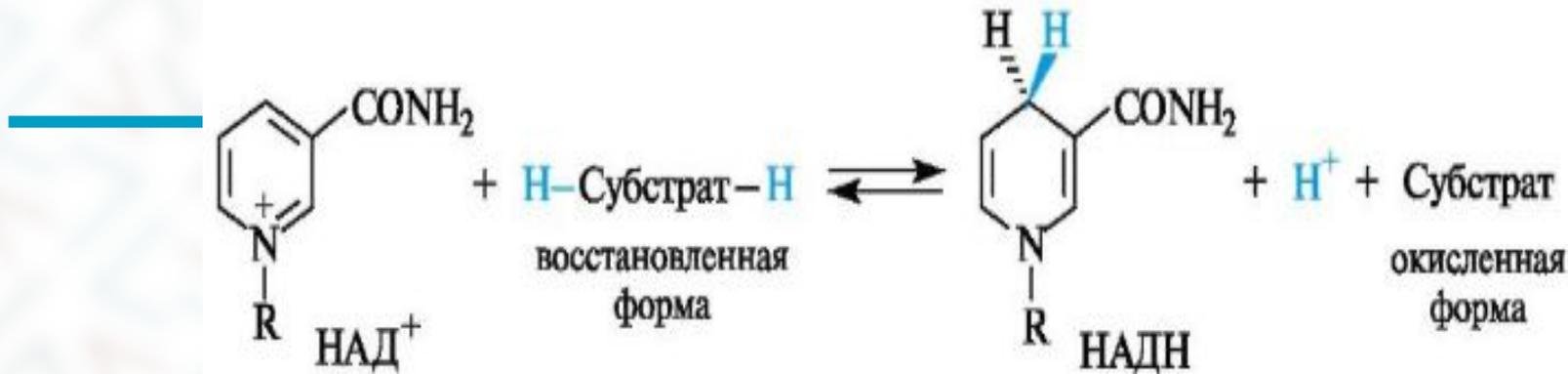


НИКОТИНАМИДНЫЕ КОФЕРМЕНТЫ НАДН И НАДФН  
(восстановленная форма)



В ходе биологического дегидрирования (ОВР) субстрат теряет два атома водорода, т. е. два протона и два электрона (2H<sup>+</sup>, 2e<sup>-</sup>) или протон и гидрид-ион (H<sup>+</sup> и H<sup>-</sup>), а коферменты НАД<sup>+</sup> и НАДФ<sup>+</sup> обычно рассматриваются как акцепторы гиллил-иона Н<sup>-</sup>





В реакции окисления ароматический пиридиновый цикл переходит в неароматический 1,4-дигидропиридиновый цикл.

В связи с потерей ароматичности возрастает энергия НАДН по сравнению с НАД<sup>+</sup>. Таким способом НАДН запасает энергию, которая затем расходуется в других биохимических процессах, требующих энергетических затрат.

Типичными примерами биохимических реакций с участием НАД<sup>+</sup> служат окисление спиртовых групп в альдегидные (например, превращение ретинола в ретиналь),

а с участием НАДН - восстановление карбонильных групп в спиртовые

# Нуклеотидные коферменты

Реакция восстановления ПВК в молочную кислоту – завершающая реакция **анаэробного гликолиза** (окисление глюкозы в отсутствие кислорода).

Происходит при участии фермента – лактатдегидрогеназы и восстановленного кофермента НАДН.





***БЛАГОДАРЮ  
ЗА ВНИМАНИЕ***

