



**ОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ
АКАДЕМИЯ
КАФЕДРА ХИМИИ**

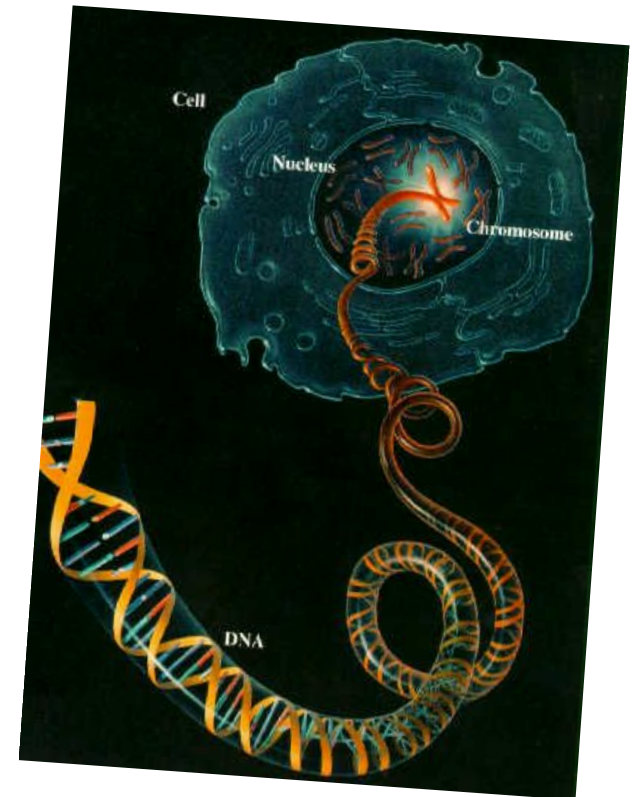
Нуклеиновые кислоты

- 1. Нуклеозиды.**
- 2. Нуклеотиды.**
- 3. АТФ.**
- 4. ДНК.**
- 5. РНК.**
- 6. Коферменты NAD и FAD.**

**Лектор: Ирина Петровна Степанова, доктор
биологических наук, профессор, зав. кафедрой
ХИМИИ**

Медико-биологическое значение темы

Нуклеиновые кислоты (от лат. *nucleus* – ядро) - носители, хранители и передатчики генетической информации в живой природе.



Медико-биологическое значение темы

Интерес к нуклеиновой кислоте как к лекарственному средству укладывается в столетний период.

К препаратам животного происхождения относят: «Ферровир», «Полидан», «Натрия нуклеоспермат».

Область применения этих препаратов весьма обширна: кардиология, онкология, урология, пульмонология, хирургия и т.д.



Медико-биологическое значение темы



Наиболее известным препаратом этой группы является «Деринат» - натриевая соль низкомолекулярной нативной ДНК, полученной из молок лососевых рыб.



Медико-биологическое значение темы

Препарат «Солкосерил» представляет собой депротеинизированный гемодиализат крови здоровых молочных телят. Содержит широкий спектр естественных низкомолекулярных веществ, т.ч. нуклеозидов и нуклеотидов.



**Активатор
обмена веществ в
тканях.**

Медико-биологическое значение темы

Препараты микробного происхождения:



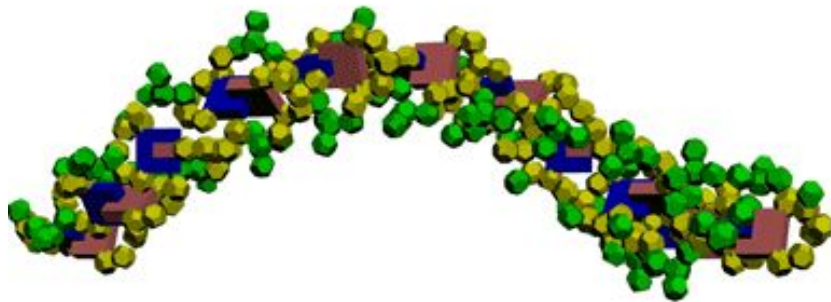
«Натрия нуклеинат» – смесь натриевых солей нуклеиновых кислот, получаемой гидролизом дрожжей и последующей очисткой. Обладает широким спектром биологической активности.

«Ридостин» - препарат рибонуклеиновых кислот, полученный из лизата дрожжей - препарат, нормализующий метаболизм миокарда, уменьшающий гипоксию тканей.



Медико-биологическое значение темы

**Синтетические полинуклеотиды
представляют собой
искусственно синтезируемые
РНК.**



**Эти лекарственные
средства способны
моделировать
первичный и
вторичный иммунные
ответы.**



Медико-биологическое значение темы

Имеется также множество препаратов, основанных на составных компонентах нуклеиновых кислот. Синтетические аналоги производных пиримидина и пурина часто используются в терапии инфекционных и онкологических заболеваний.



Противогерпетические препараты «Ацикловир» и «Ганцикловир» действуют на цитомегаловирус. «Зидовидин» применяется при лечении ВИЧ-заболеваний, «Ретибол» – при вирусном гепатите С.

Медико-биологическое значение темы

**«Триазавирин» -
синтетический аналог
пуриновых нуклеозидов
(гуанина) с выраженным
противовирусным
действием.**



**Обладает широким спектром противовирусной
активности в отношении РНК- и ДНК-содержащих
вирусов (преимущественно РНК).**

Медико-биологическое значение темы

Некоторые фармацевтические компании выпускают биологически активные добавки, содержащие нуклеиновые кислоты. Например, «Биостим», «ДНК-С», «ДНКaВИТ» и др.



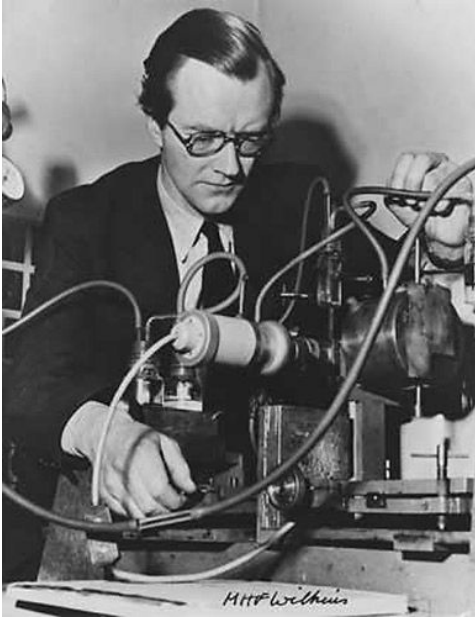
История открытия нуклеиновых кислот



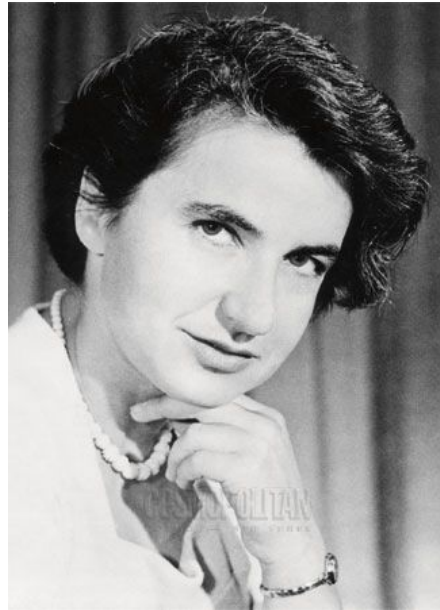
Нуклеиновые кислоты впервые обнаружены в 1889 г. биохимиком Ф. Мишером в клетках богатым ядерным материалом (лейкоцитах).

Иоган Фридрих Мишер и его семья

История открытия нуклеиновых кислот



Морис Уилкинс



Розалин Франклин



Эрвин Чаргафф

Рентгеноструктурный анализ ДНК был осуществлен М. Уилкинсом и Р. Франклин.

Э. Чаргафф установил каким закономерностям подчиняется содержание нуклеотидов в ДНК.

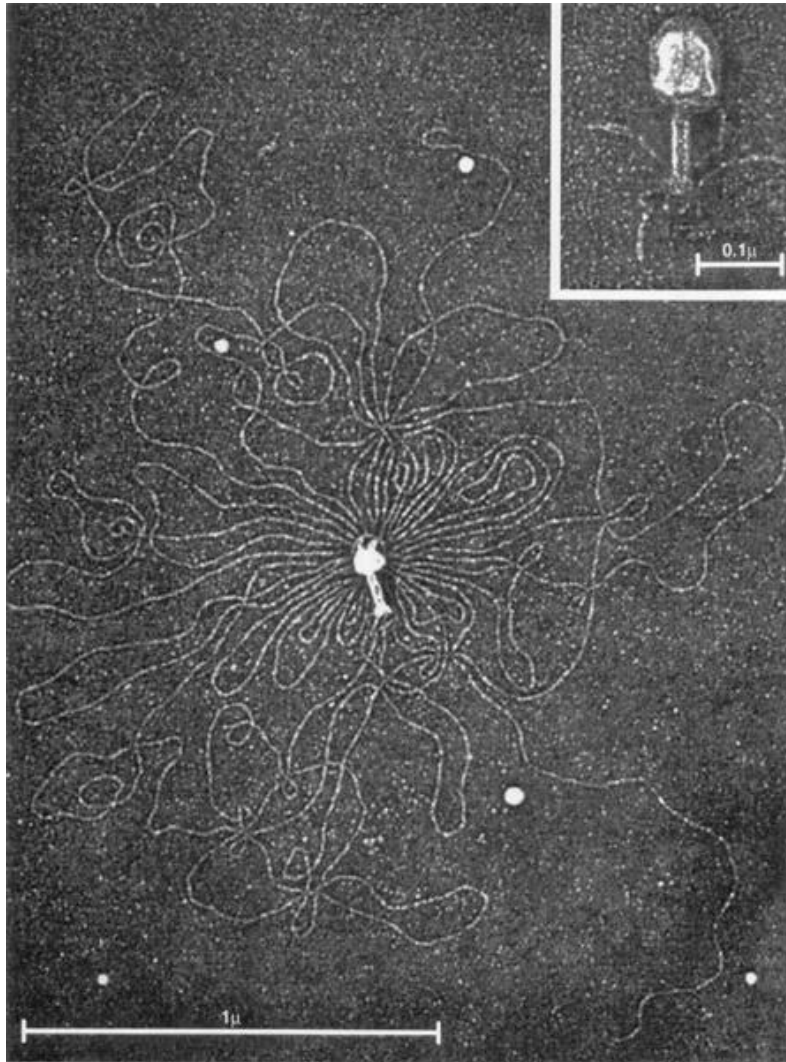
История открытия нуклеиновых кислот



Структуру нуклеиновых кислот впервые установили американский биолог Дж. Уотсон и английский физик Ф. Крик в 1953 г.



Френсис Крик и Джеймс Уитсон рядом со своей моделью ДНК



ДНК бактериофага Т2

ДНК была высвобождена из головки фага с помощью осмотического шока. В верхнем правом углу - микрофотография целой частицы фага. Снимки 1962 г.

Нуклеиновые кислоты

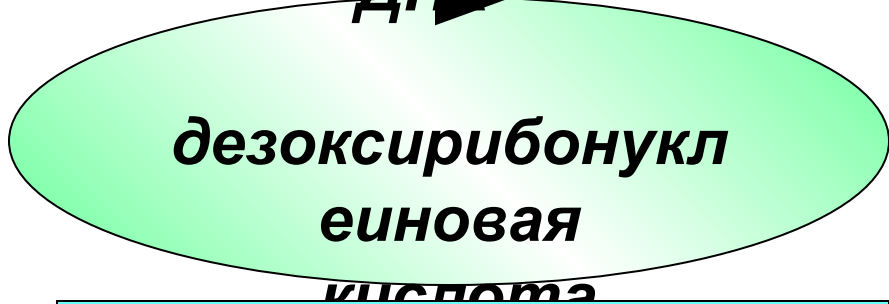
Нуклеиновые кислоты - полинуклеотиды, полимерные цепи которых состоят из мономерных единиц моноклеотидов.

Нуклеиновые кислоты – это высокомолекулярные соединения, молекулярная масса которых составляет от 25 тыс. до 1 млн. ед.

НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

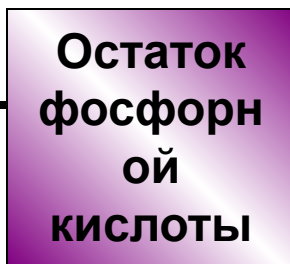
ДНК

МОНОМЕРЫ - НУКЛЕОТИДЫ



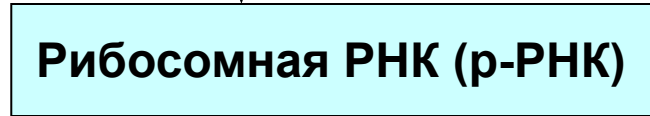
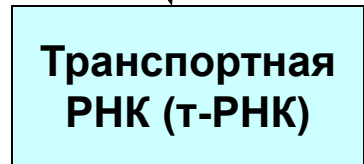
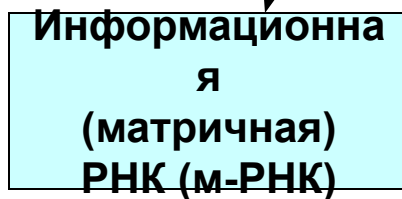
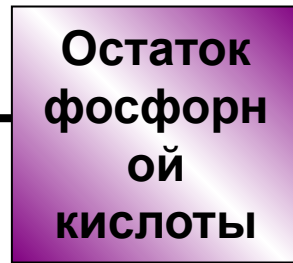
Состав нуклеотида в ДНК

- Азотистые основания:**
Аденин (А)
Гуанин (Г)
Цитозин (Ц)
Тимин (Т)



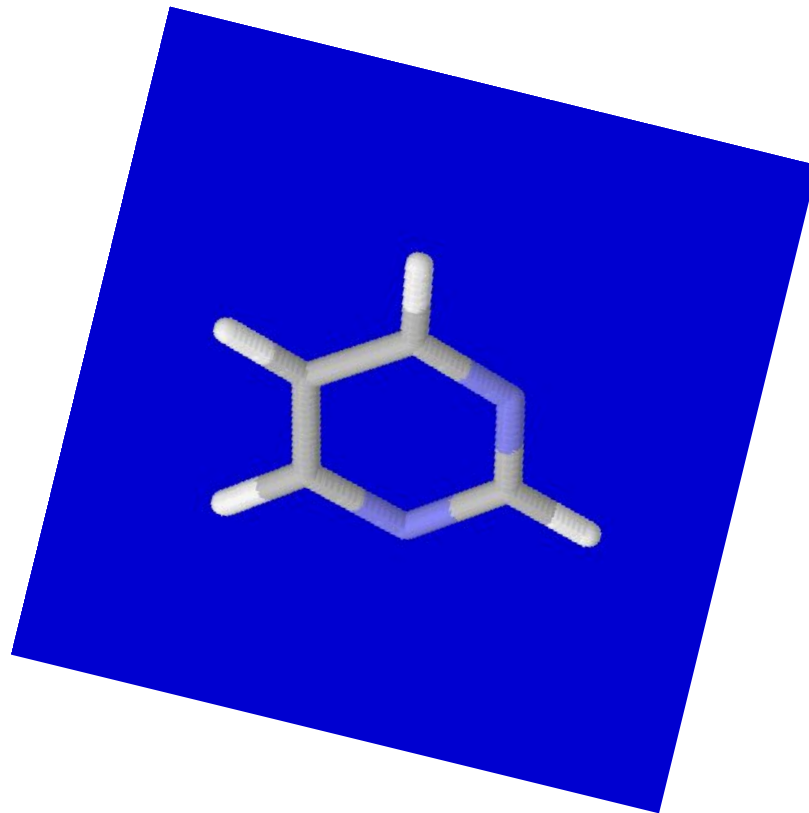
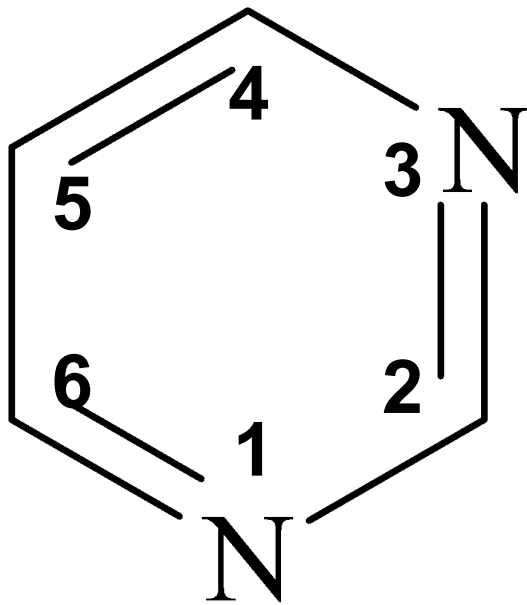
Состав нуклеотида в РНК

- Азотистые основания:**
Аденин (А)
Гуанин (Г)
Цитозин (Ц)
Урацил (У):



Нуклеиновые основания

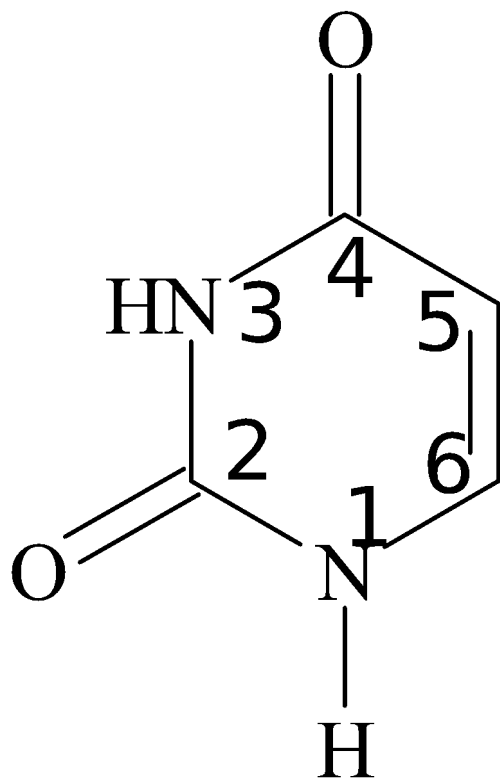
Пиримидиновые основания



Пиримидин

Пиримидиновые основания (в лактамной форме)

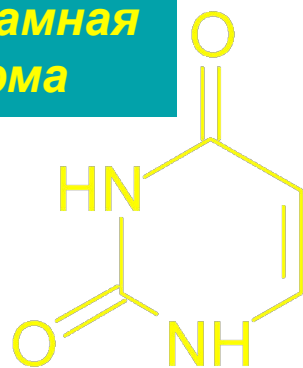
Азотистые основания входят в состав нуклеиновых кислот в лактамной форме.



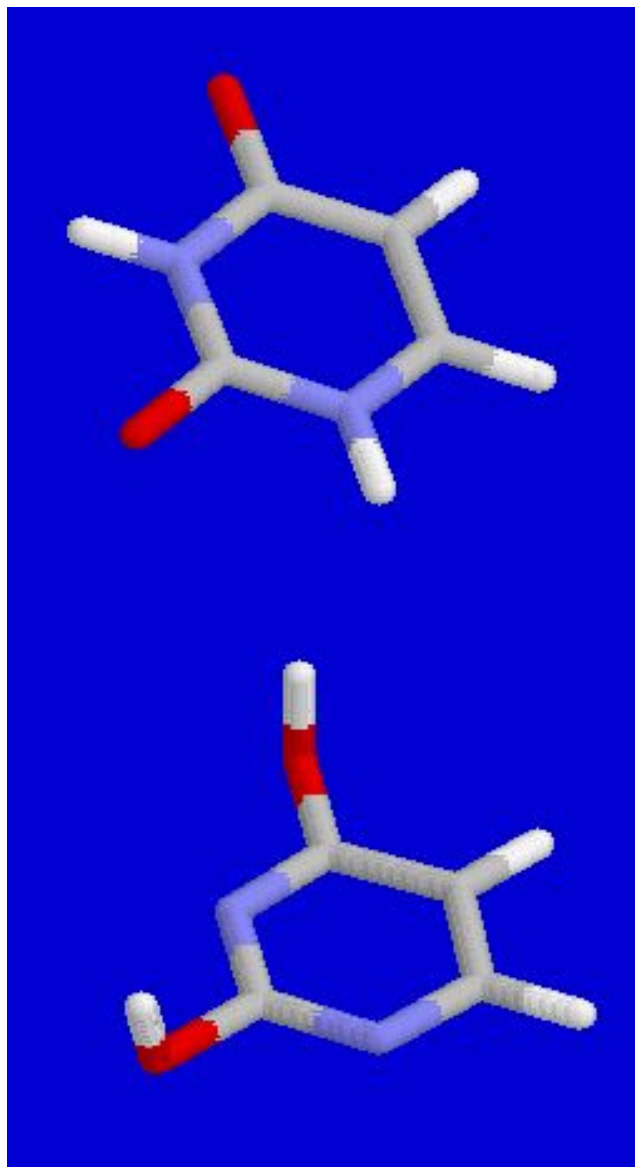
**Урацил Ura
(2,4-диоксопиримидин)**

Лактим-лактамная таутомерия урацила

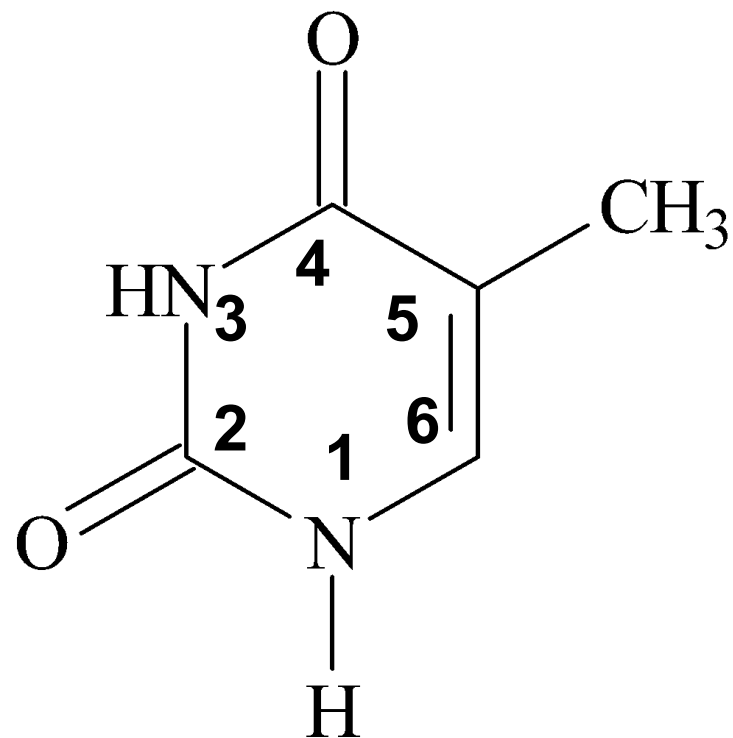
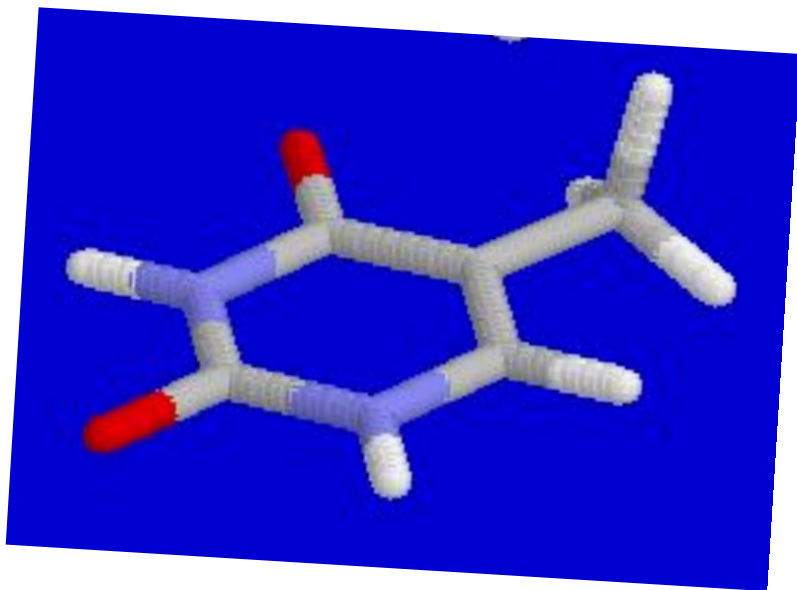
Лактамная
форма



Лактимная
форма

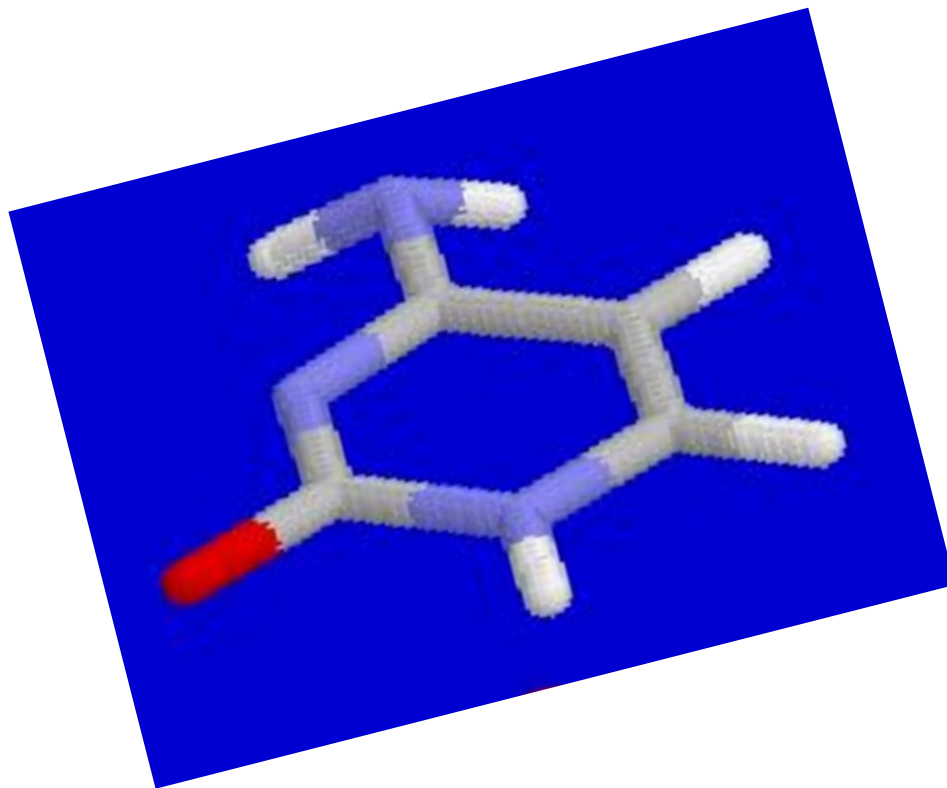
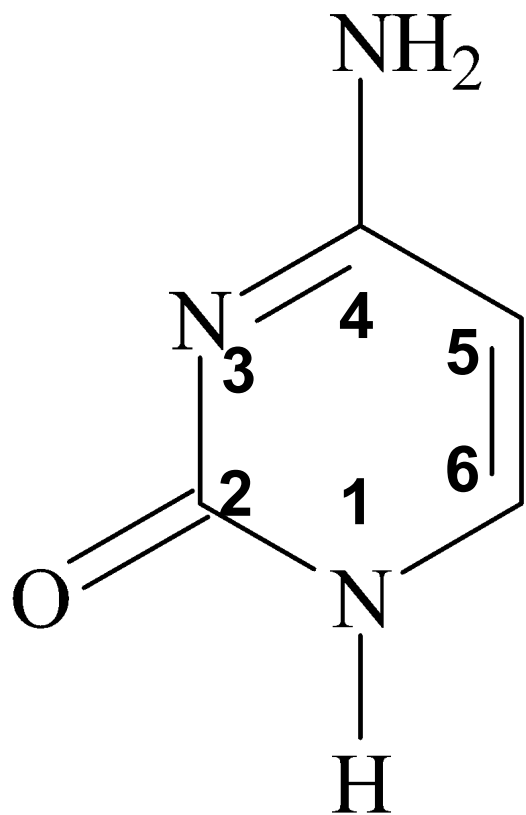


Пиримидиновые основания (в лактамной форме)



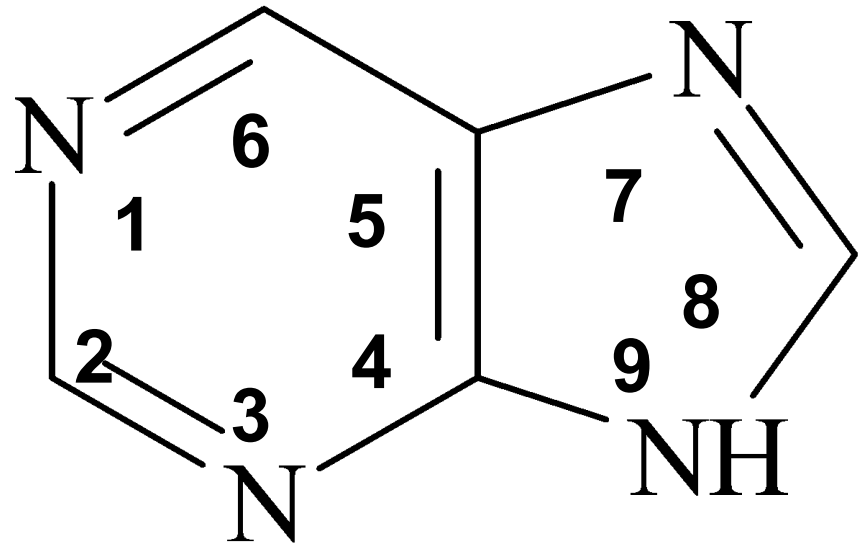
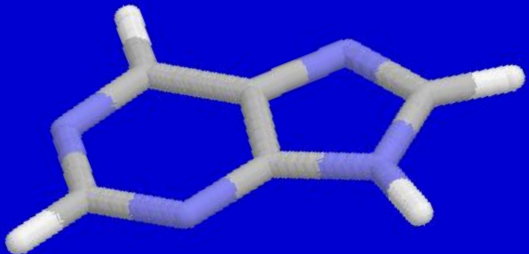
Тимин Thy
(5-метил-2,4-диоксопиримидин,
5-метилурацил)

Пиримидиновые основания (в лактамной форме)



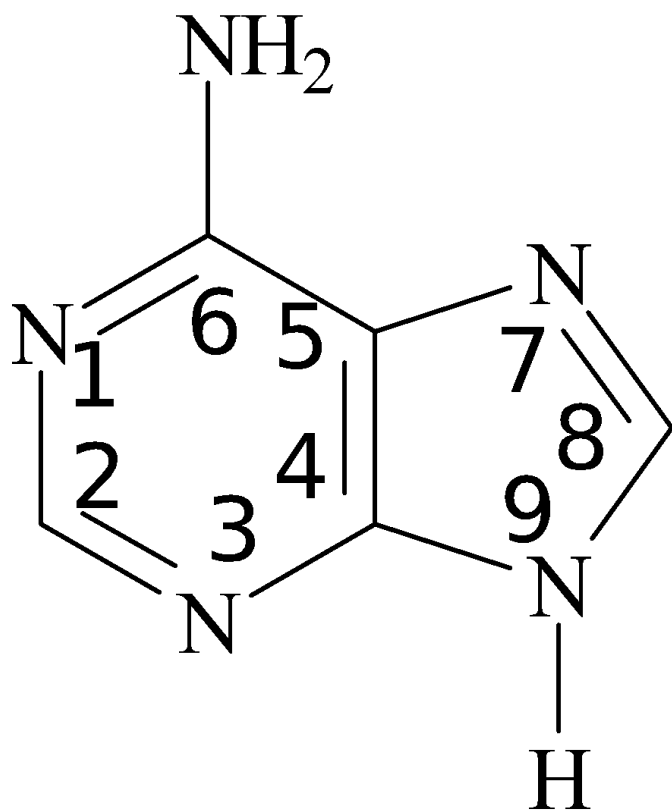
**Цитозин Cyt
(4-амино-2-оксопиримидин)**

Пуриновые основания



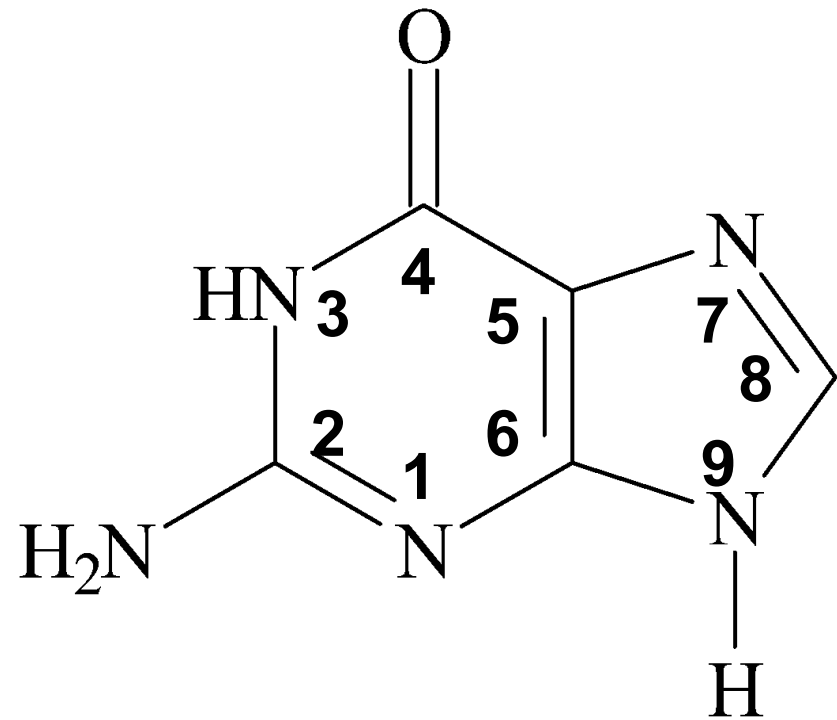
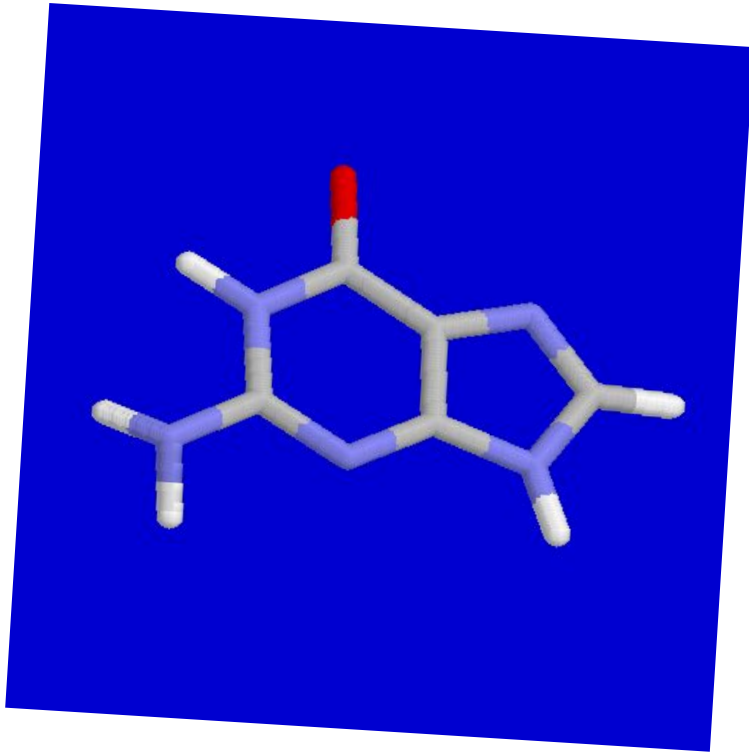
Пурин

Пуриновые основания



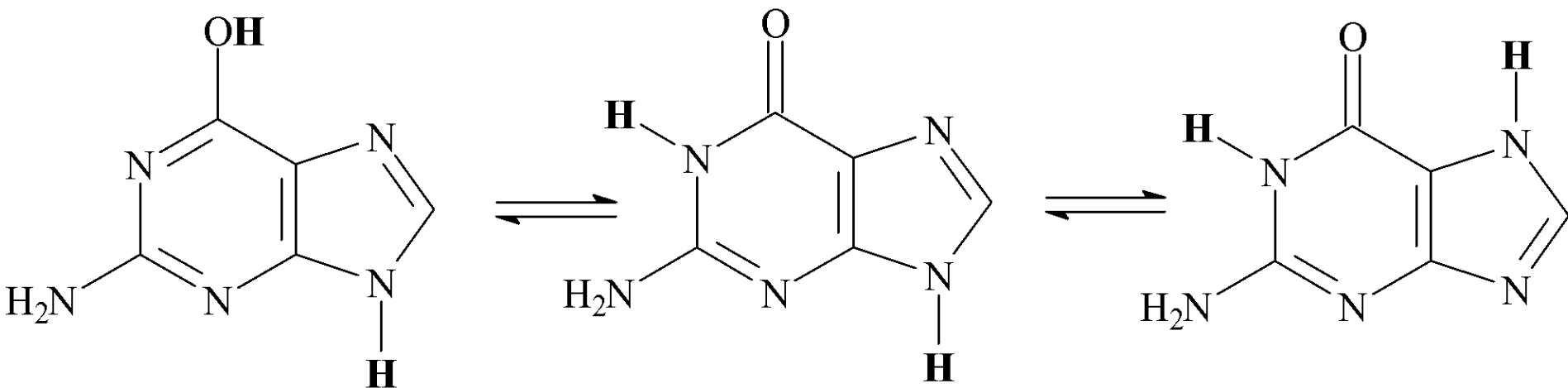
**Аденин Ade
(6-аминпурин)**

Пуриновые основания (в лактамной форме)



Гуанин Gua
(2-амино-6-оксопурин)

Лактим-лактамная и прототропная таутомерия гуанина

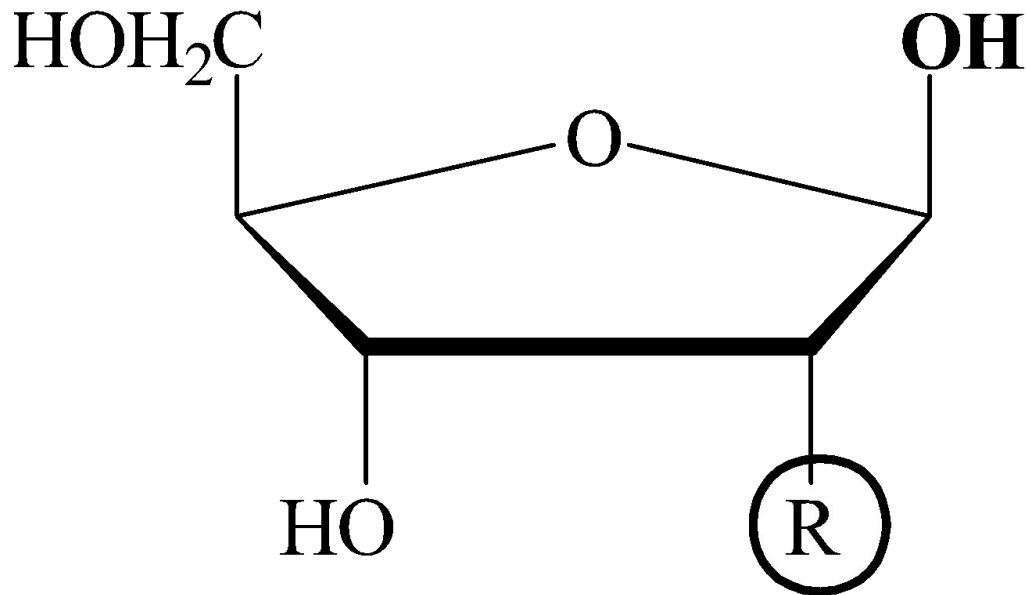


Углеродный компонент

РНК

ДНК

β -D-рибофураноза **β -D-дезоксирибофураноза**



$\text{R}=\text{OH}$ β ,D-рибофураноза

$\text{R}=\text{H}$ β ,D-дезоксирибофураноза

(2-дезокси- β ,D-рибофураноза)

Нуклеозиды

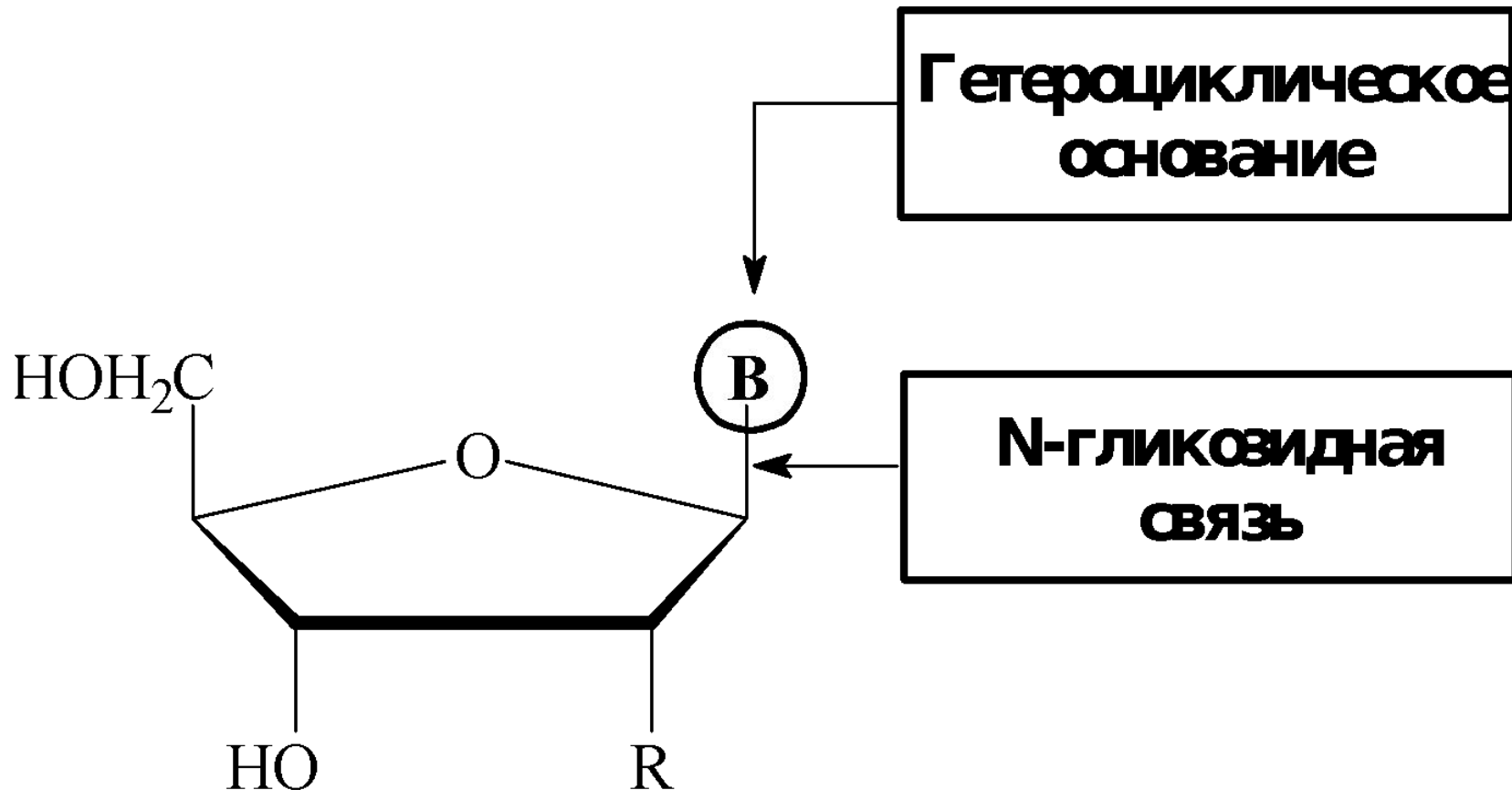
Нуклеозиды – это N-гликозиды, образованные азотистым основанием и пентозой.

Азотистое основание присоединяется к углеводному компоненту вместо полуацетального гидроксила через атом азота в положении 1 для пиримидинов и 9 для пуринов, образуя N-гликозидную связь.

Общая структура нуклеозида

R=OH Рибонуклеозид

R=H Дезоксирибонуклеозид



Номенклатура нуклеозидов

Название нуклеозида производится от тривиального названия соответствующего азотистого основания с суффиксами *-идин* у пиримидиновых и *-озин* у пуриновых нуклеозидов. В названиях нуклеозидов ДНК используется приставка «дезокси».

Цитозин + Рибоза = **Цитидин**

Цитозин + **Дезоксирибоза** =

Дезоксицитидин

Аденин + Рибоза = **Аденозин**

Аденин + **Дезоксирибоза** =

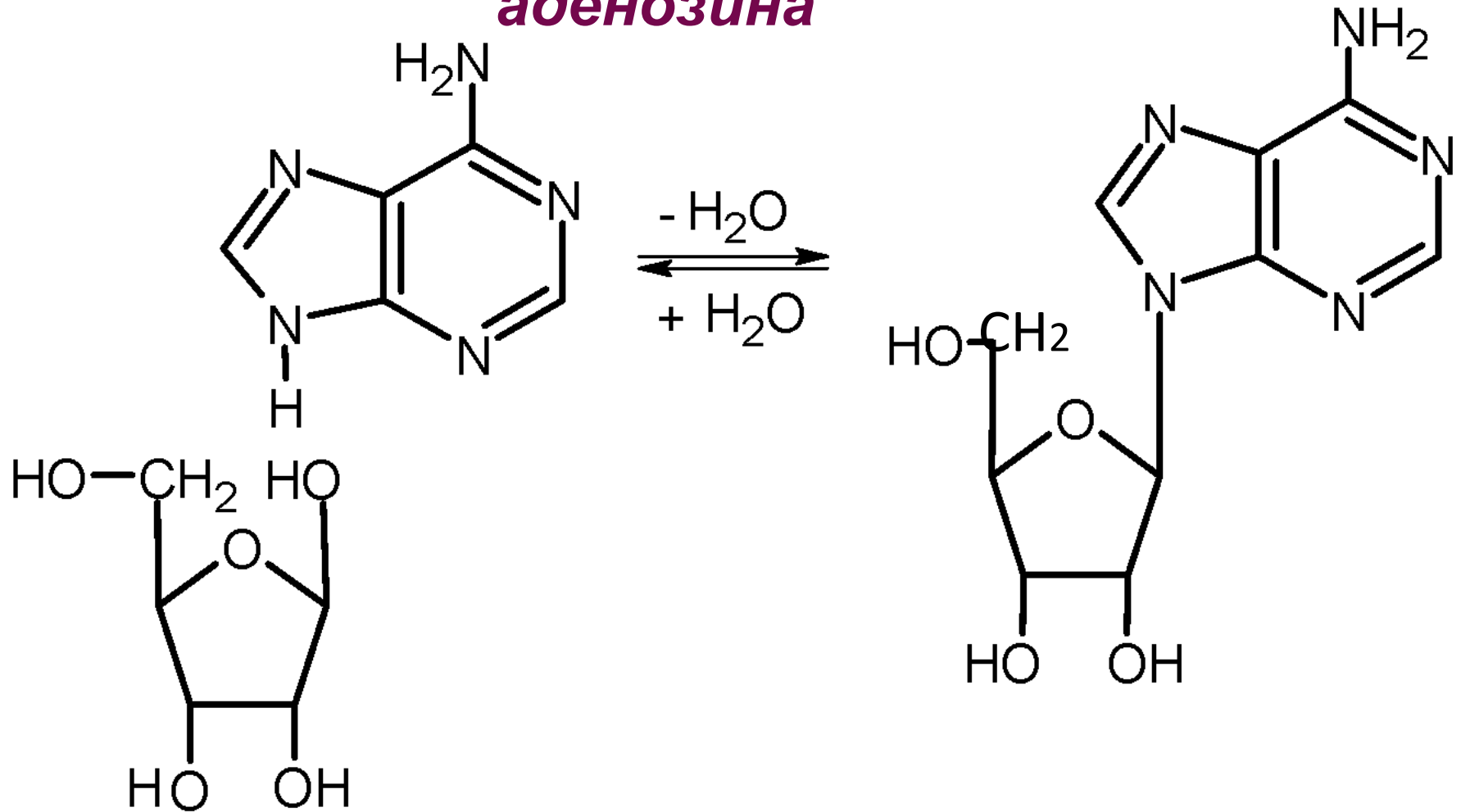
Дезоксиаденозин

Номенклатура нуклеозидов

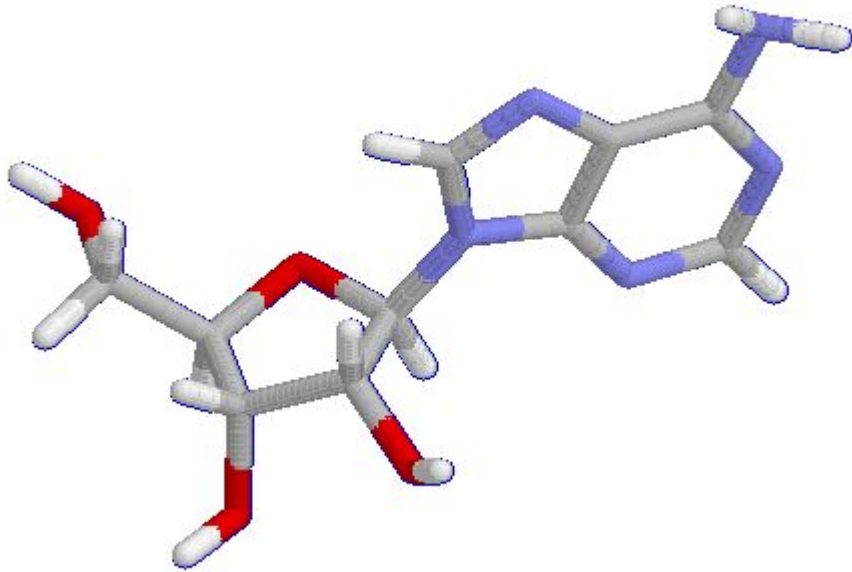
Табл. 1 - Азотистые основания и соответствующие им нуклеозиды

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

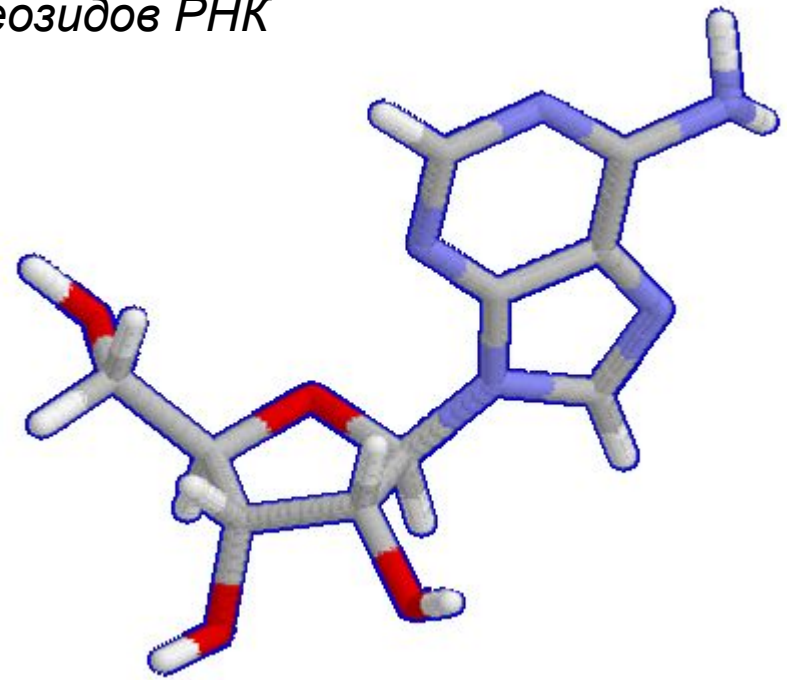
Образование аденозина



Конформации нуклеозидов РНК



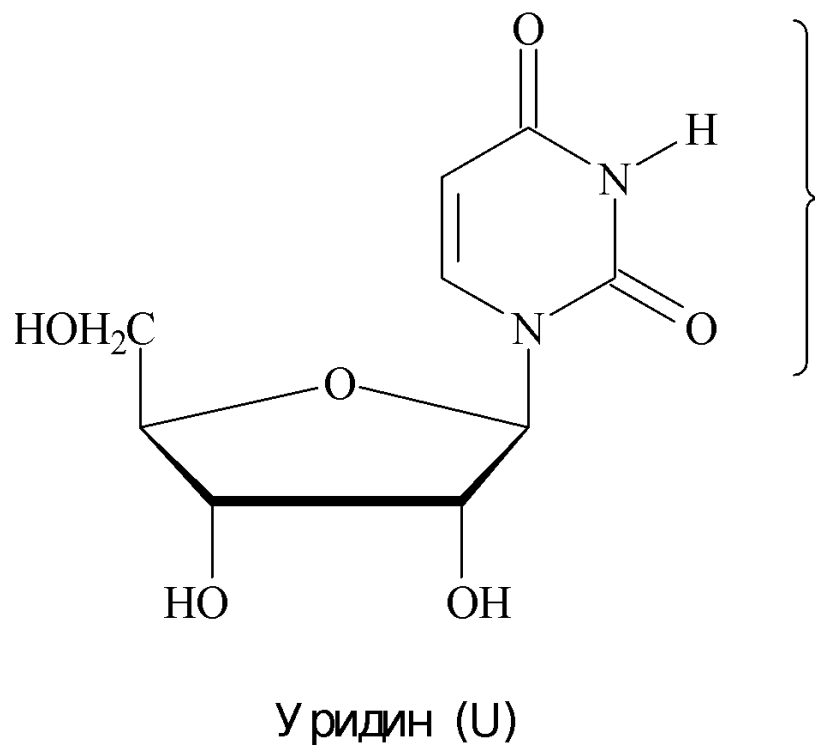
Аденозин (анти-)



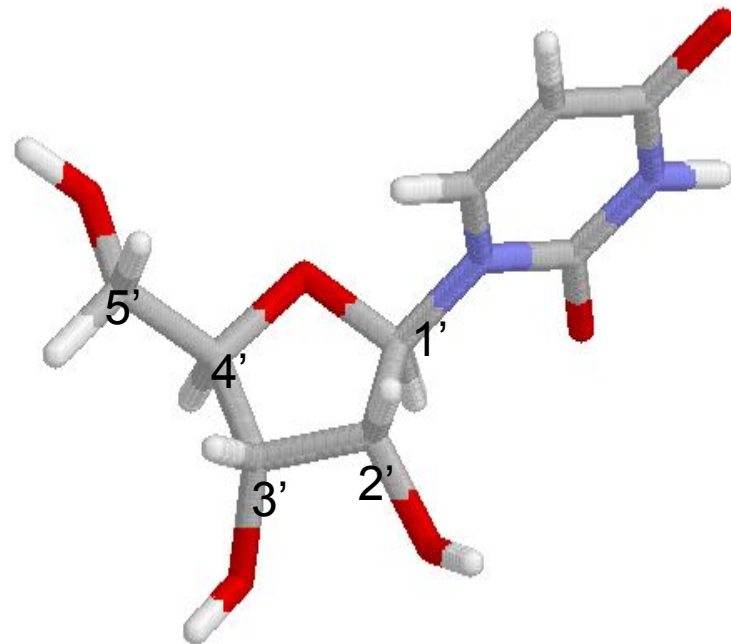
Аденозин (син-)

В зависимости от взаимной ориентации основания и сахарного кольца в нуклеозидах различаются син-и анти-конформации. Последняя энергетически более выгодная.

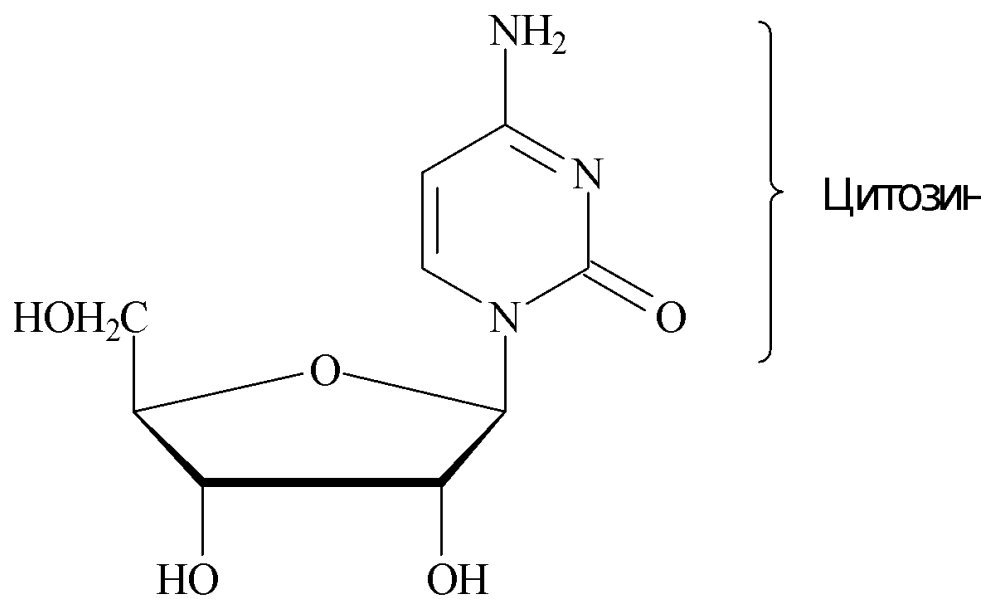
Нуклеозиды РНК



Урацил

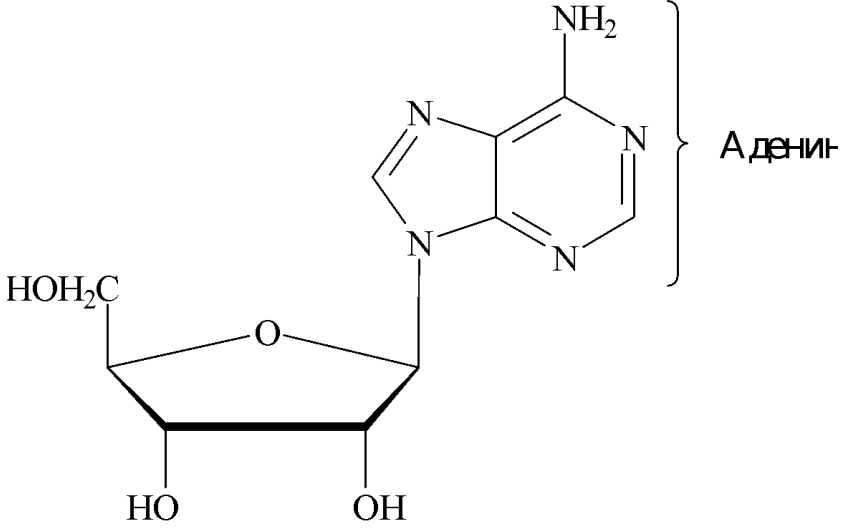


Нуклеозиды РНК

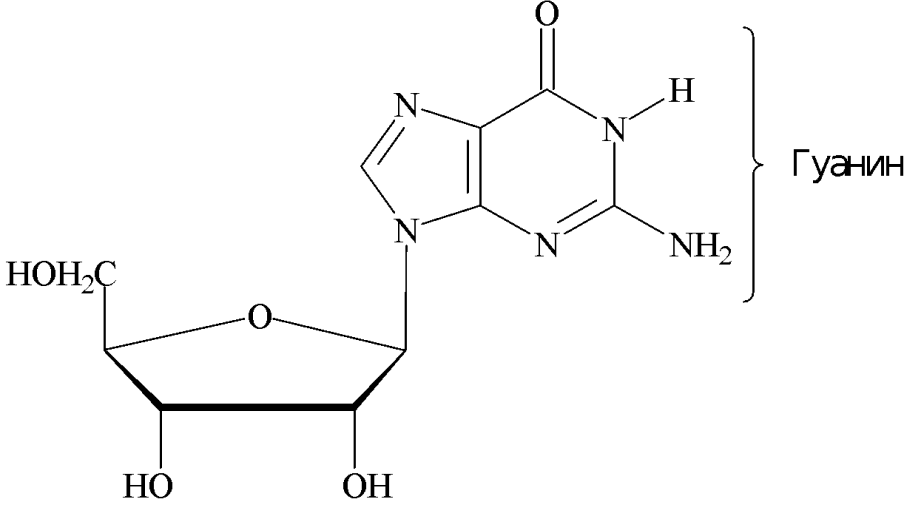


ЦИТИДИН (С)

Нуклеозиды РНК

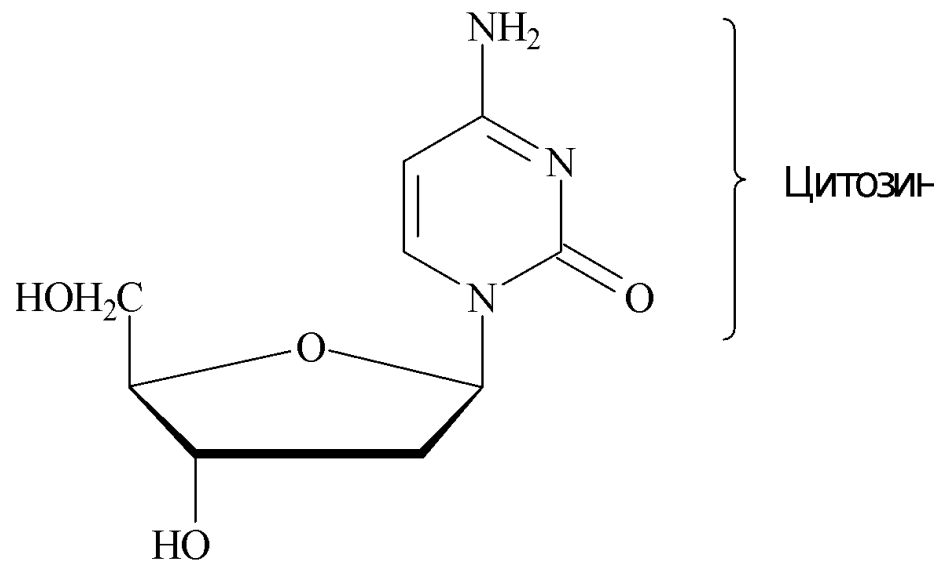


Аденозин (A)



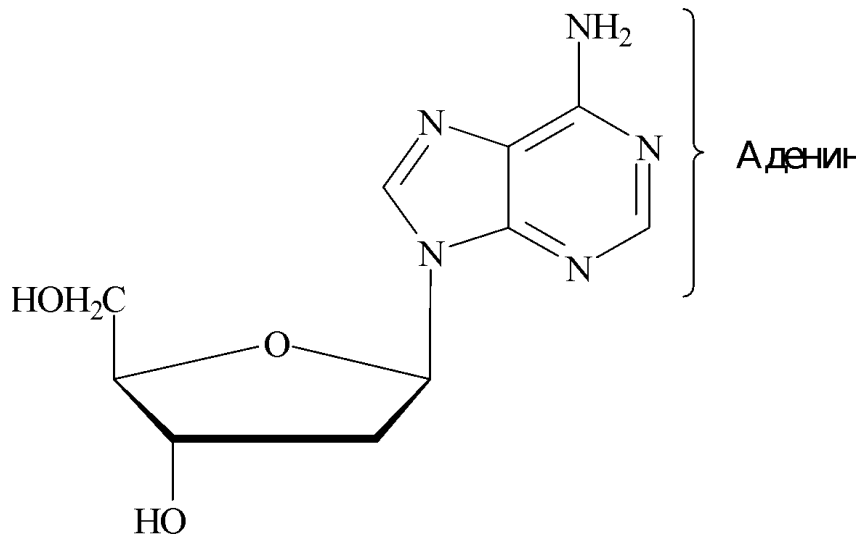
Гуанозин (G)

Нуклеозиды ДНК

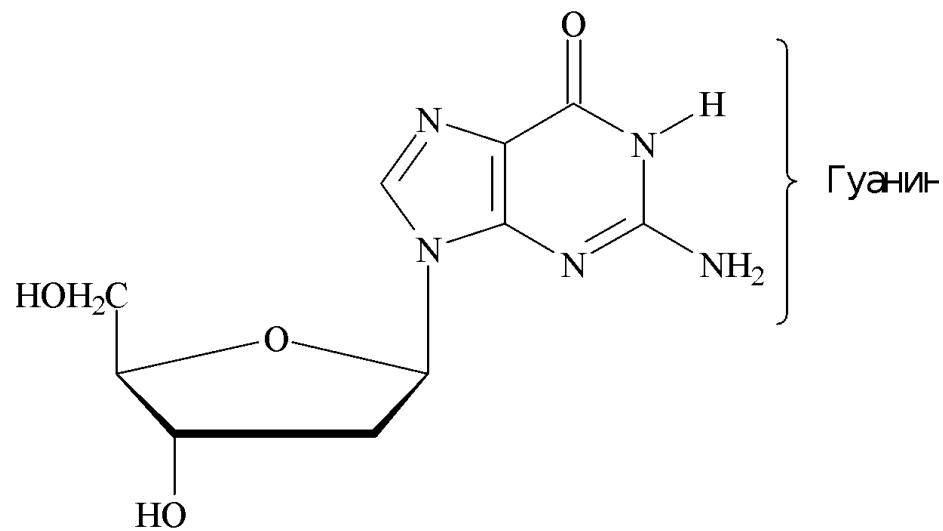


Дезоксицитидин (dC)

Нуклеозиды ДНК

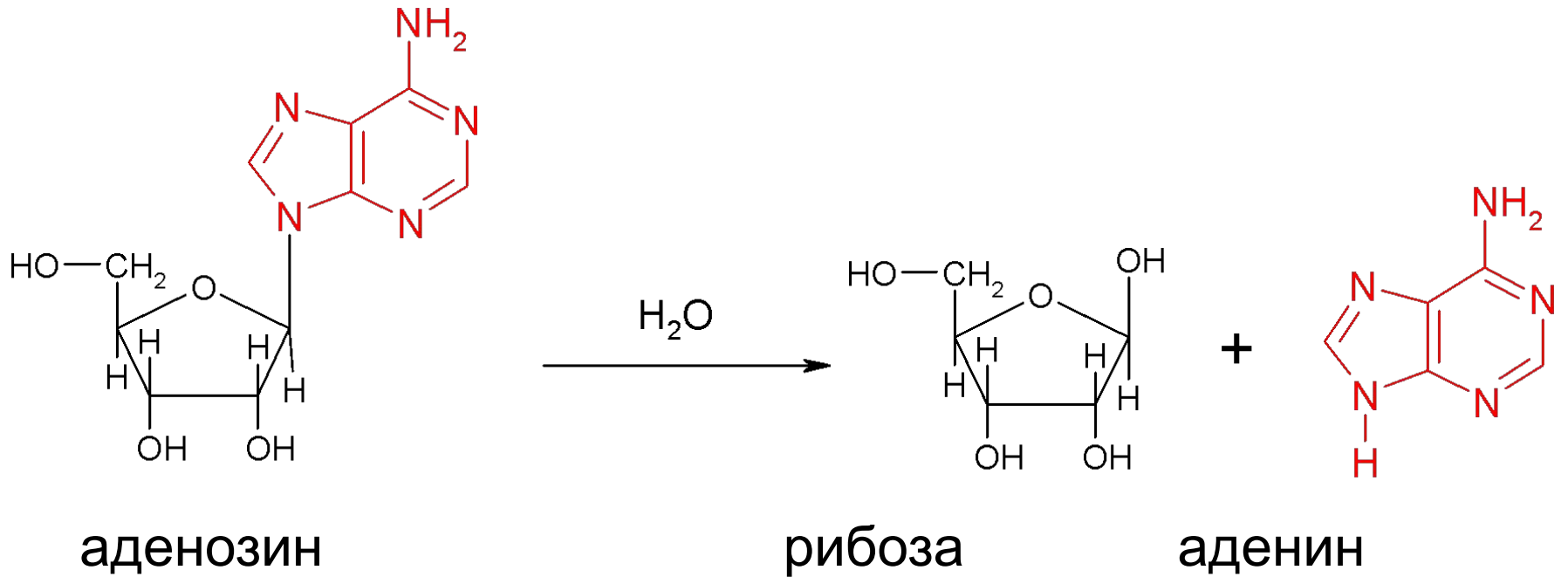


Дезоксиаденозин (dA)



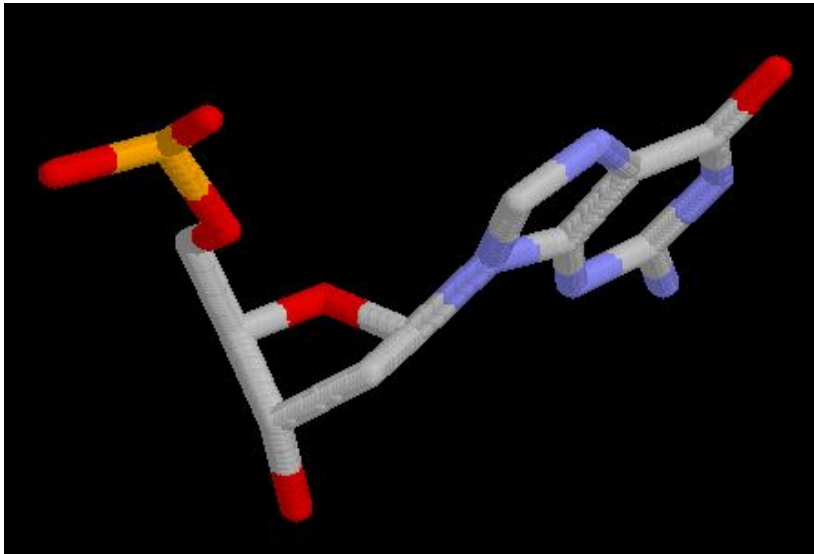
Дезоксигуанозин (dG)

Гидролиз нуклеозидов



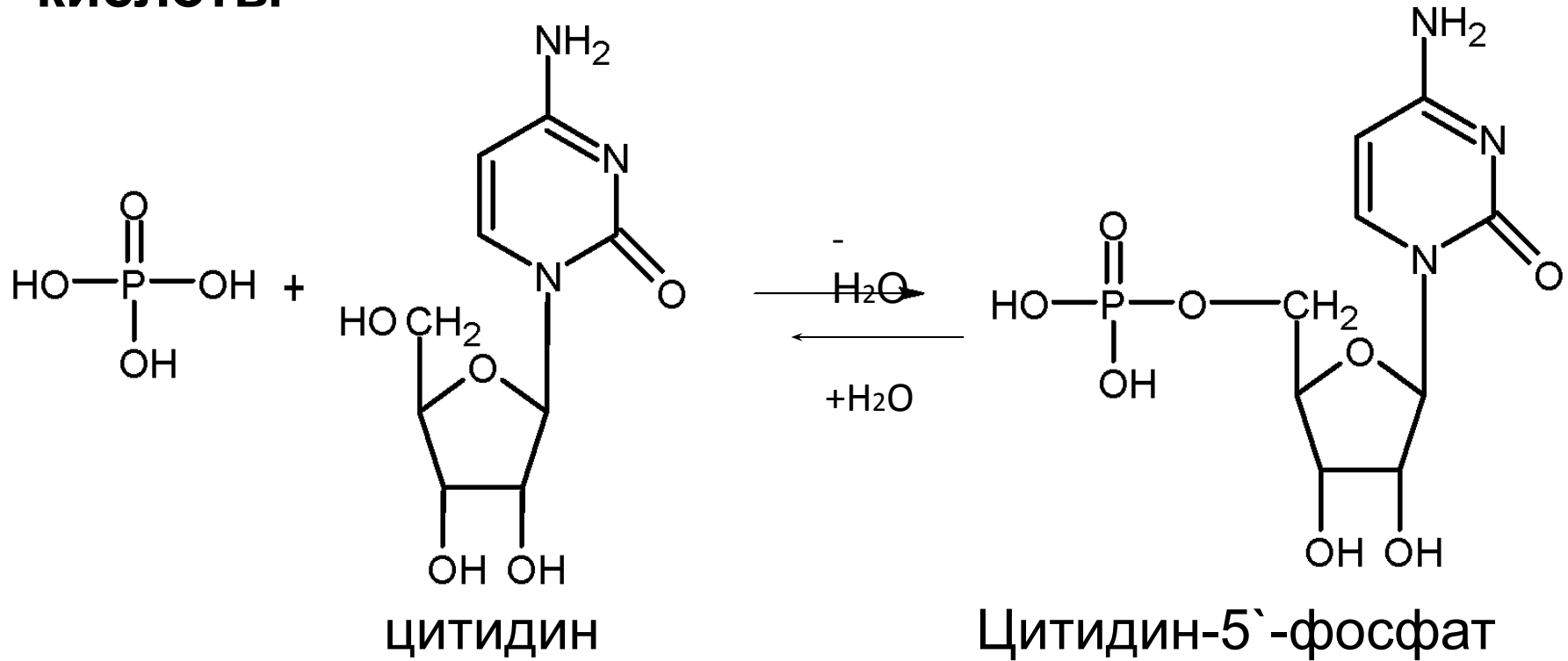
Строение моноклеотидов

Нуклеотиды – это фосфаты нуклеозидов.



Фосфорная кислота присоединяется к 5'-атому углерода пентозы, образуя сложноэфирную связь.

Нуклеотид из нуклеозида цитидина и фосфорной кислоты



Нуклеотиды являются достаточно сильными кислотами, при физиологических значениях pH фосфатная группа ионизирована.

Химические свойства нуклеозидов

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



Номенклатура нуклеотидов

Мононуклеотид имеет 2 названия:

- как монофосфат нуклеозида:
цитидин-5'-фосфат (CMP)**
- как кислота: 5'-цитидиловая кислота**

Номенклатура нуклеотидов

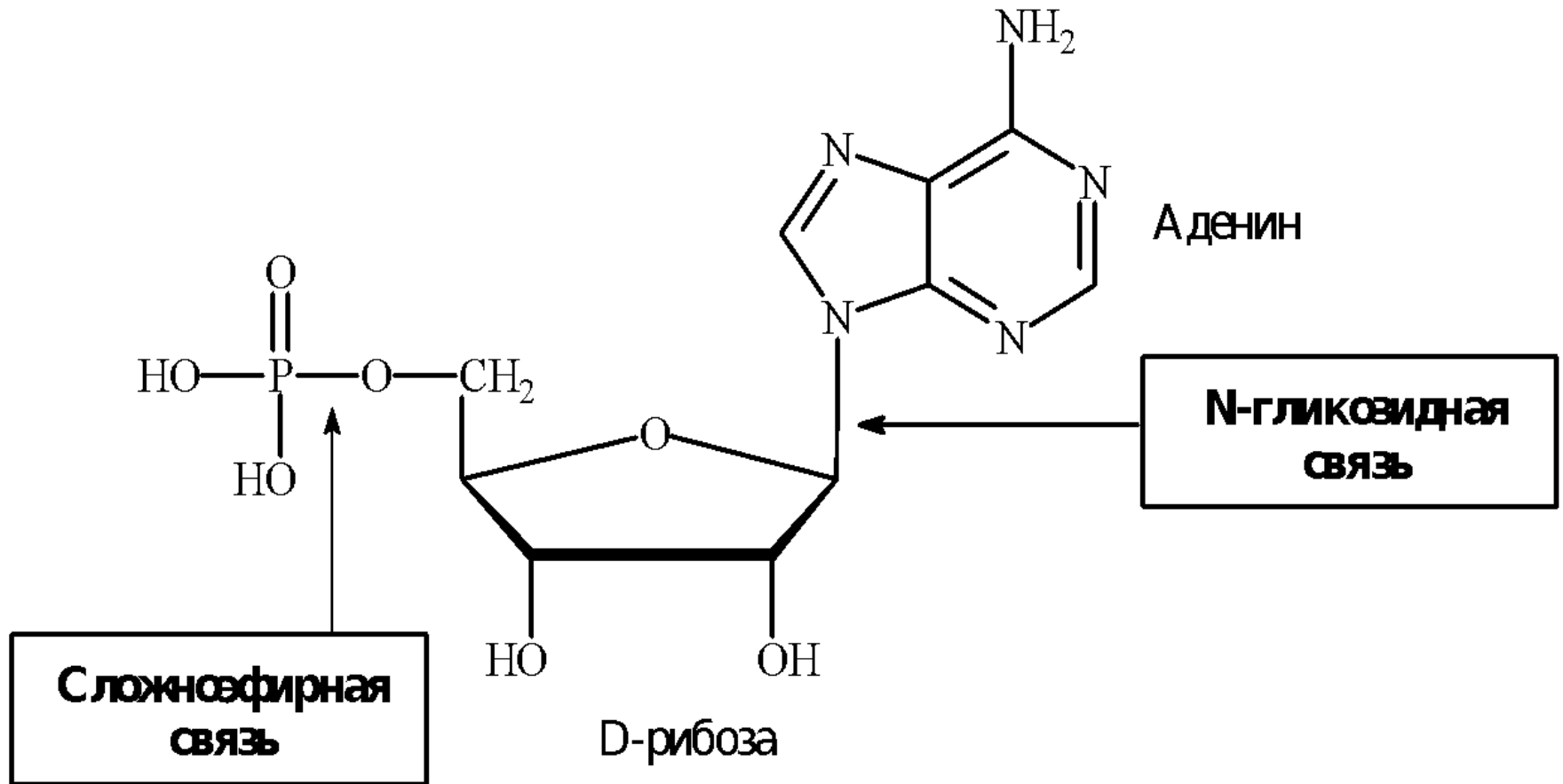
Табл.2. Названия важнейших нуклеотидов, входящих в состав нуклеиновых кислот

№№ п/п	Название нуклеотидов		Сокращенное
	Как фосфатов	Как кислот	
РНК			
1	Аденозин-5'-фосфат	5'-Адениловая	AMP
2	Гуанозин-5'-фосфат	5'-Гуаниловая	GMP
3	Цитидин-5'-фосфат	5'-Цитидиловая	CMP
4	Уридин-5'-фосфат	5'-Уридиловая	UMP

ДНК

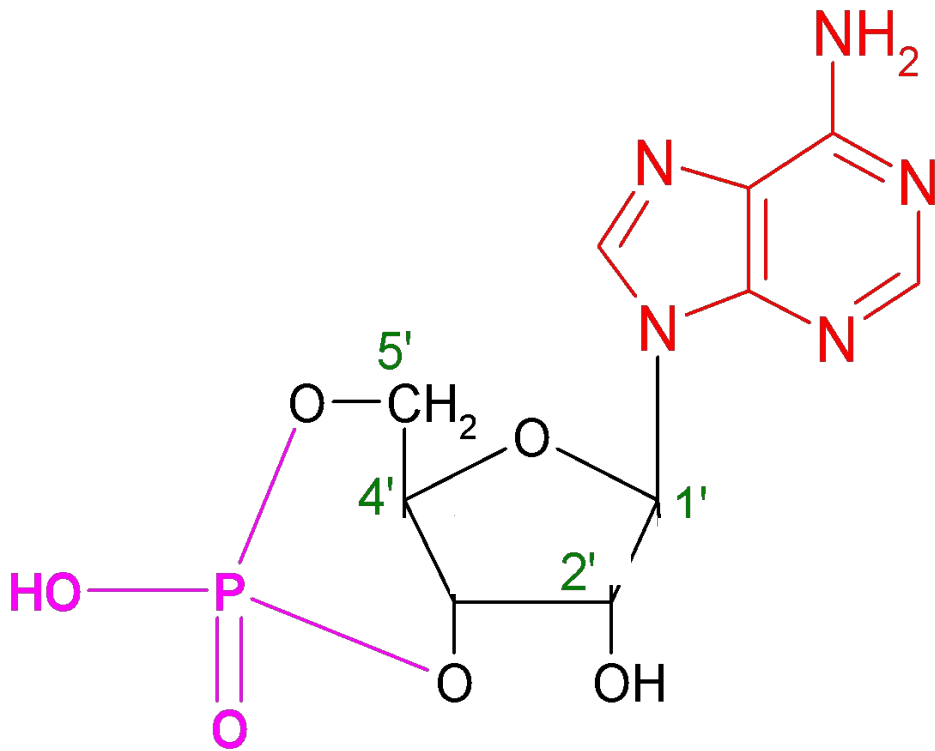
1	Дезоксиаденозин-5'-фосфат	5'-Дезоксиадениловая	dAMP
2	Дезоксигуанозин-5'-фосфат	5'-Дезоксигуаниловая	dGMP
3	Дезоксицитидин-5'-фосфат	5'-Дезоксицитидиловая	dCMP
4	Тимидин-5'-фосфат	5'-Тимидиловая	dTMP

Нуклеотиды

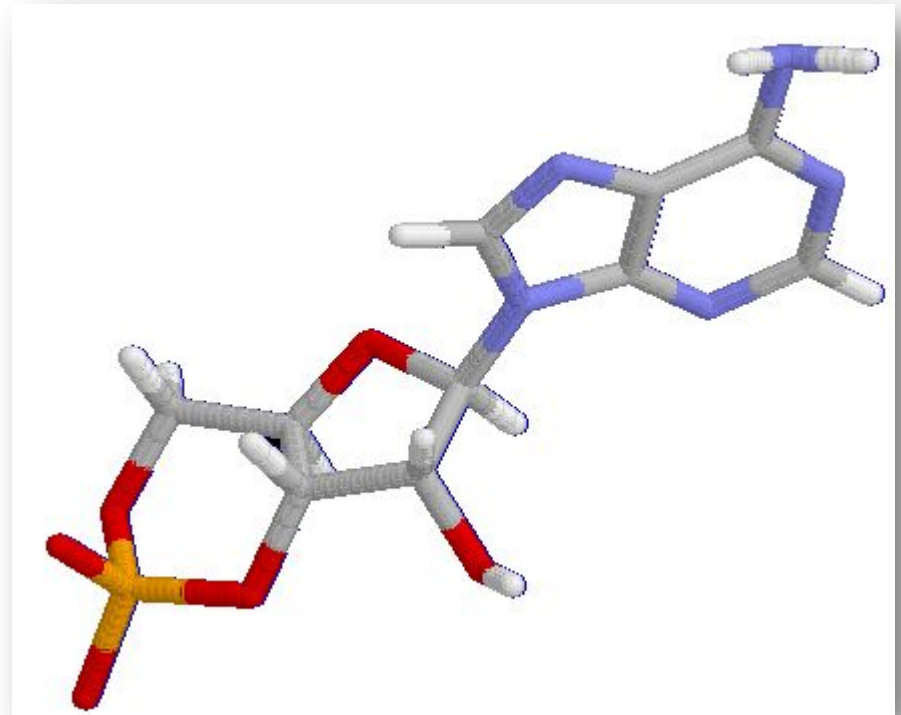


**Аденозин-5-фосфат,
5'-адениловая кислота**

Циклофосфаты

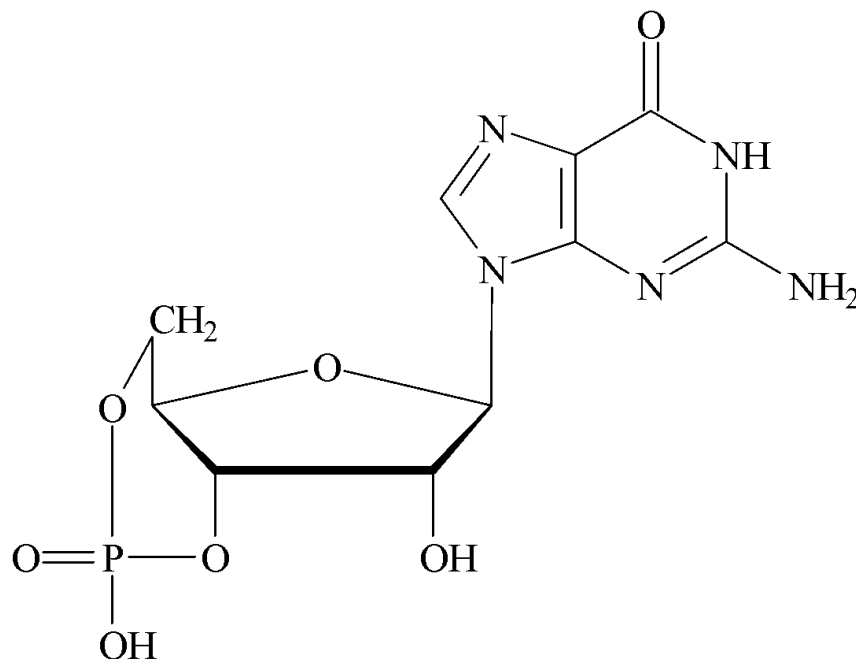


ЦАМ
Ф



Циклофосфаты

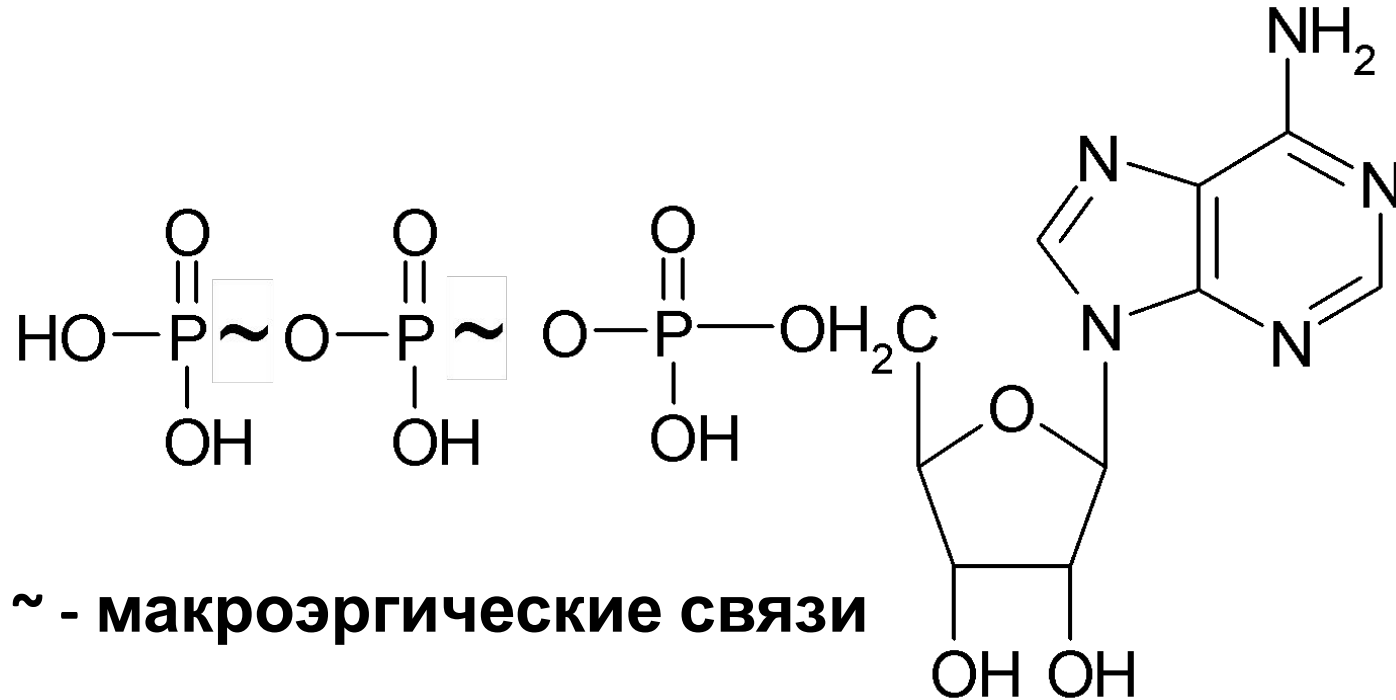
Циклофосфаты играют роль **вторичного посредника** некоторых гормонов (глюкагона или адреналина), которые не могут проходить через клеточную мембрану.

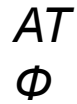


Гуанозин-3',5'-циклофосфат

цГМ
Ф

Строение аденозинтрифосфата (АТФ)





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 АТФ:

- 1) $\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} = \text{АДФ} + \text{Фн}, \Delta G = - 25 - 40 \text{ кДж/моль}$**
- 2) $\text{АДФ} + \text{H}_2\text{O} = \text{АМФ} + \text{Фн}, \Delta G = - 30 \text{ кДж/моль}$**
- 3) $\text{АМФ} + \text{H}_2\text{O} = \text{Аденозин} + \text{Фн}, \Delta G = - 14 \text{ кДж/моль}$**

АТФ

Вместе с тем в организме идут процессы синтеза АТФ. Эти процессы сопровождаются поглощением энергии, выделяющейся при биохимическом окислении белков, жиров и углеводов. Эта энергия запасается в макроэргических связях АТФ.

АТФ

АТФ выпускается в виде
фарм. препаратов.



Структура нуклеиновых кислот

Структура ДНК

ДНК имеет несколько уровней структурной организации.

1) Первичная структура – последовательность нуклеотидных звеньев, соединенных с помощью 3'-5'-фосфодиэфирных связей.

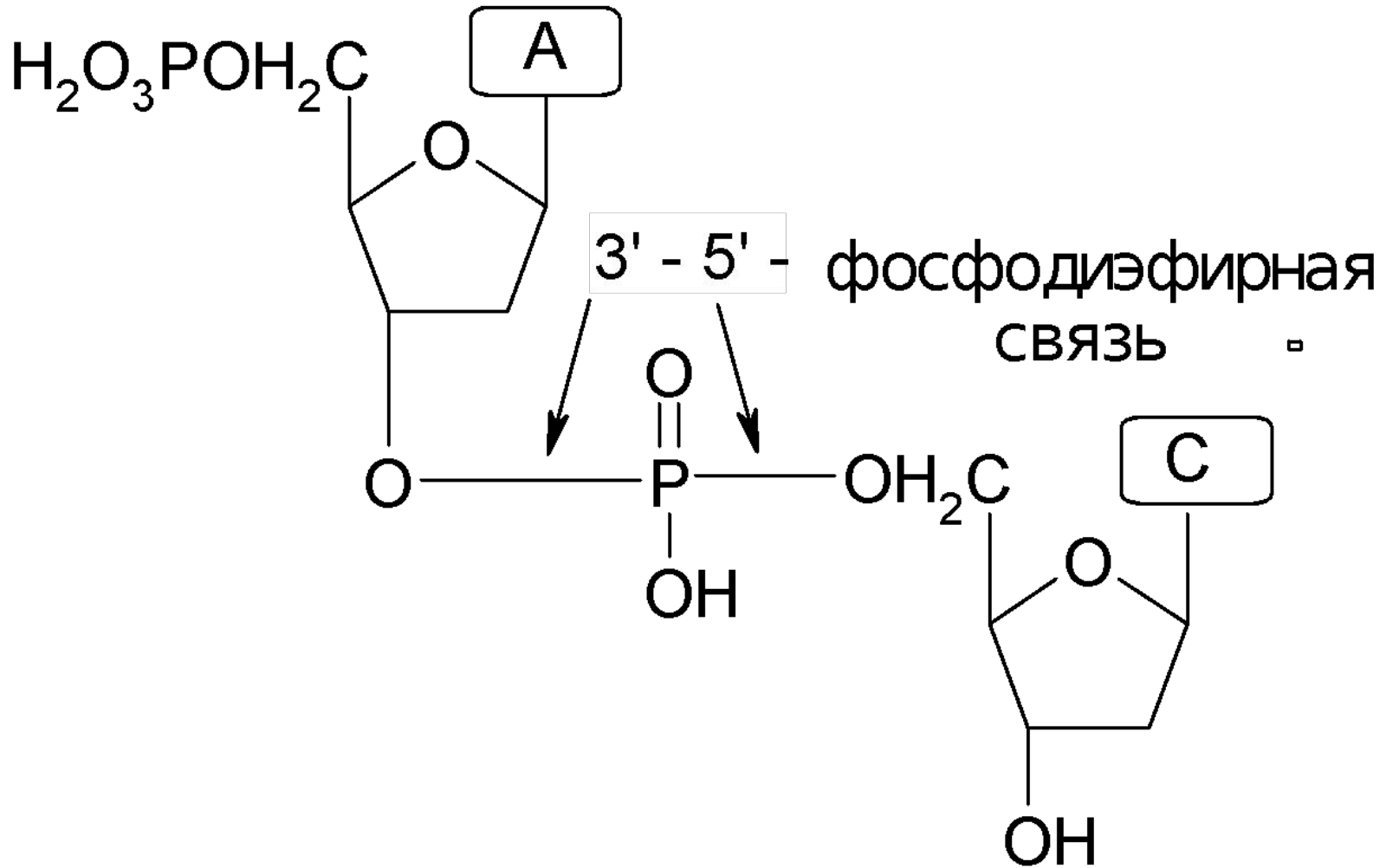
5'- конец ТГАЦТААГТАЦЦ 3'-

конец

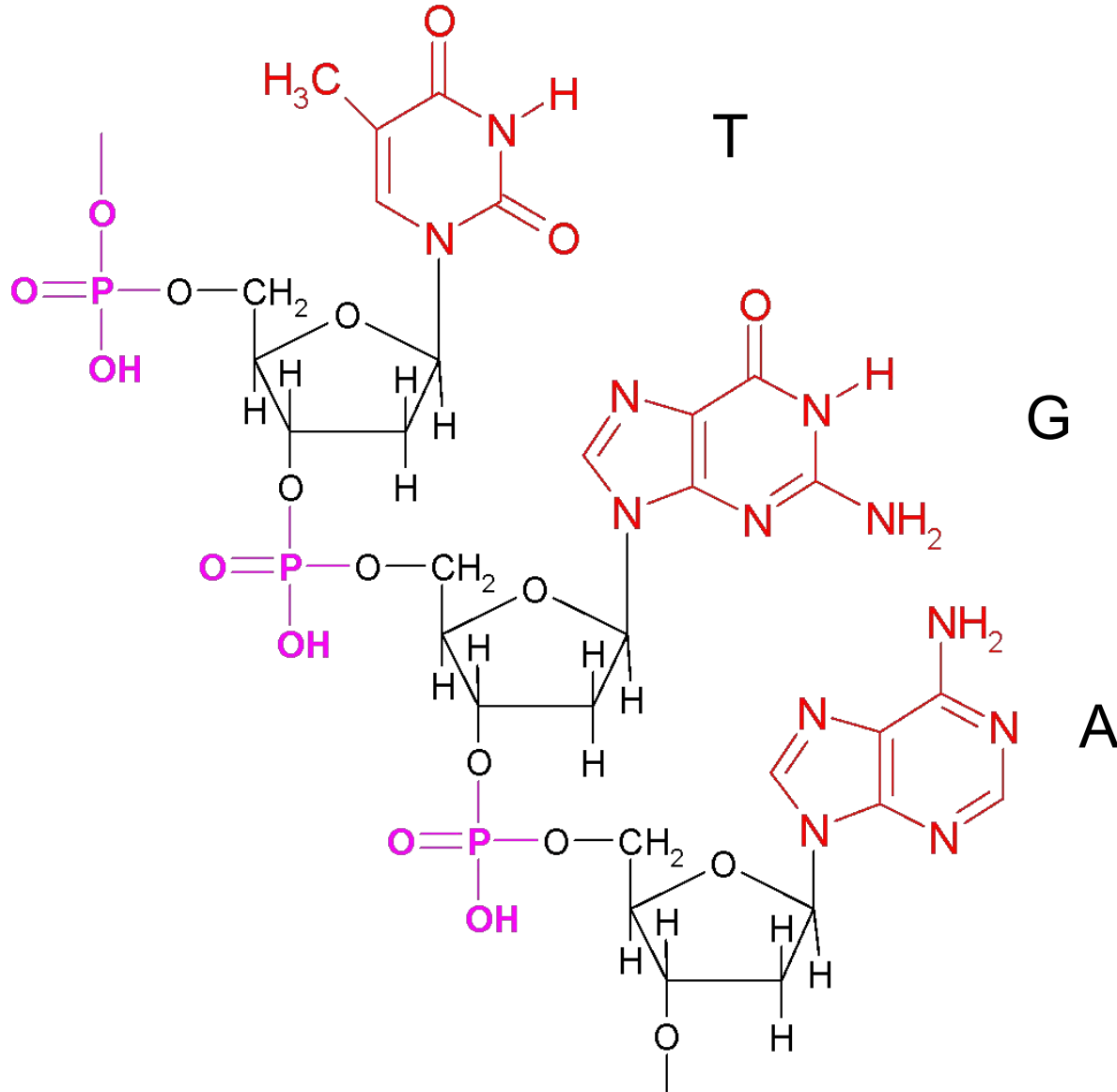
(ф-конец)

(ОН-конец)

Динуклеотид из дезоксиадениловой и дезоксицитидиловой кислот



Первичная структура ДНК



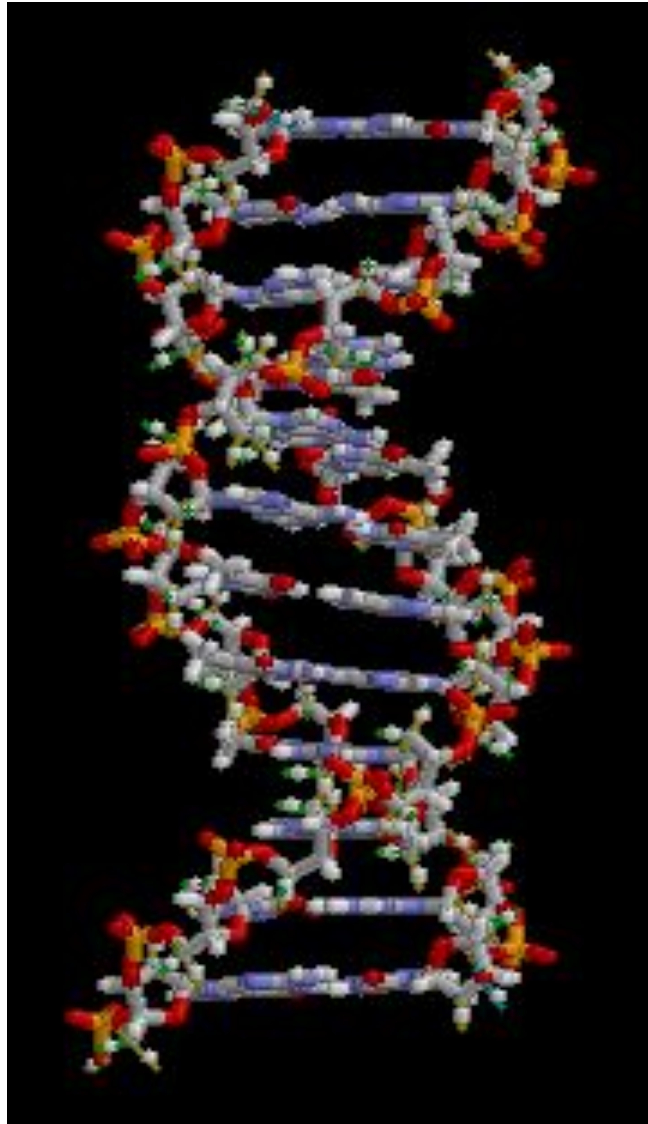
2) Вторичная структура ДНК – это пространственное расположение полинуклеотидных цепей в молекуле.

Молекула ДНК состоит из двух антипараллельных правозакрученных полинуклеотидных цепей.

Пуриновые и пиримидиновые основания направлены внутрь спирали.

Двойная спираль стабилизируется за счет водородных связей, образующихся между парами комплементарных азотистых оснований.

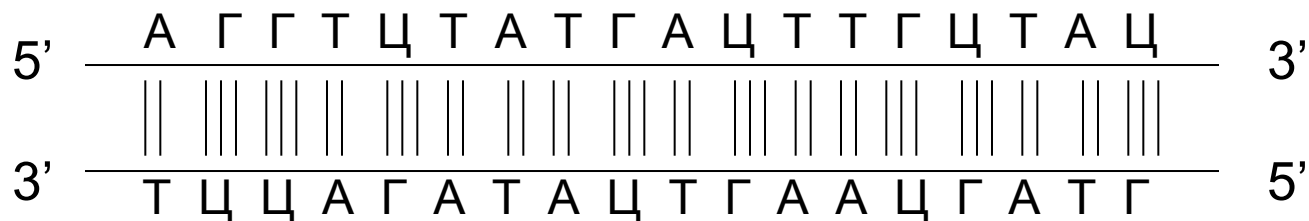
Вторичная структура ДНК



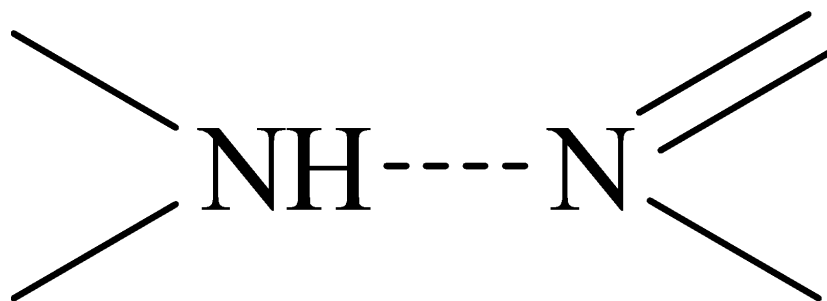
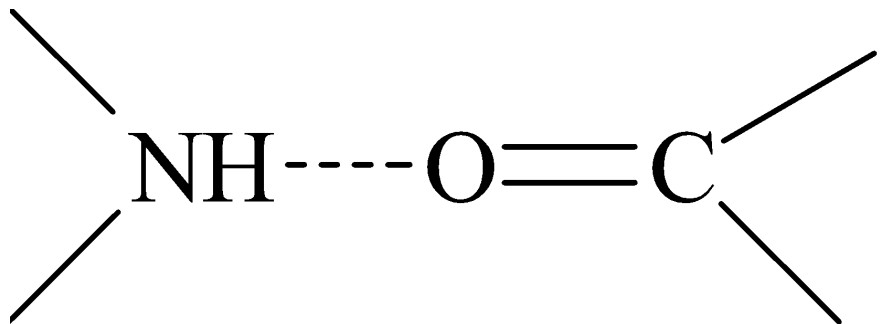
Комплементарность

Комплементарность - пространственная
взаимодополняемость молекул или их
частей, приводящая к образованию
водородных связей.

Комплементарные структуры подходят друг к другу
как «ключ с замком».

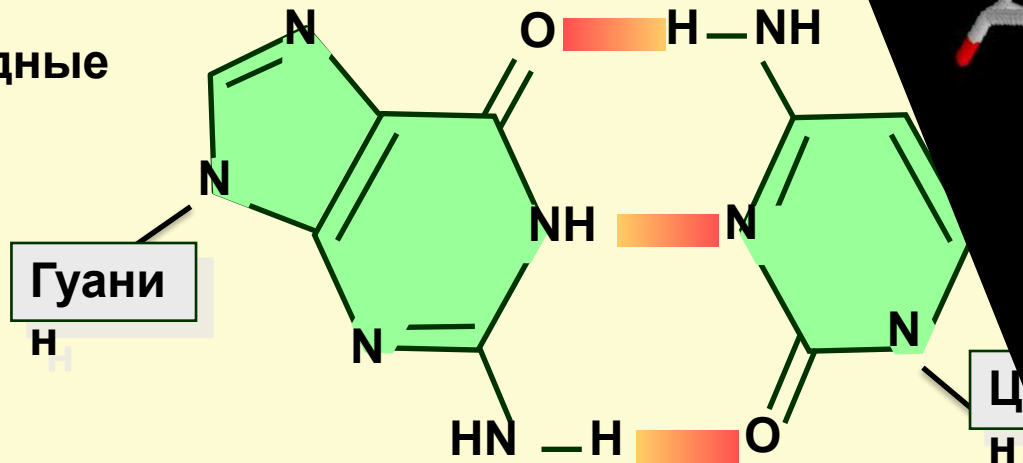


Комплементарно СТЬ

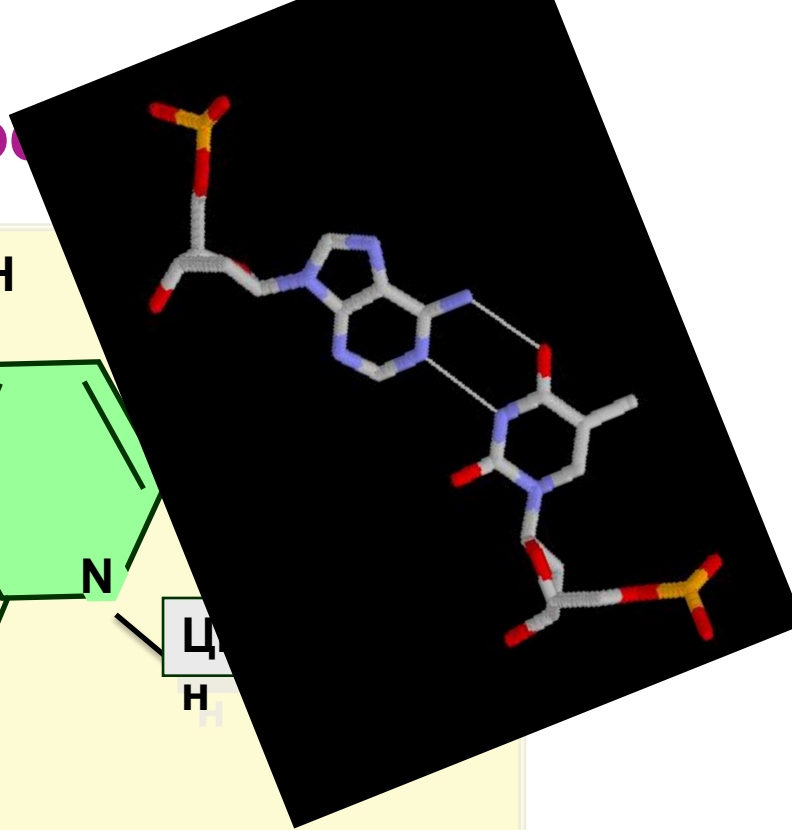
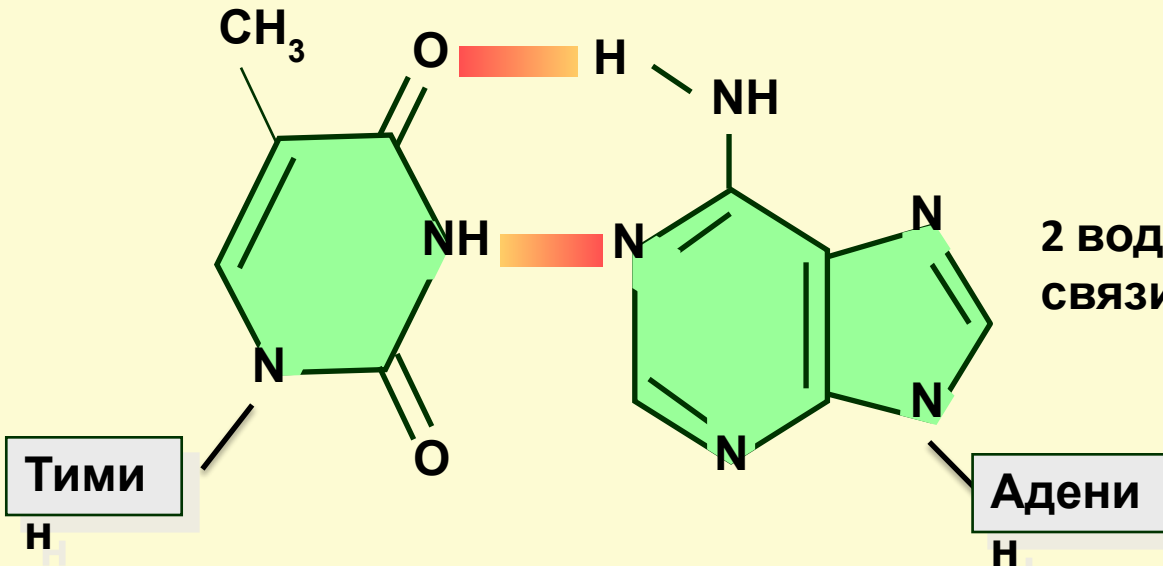


Комплементарно

3 водородные
связи



2 водородные
связи



Вторичная структура нуклеиновых кислот

Правила Чаргаффа

1) количество пуриновых оснований равно количеству пиримидиновых оснований;

2) количество аденина равно количеству тимина;
количество гуанина равно количеству цитозина;

3) количество оснований, содержащих аминогруппу в положениях 4 пиримидинового и 6 пуринового ядер, равно количеству оснований, содержащих в этих же положениях оксогруппу. Это означает, что сумма аденина и цитозина равна сумме гуанина и тимина.

$$(A+T)+(G+C)=100\%$$

Структура ДНК

3) *Третичная структура ДНК* представляет собой многократную спирализацию вторичной структуры, обеспечивая плотную упаковку ДНК в ядре клетки.

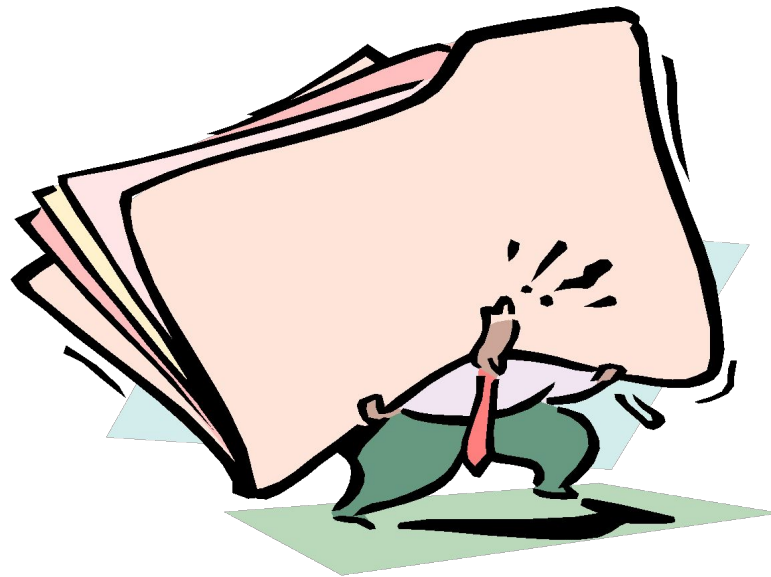
Модель нити ДНК толщиной 30 миллионных частей миллиметра. Изображение *Nature*



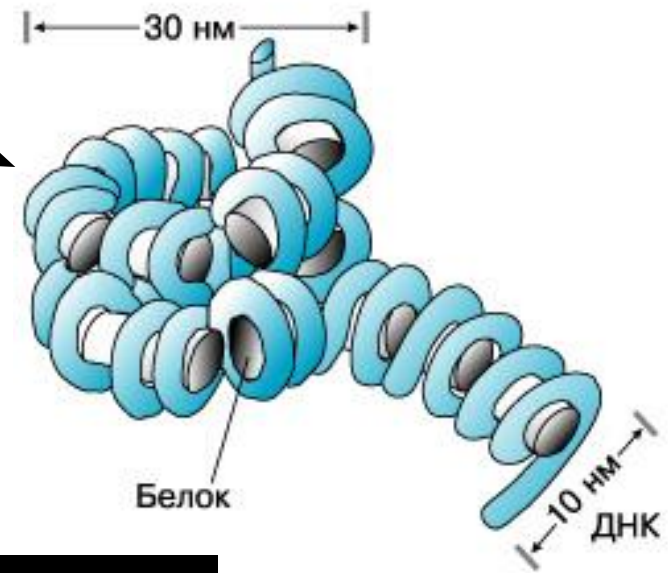
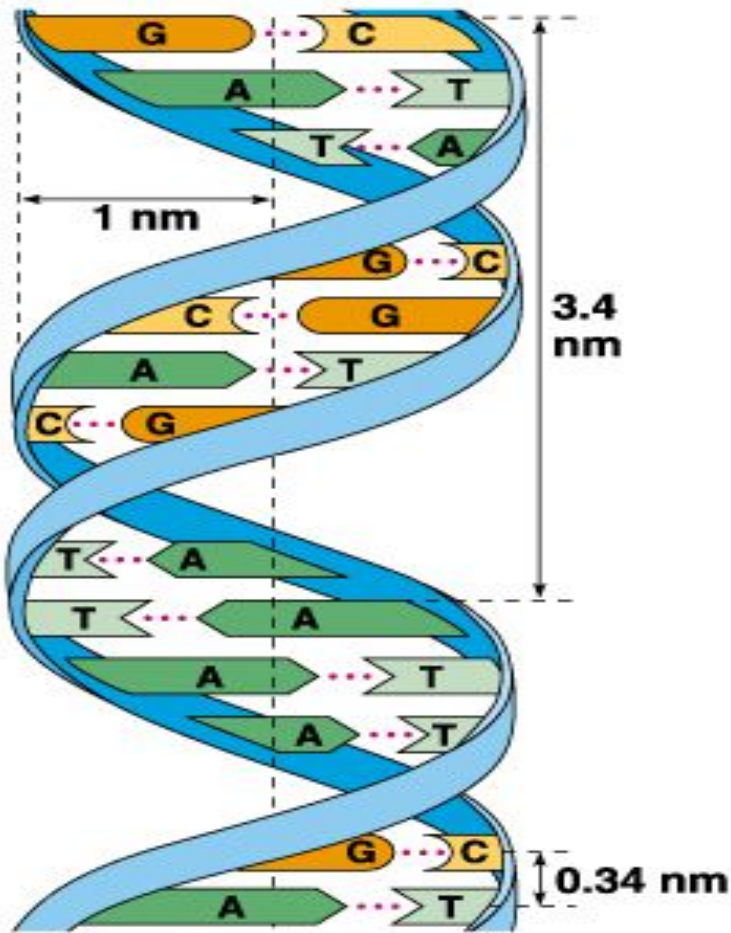
Хромосомы

Хромосо́мы (др.-греч. χρῶμα — цвет и σῶμα — тело) — нуклеопротеиновые структуры в ядре эукариотической клетки.

Белок + ДНК = хромосома

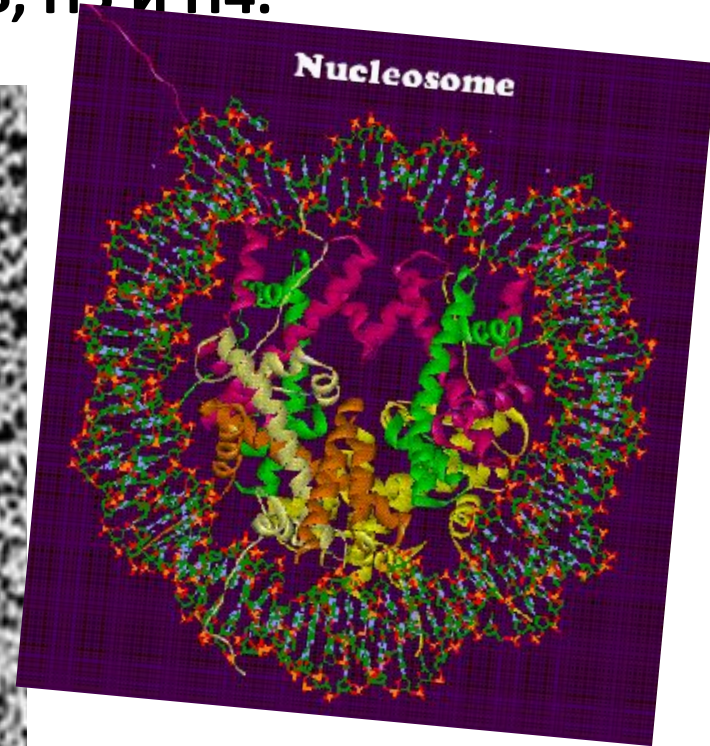
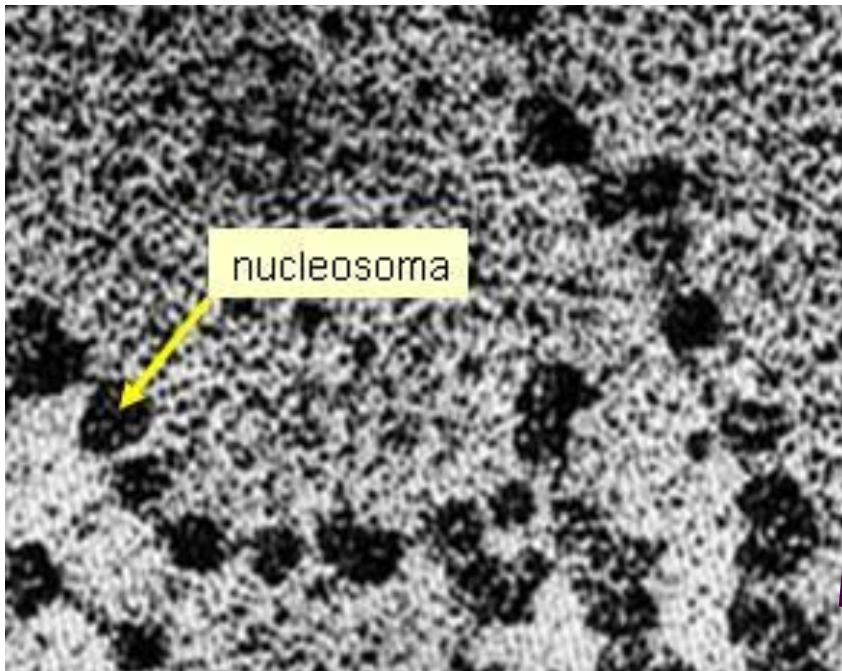


ДНК В СОСТАВЕ ХРОМОСОМ



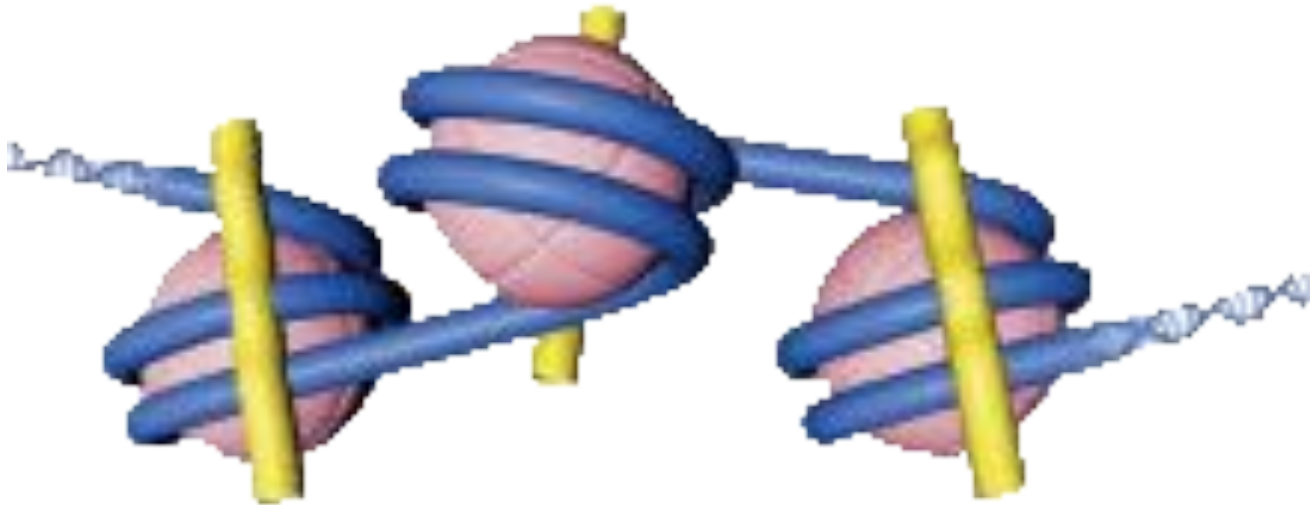
Нуклеосома

Нуклеосома — это структурная часть хромосомы, образованная совместной упаковкой нити ДНК с гистоновыми белками H2A, H2B, H3 и H4.

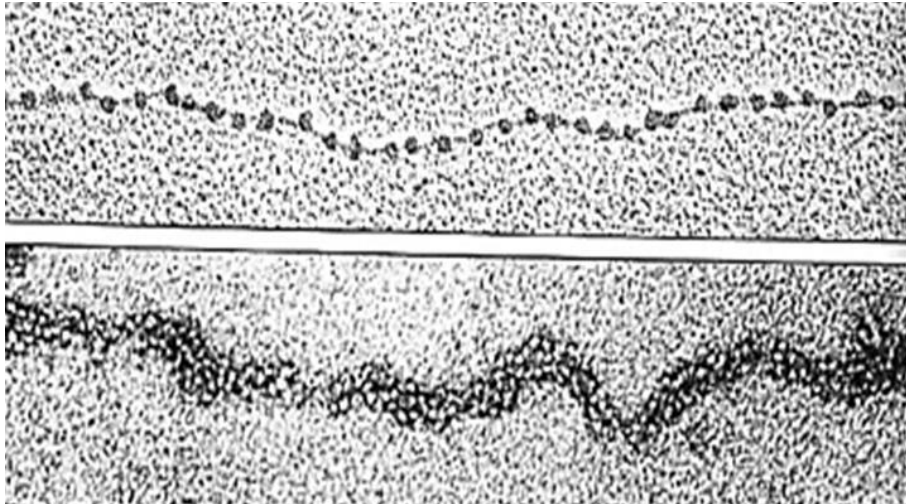


Нуклеосома, первый уровень упаковки

Двойная спираль ДНК дважды огибает комплекс гистонных протеинов. Точное положение уплотнительного протеина H1 требует еще уточнения.

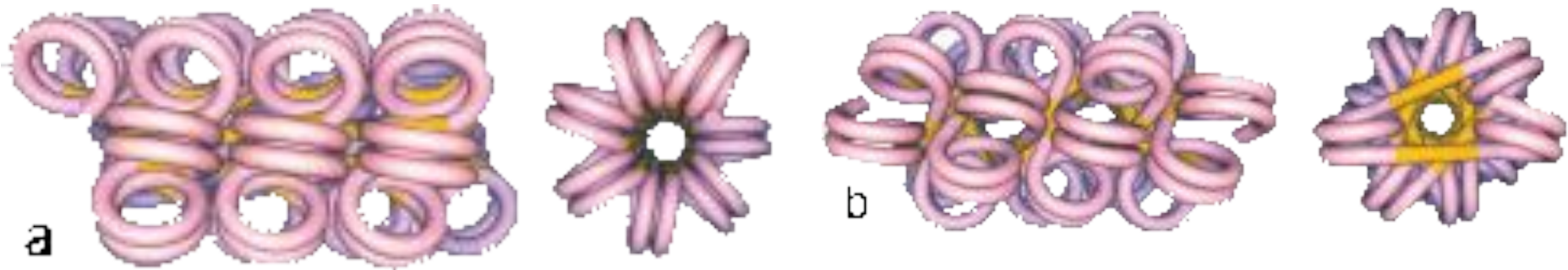


Нуклеосома, первый уровень упаковки



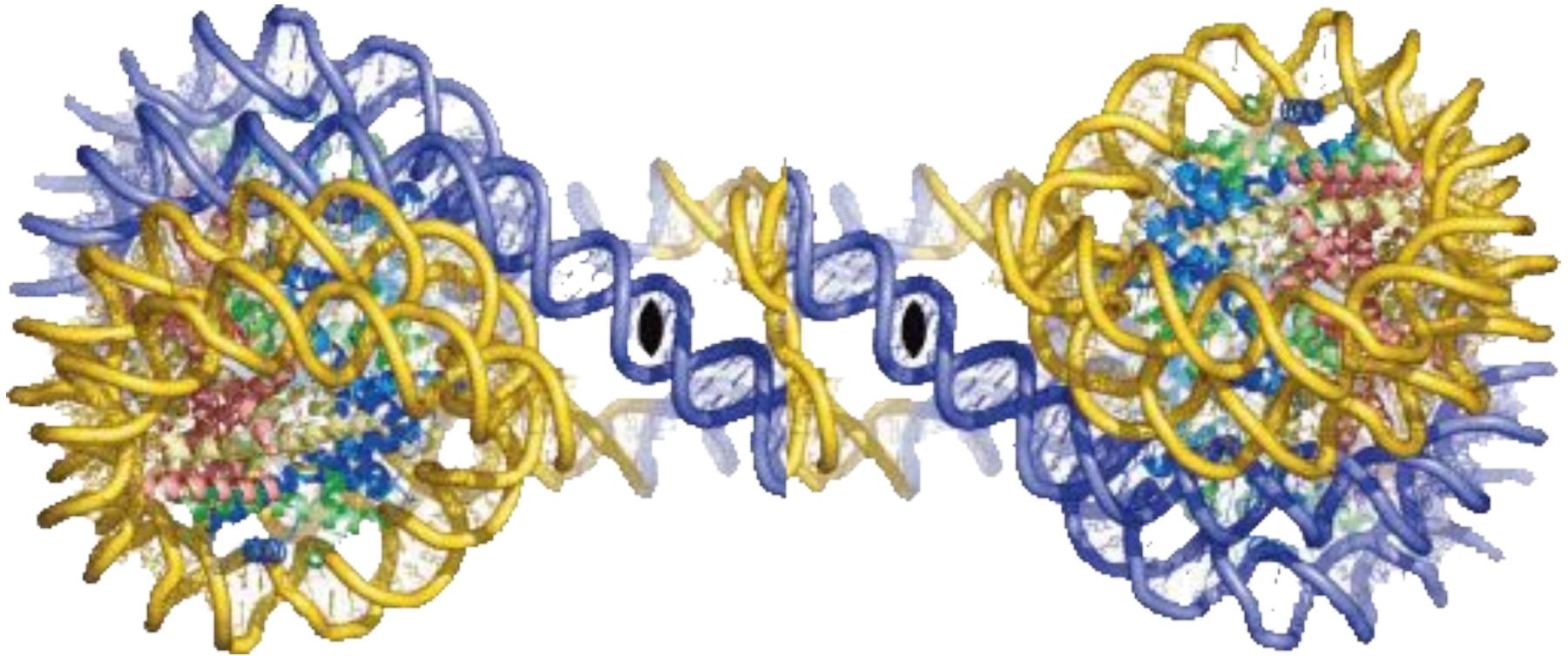
Последовательность нуклеосом, соединенная гистоновым белком H1, формирует нуклеофиламент (nucleofilament), или иначе нуклеосомную нить.

Нуклеосома, второй уровень упаковки



Вопреки тому, что полагали до сих пор, структура «жемчужного ожерелья» ДНК закручивается не в форме спиралевидной структуры (a), а в форме зигзага (b).

Нуклеосомы



Структура тетрануклеосомы показывает, что две нуклеосомы, сложенные одна в другую, соединены с двумя другими нуклеосомами, расположенными напротив, посредством прямой нити ДНК. Эти две кипы соответственно сложены в противоположном направлении.

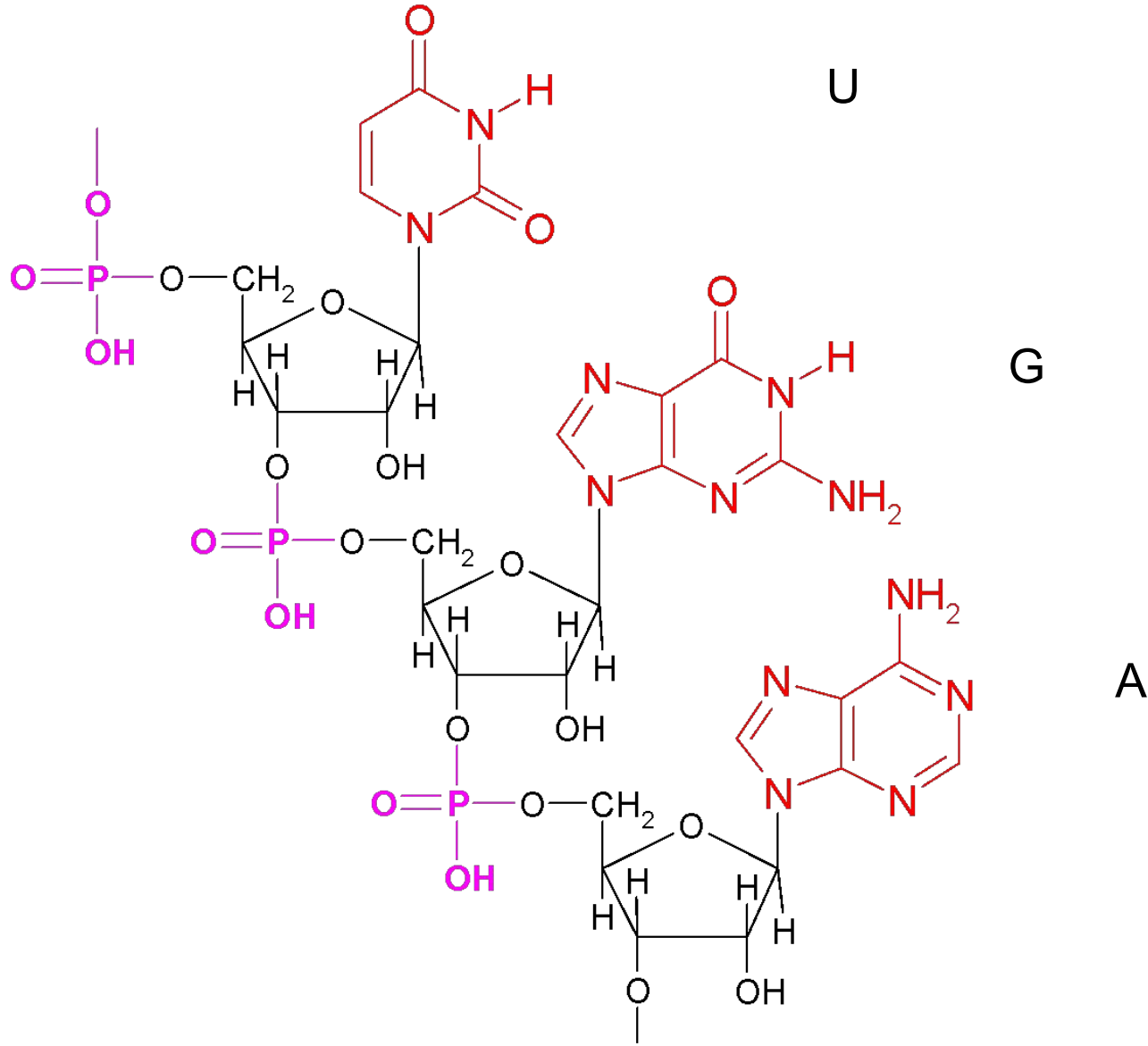
РНК

РНК локализованы в цитоплазме и рибосомах.

В зависимости от функций, местонахождения и состава РНК делятся на три основных вида:

- 1. Информационная или матричная мРНК**
- 2. Рибосомальная рРНК**
- 3. Транспортная тРНК**

Первичная структура РНК



Информационная РНК

Информационная РНК несет точную копию генетической информации, закодированной в определенном участке ДНК.

Каждой АК соответствует в мРНК триплет нуклеотидов, т.н. *кодон*.

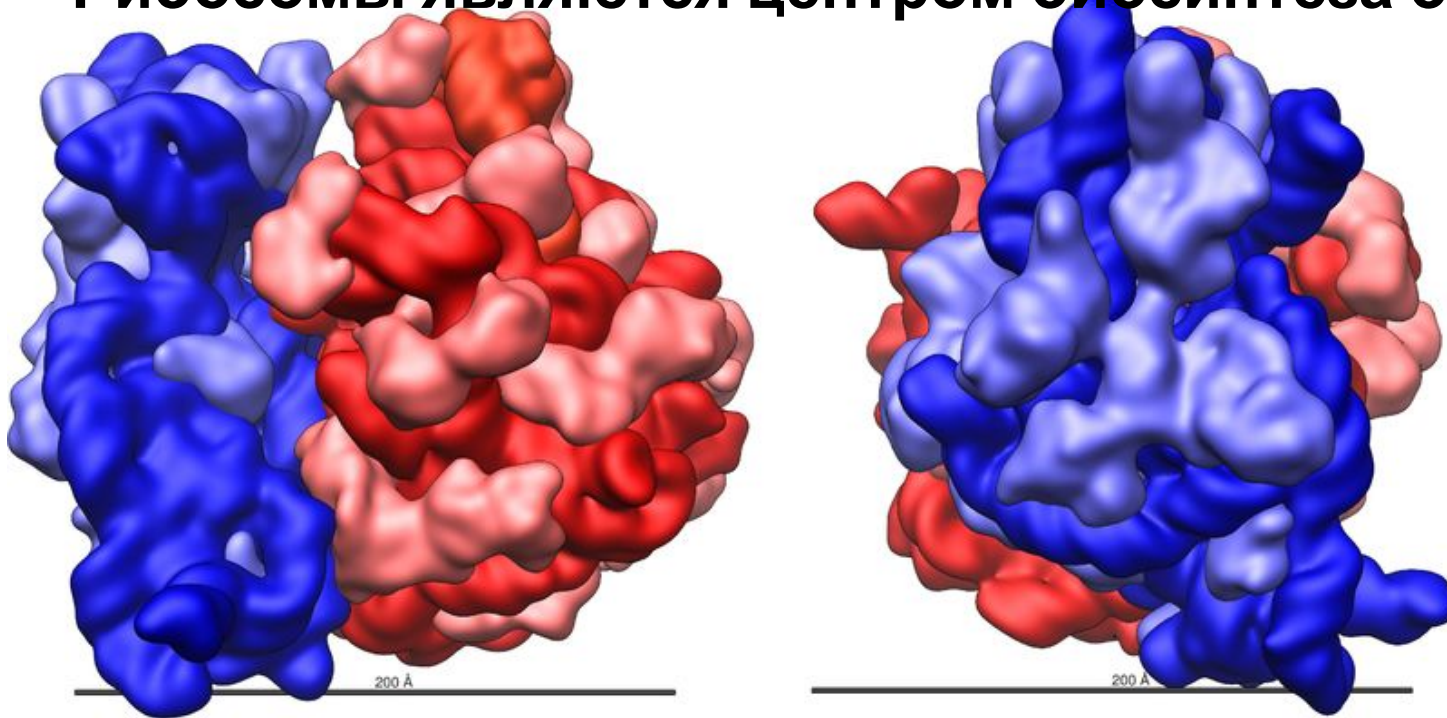
Например, аланин – ГЦУ, лизин – ЦУУ.

Последовательность кодонов в цепи мРНК определяет последовательность АК в белках.

Рибосо

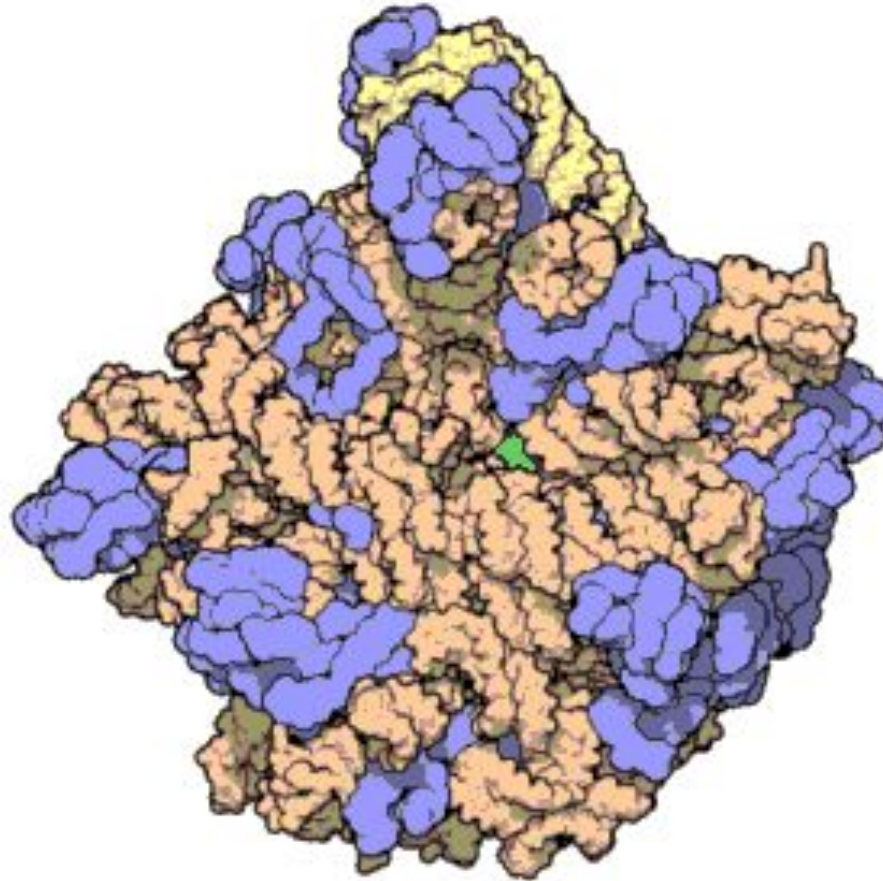
Рибосомы — это сложные надмолекулярные структуры, состоящие из четырех рРНК и нескольких десятков белков.

Рибосомы являются центром биосинтеза белков.

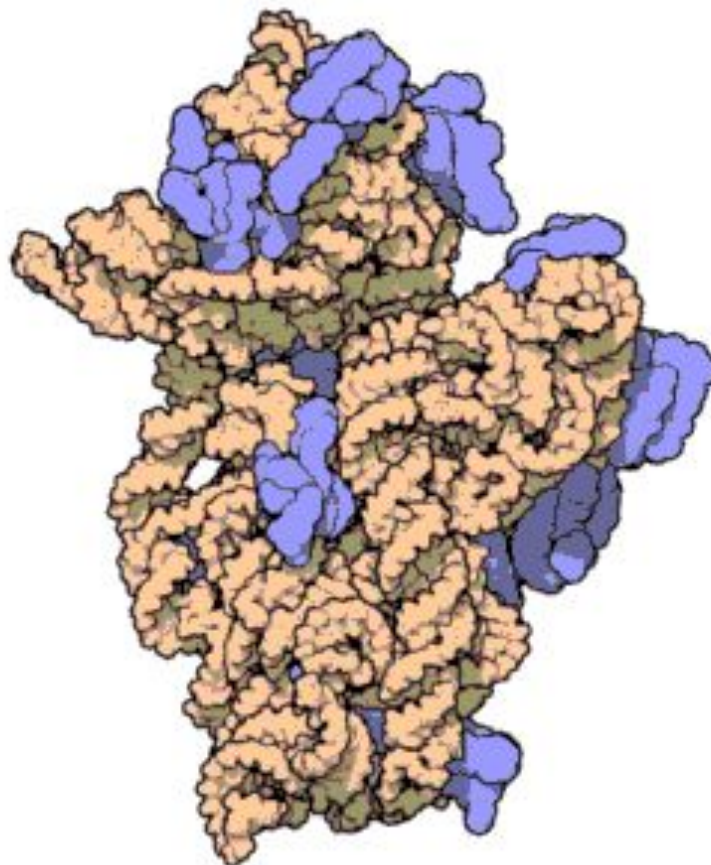


Большая (красная) и малая (синяя) субъединицы

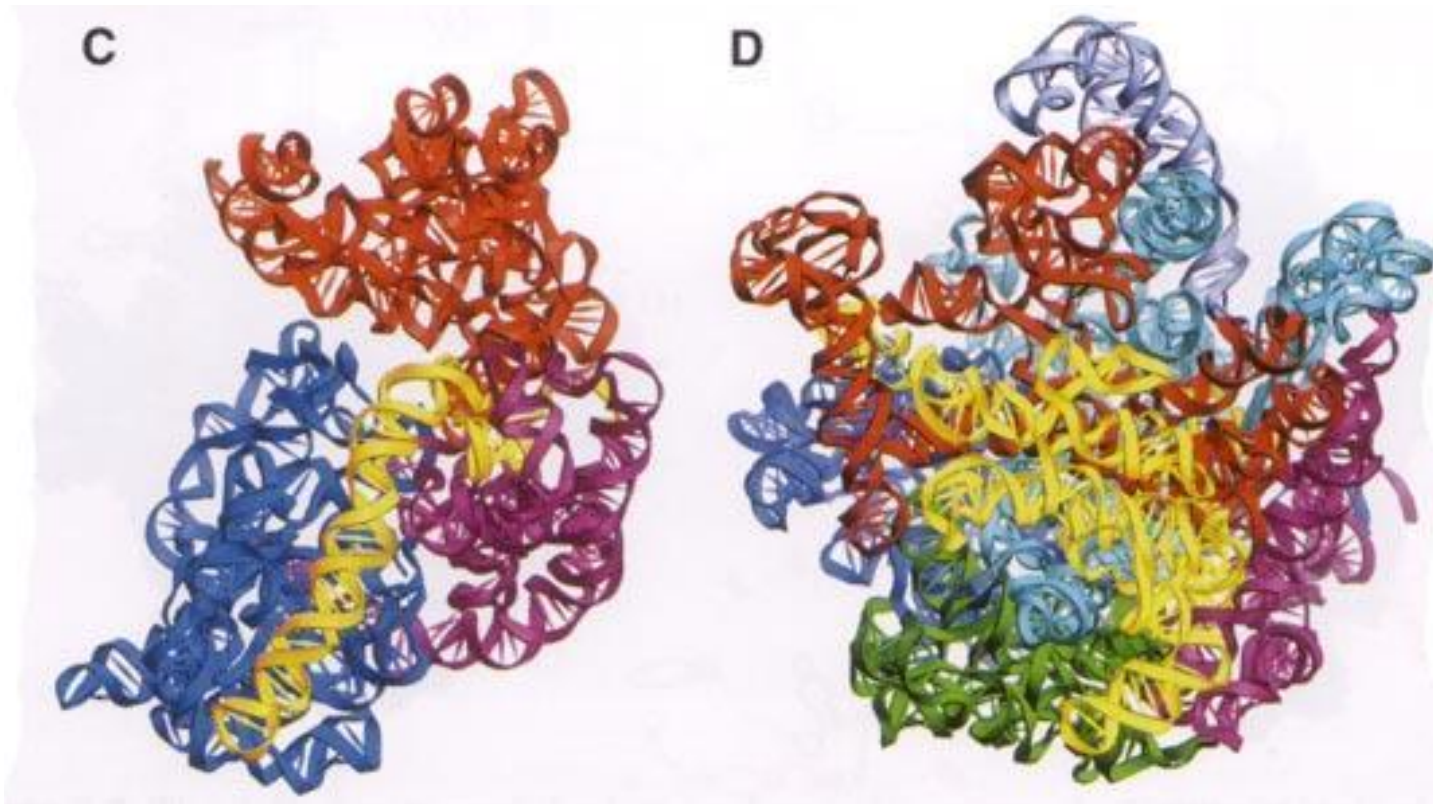
Рибосома (большая субъединица)



Рибосома (малая субъединица)



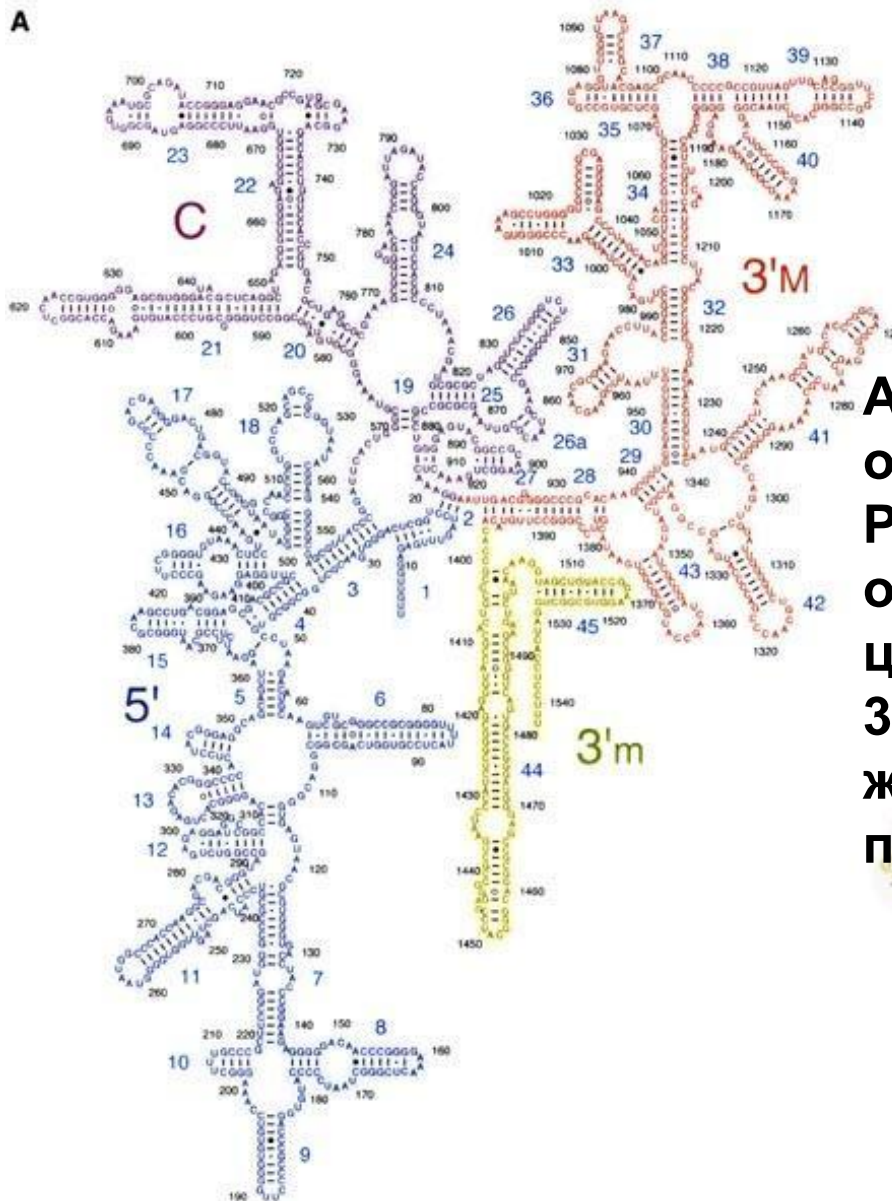
СТРУКТУРА РИБОСОМАЛЬНОЙ РНК



С. Трехмерная структура рРНК малой субъединицы. Цвет доменов соответствует рис. А. Домены образуют отдельные блоки укладки.

Д. Трехмерная структура рРНК большой субъединицы. Цвет доменов соответствует рис.В. В процессе укладки (фолдинга) домены сильно переплетаются друг с другом.

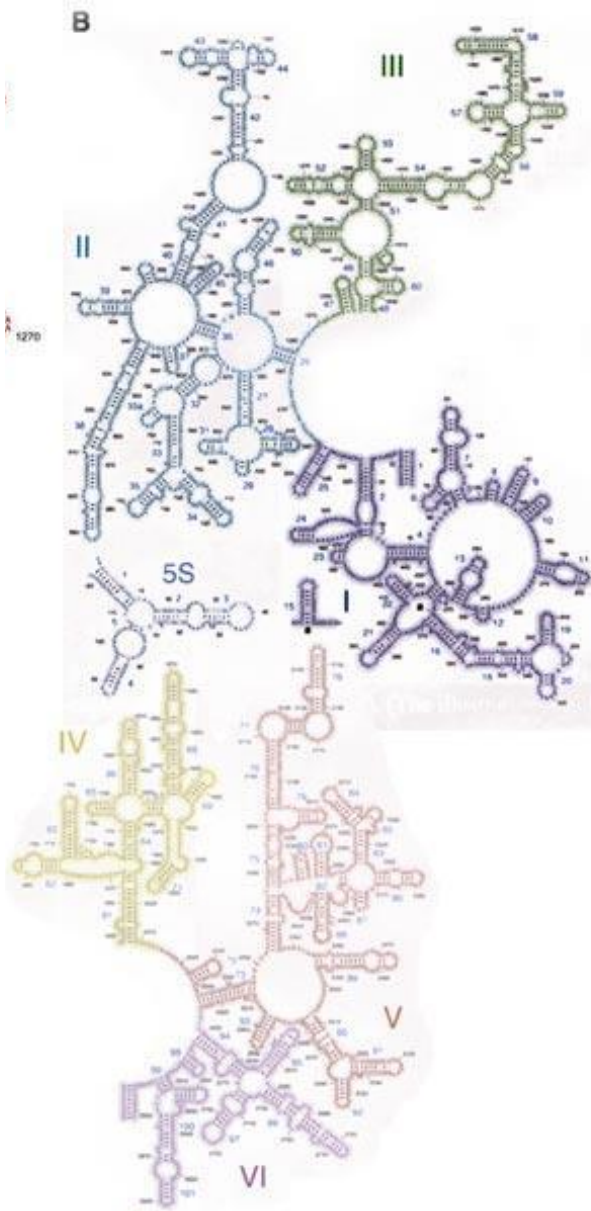
СТРУКТУРА РИБОСОМАЛЬНОЙ РНК



Рибосомальная РНК составляет большую часть клеточных РНК.

A. Вторичная структура и доменная организация рибосомальной 16S РНК *T. Thermophilus*. 5'-домен обозначен синим цветом, центральный — фиолетовым, 3'-major — красным и 3'-minor — желтым. Спиральные участки пронумерованы от 1 до 45.

СТРУКТУРА РИБСОМАЛЬНОЙ РНК



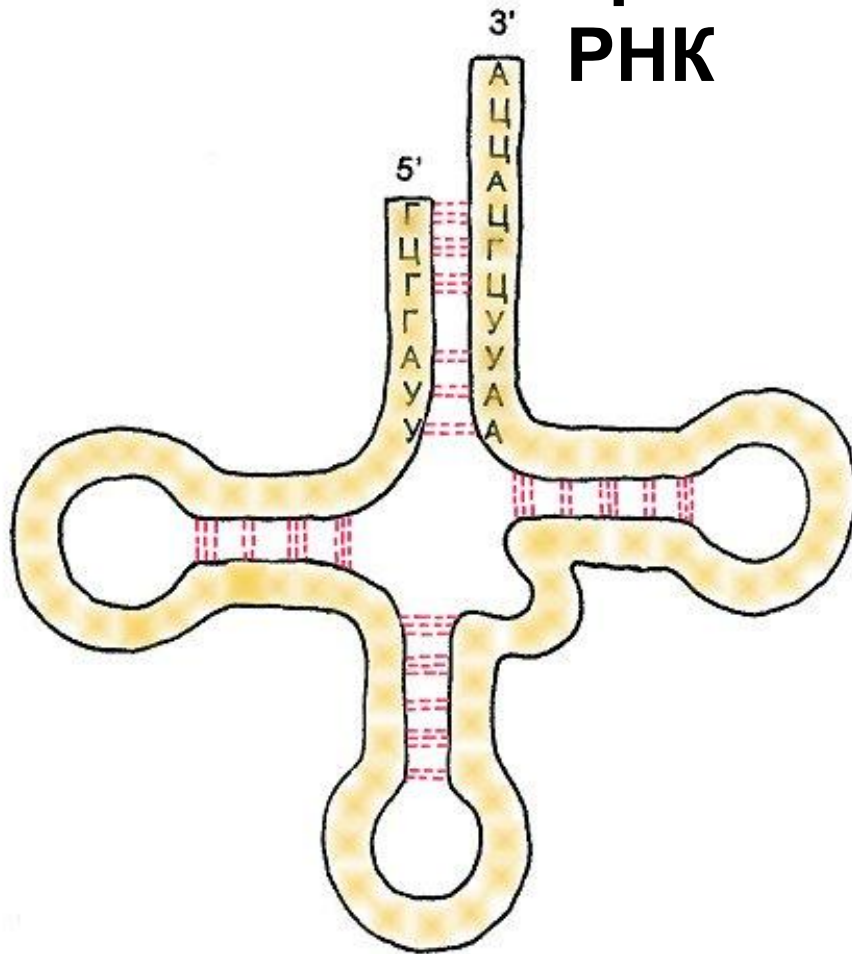
В. Вторичная структура и доменная организация 16S и 5S РНК *T. thermophilus*. Шесть доменов обозначены разными цветами. спиральные участки пронумерованы от 1 до 101.

Транспортная РНК

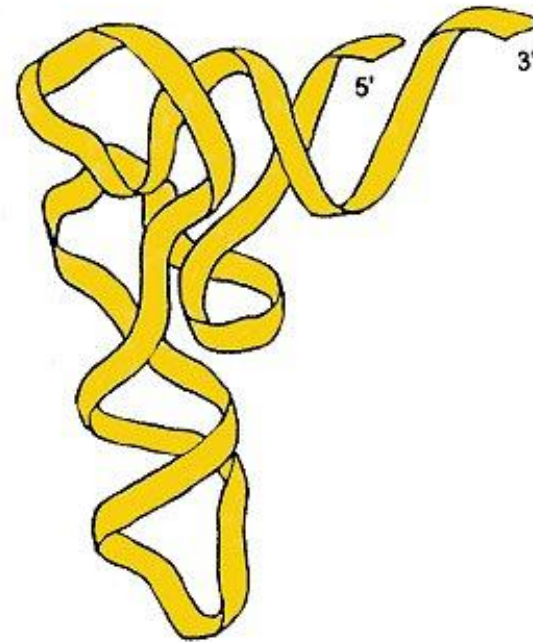
Транспортные РНК доставляют аминокислоты к месту синтеза белка.

Транспортные РНК обладают вторичной структурой, напоминающей лист клевера. Это частично спирализованная одинарная полинуклеотидная цепь.

Транспортная РНК



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



Третичная структура

Транспортная РНК

Участки спирализации “шпильки” удерживаются за счет водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями:

гуанин-цитозин аденин-урацил.

Участки, не вовлекаемые в образование водородных связей, образуют петли.

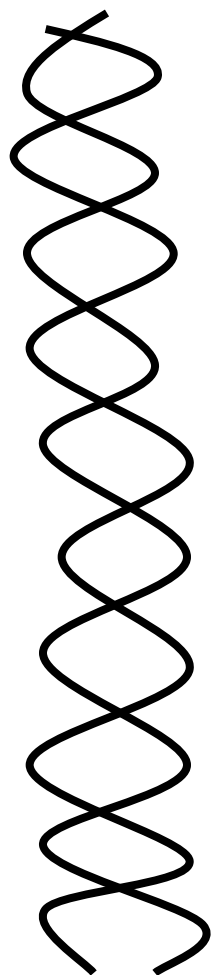
Антикодоновая петля содержит триплет нуклеотидов – антикодон, который соответствует кодону матричной РНК.

Транскрипция

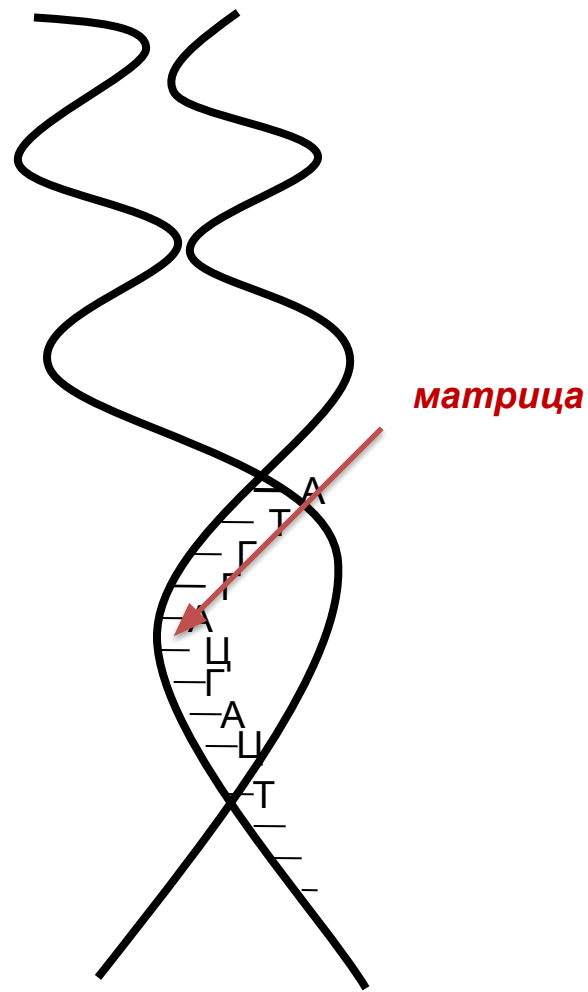
Первый этап биосинтеза белка - транскрипция.

Транскрипция — это переписывание информации с последовательности нуклеотидов ДНК в последовательность нуклеотидов РНК.

В определенном участке ДНК под действием ферментов белки-гистоны отделяются, водородные связи рвутся, и двойная спираль ДНК раскручивается. Одна из цепочек становится **матрицей** для построения мРНК.

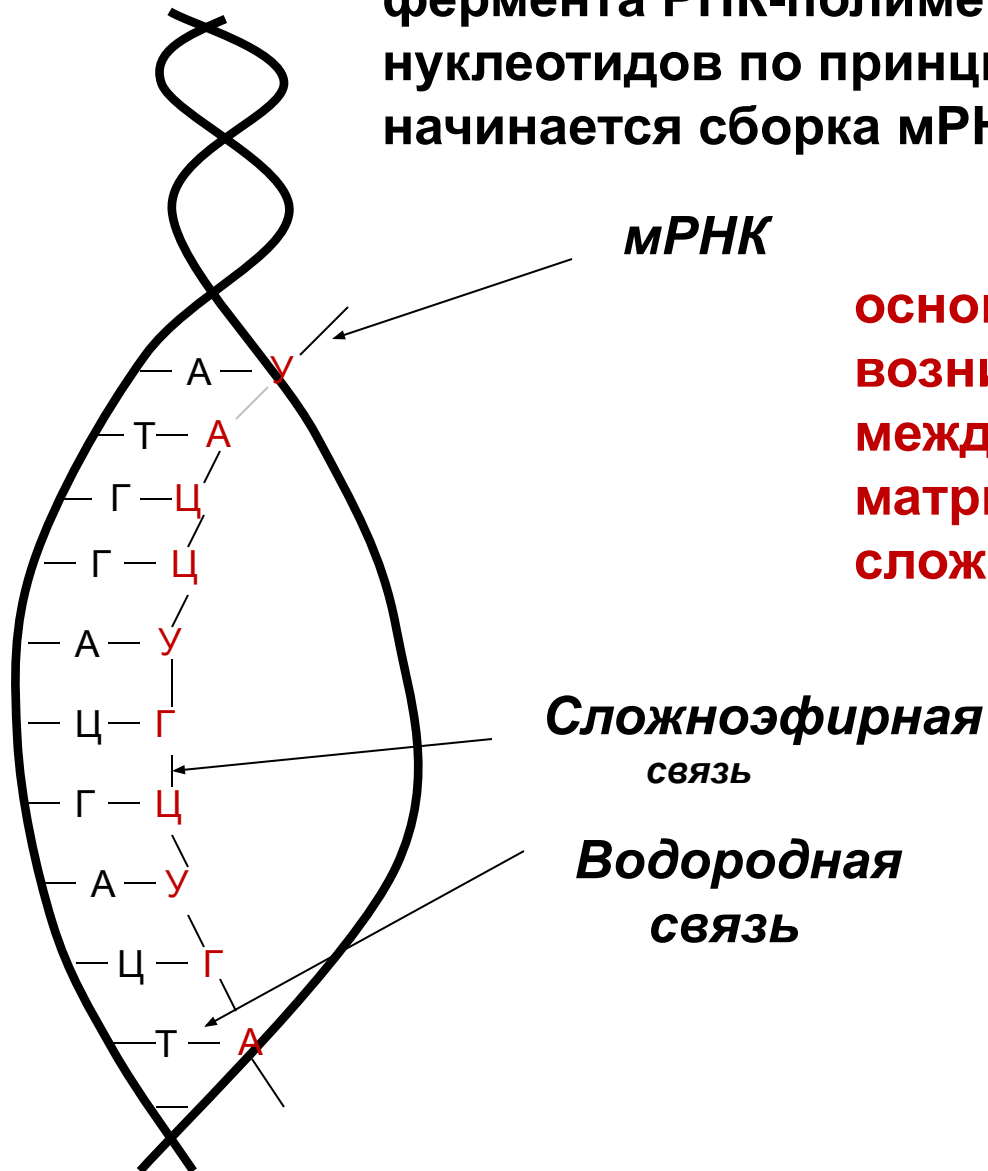


ДНК



Транскрипция

Затем на основе матрицы под действием фермента РНК-полимеразы из свободных нуклеотидов по принципу комплементарности начинается сборка мРНК.



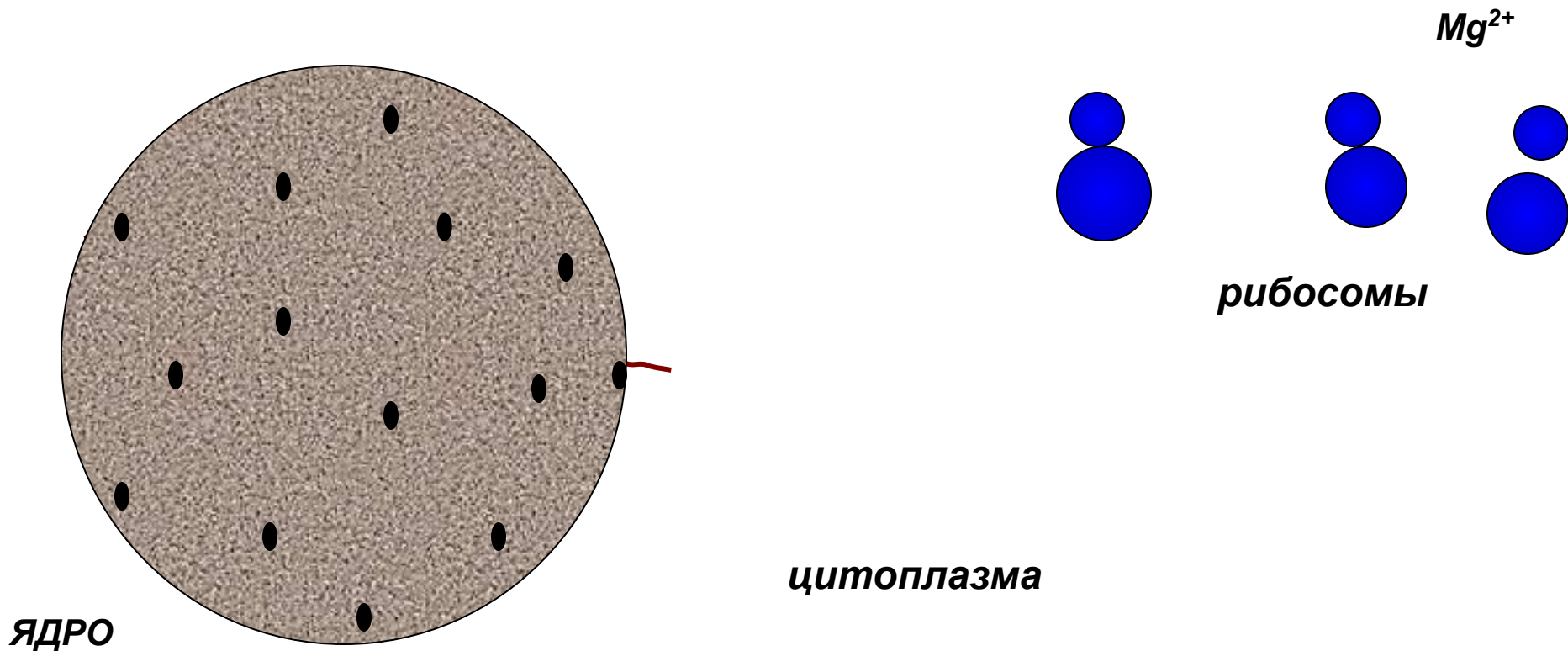
Между азотистыми основаниями ДНК и РНК возникают водородные связи, а между нуклеотидами самой матричной РНК образуются сложноэфирные связи.

Сложноэфирная
связь

Водородная
связь

Транскрипция

После сборки мРНК водородные связи между азотистыми основаниями ДНК и мРНК рвутся, и новообразованная мРНК через поры в ядре уходит в цитоплазму, где прикрепляется к рибосомам. А две цепочки ДНК вновь соединяются, восстанавливая двойную спираль, и опять связываются с белками-гистонами.

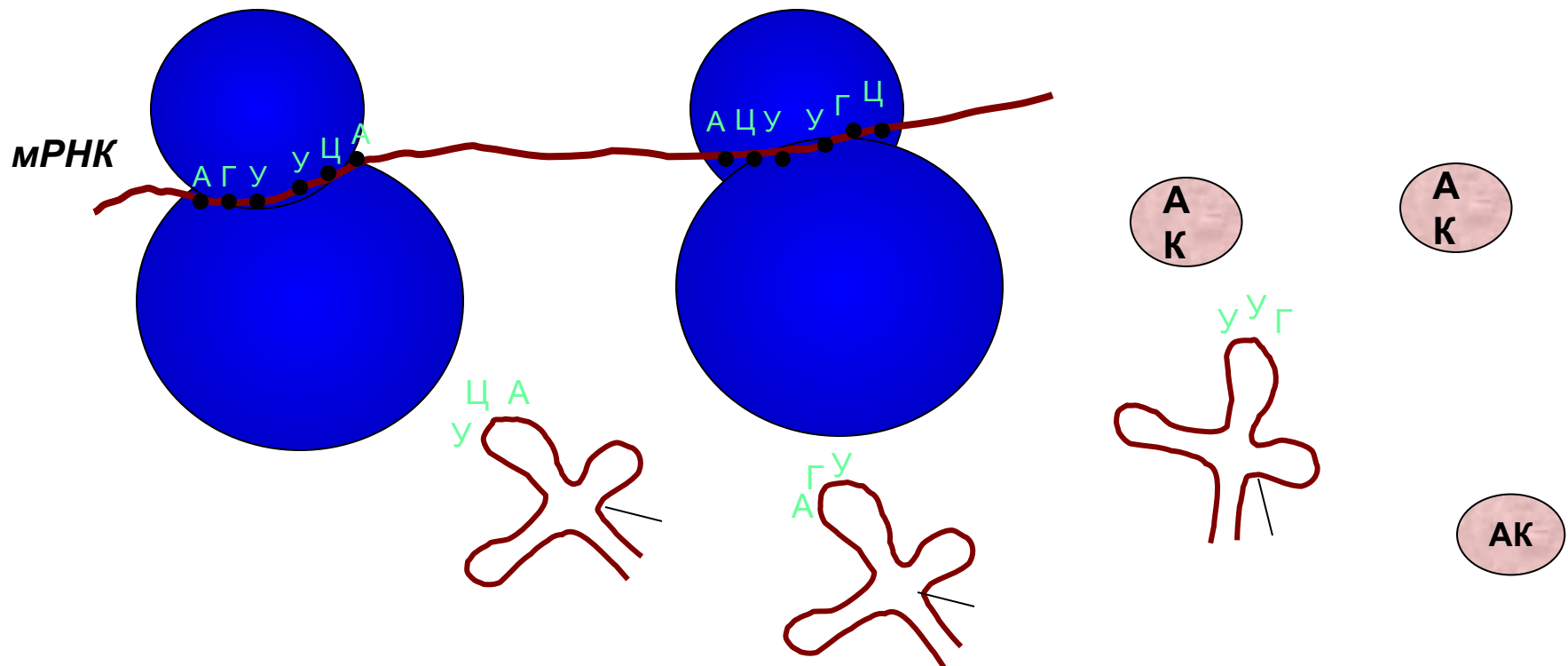


Трансляция

Второй этап биосинтеза – трансляция.

Трансляция – перевод последовательности нуклеотидов в последовательность аминокислот белка.

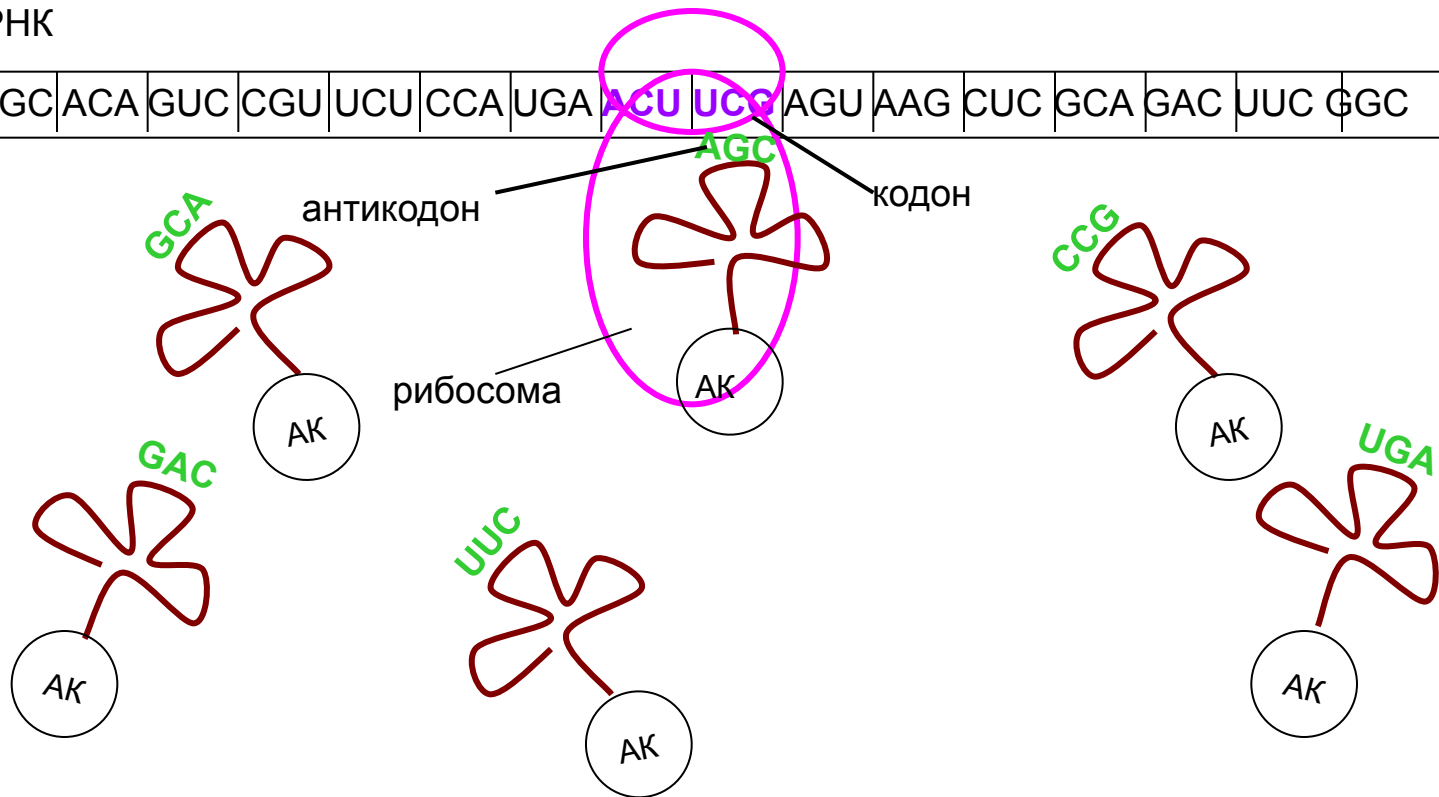
В цитоплазме аминокислоты под строгим контролем ферментов аминоацил-тРНК-синтетаз соединяются с тРНК, образуя аминоацил-тРНК.



Трансляция

Это очень видоспецифичные реакции: определенный фермент способен узнавать и связываться с соответствующей тРНК только свою аминокислоту.

мРНК

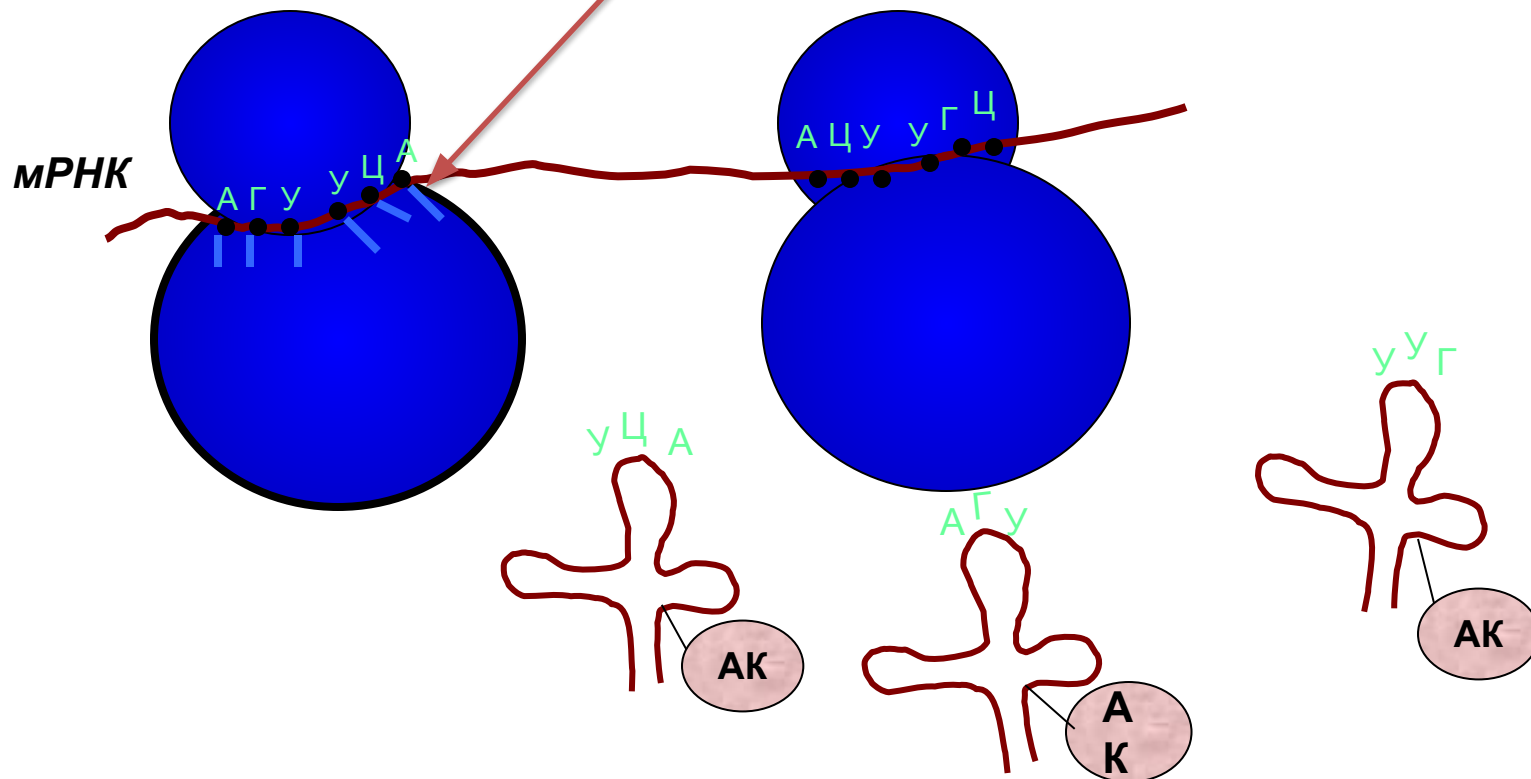


Далее тРНК движется к мРНК и связывается комплементарно своим антикодоном с кодоном мРНК. Затем второй кодон соединяется с комплексом второй аминоксил-тРНК, содержащей свой специфический антикодон.

Антикодон – триплет нуклеотидов на вершухе тРНК.

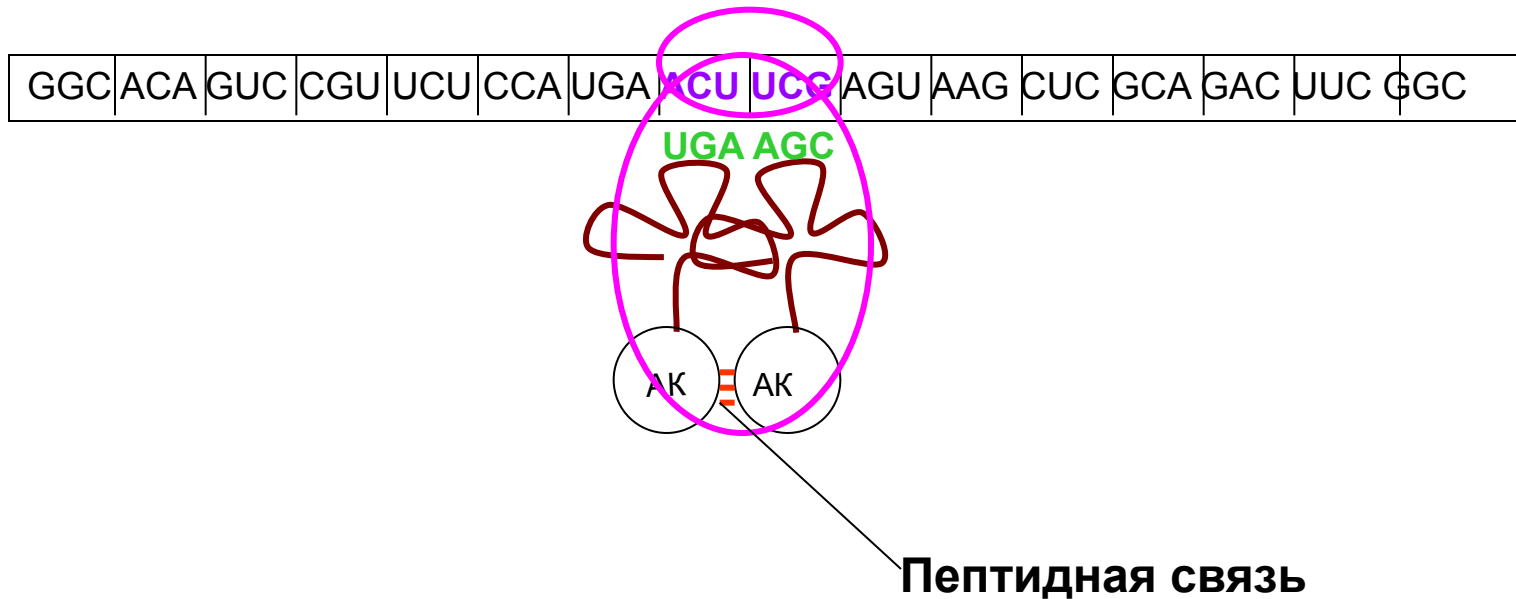
Кодон – триплет нуклеотидов на мРНК.

Водородные связи между комплементарными нуклеотидами



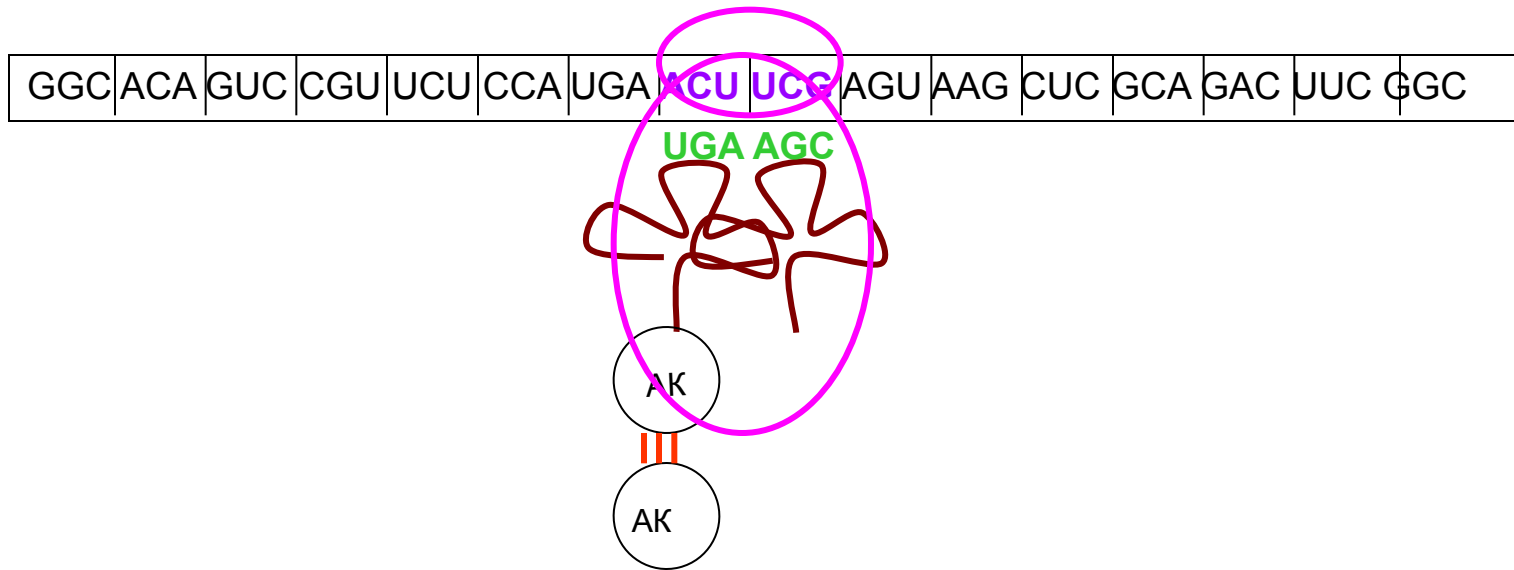
Трансляция

После присоединения к мРНК двух тРНК под действием фермента происходит образование пептидной связи между аминокислотами.



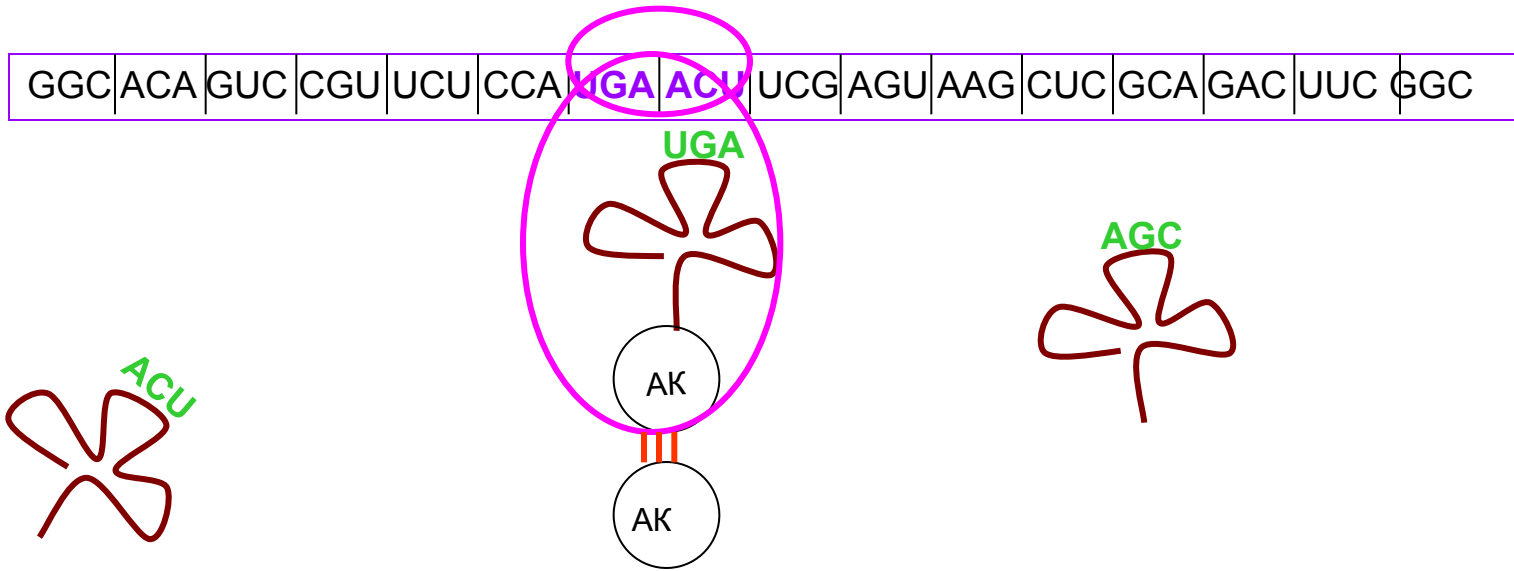
Трансляция

Первая аминокислота перемещается на вторую тРНК.



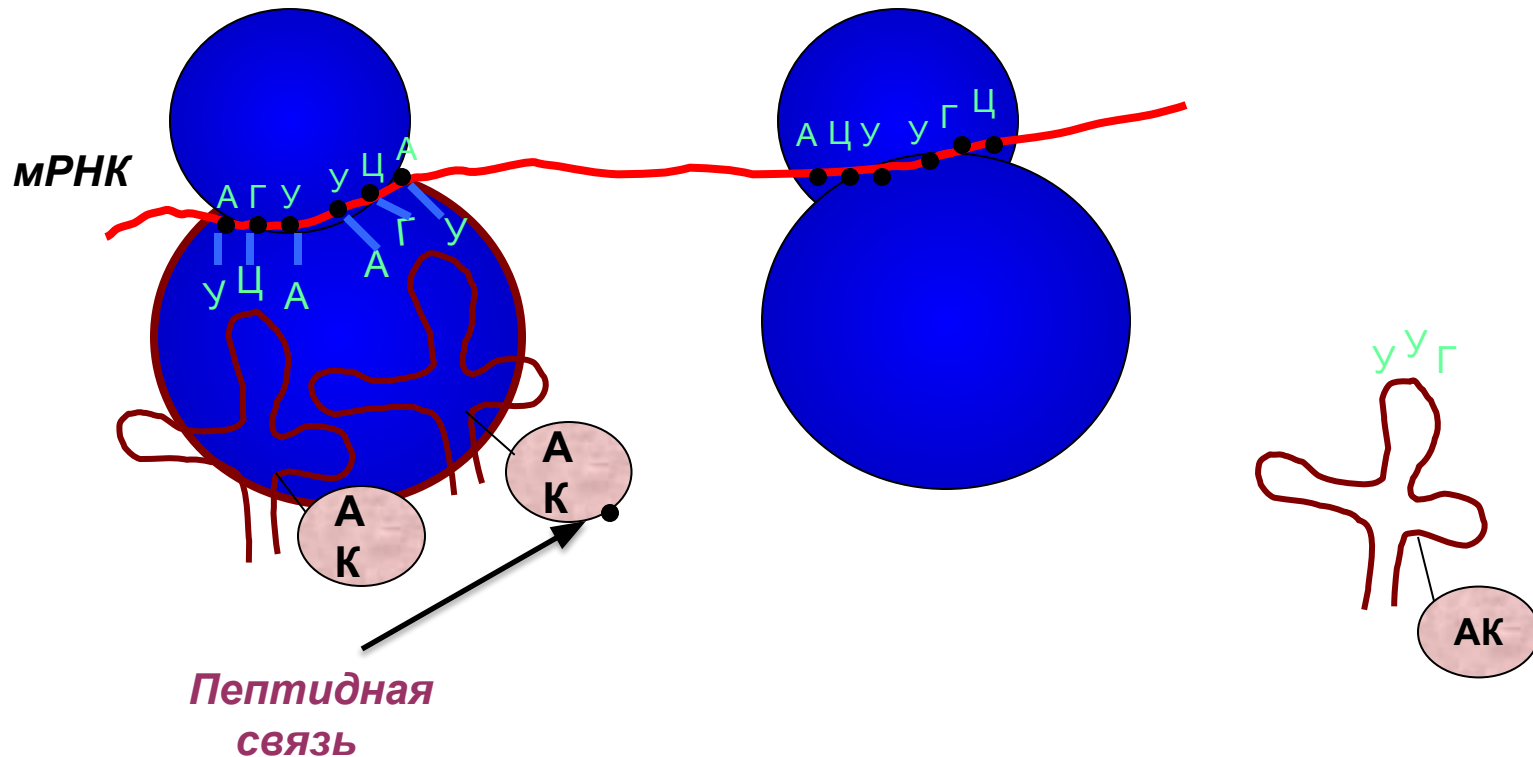
Трансляция

А освободившаяся первая тРНК уходит.



Трансляция

После этого рибосома передвигается по нити для того, чтобы поставить на рабочее место следующий кодон.



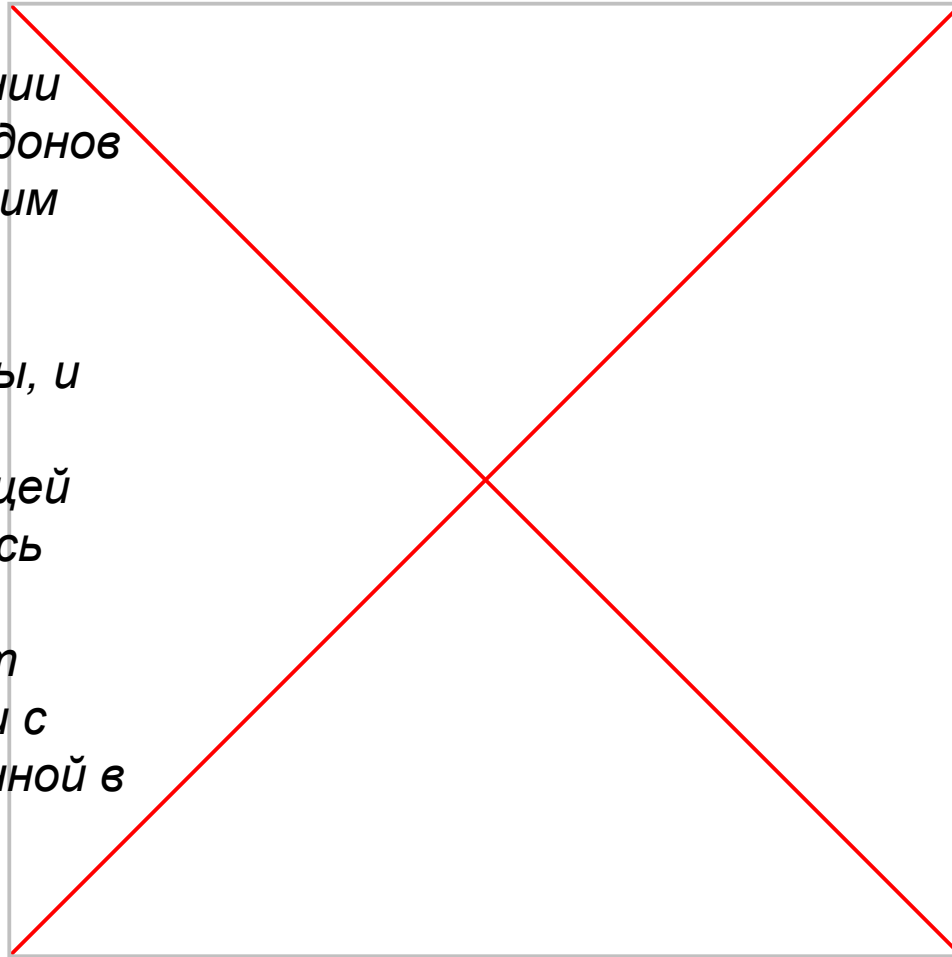
Трансляция

Такое последовательное считывание рибосомой заключенного в мРНК «текста» продолжается до тех пор, пока процесс не доходит до одного из стоп-кодонов (*терминальных кодонов*). Такими триплетами являются триплеты УАА, УАГ, УГА.



Трансляция

Функция рибосом заключается в узнавании трехнуклеотидных кодонов мРНК, сопоставлении им соответствующих антикодонов тРНК, несущих аминокислоты, и присоединении этих аминокислот к растущей белковой цепи. Двигаясь вдоль молекулы мРНК, рибосома синтезирует белок в соответствии с информацией, заложенной в молекуле мРНК.



Генетический код

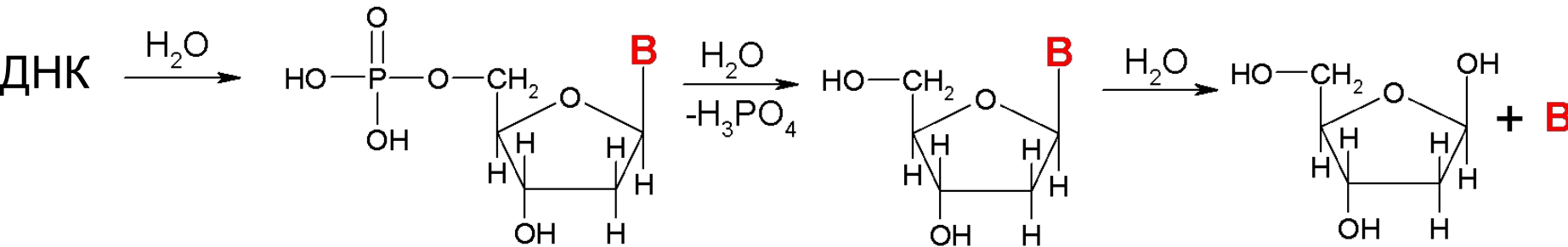
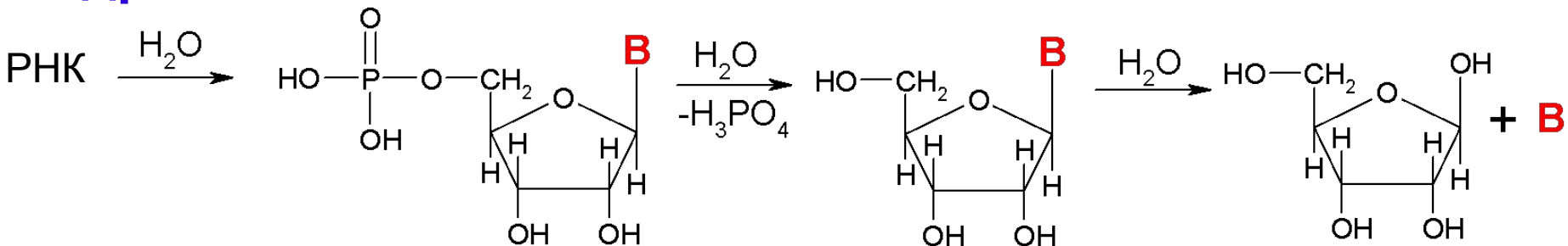
	U	C	A	G	
U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA Stop UAG Stop	UGU } Cys UGC } UGA Stop UGG } Trp	U C A G
C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G
A	AUU } Ile AUC } AUA } AUG } Met*	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
G	GUU } GUC } Val GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G

Свойства генетического кода

- 1) **Триплетность:** одна аминокислота кодируется тремя нуклеотидами. Эти 3 нуклеотида в ДНК называются триплет, в мРНК – кодон, в тРНК – антикодон.
- 2) **Избыточность:** аминокислот всего 20, а триплетов, кодирующих аминокислоты – 61, поэтому каждая аминокислота кодируется несколькими триплетами.
- 3) **Однозначность:** каждый триплет (кодон) кодирует только одну аминокислоту.
- 4) **Универсальность:** генетический код одинаков для всех живых организмов на Земле.

Химические свойства нуклеиновых кислоты

Гидролиз



нуклеотиды

нуклеозиды

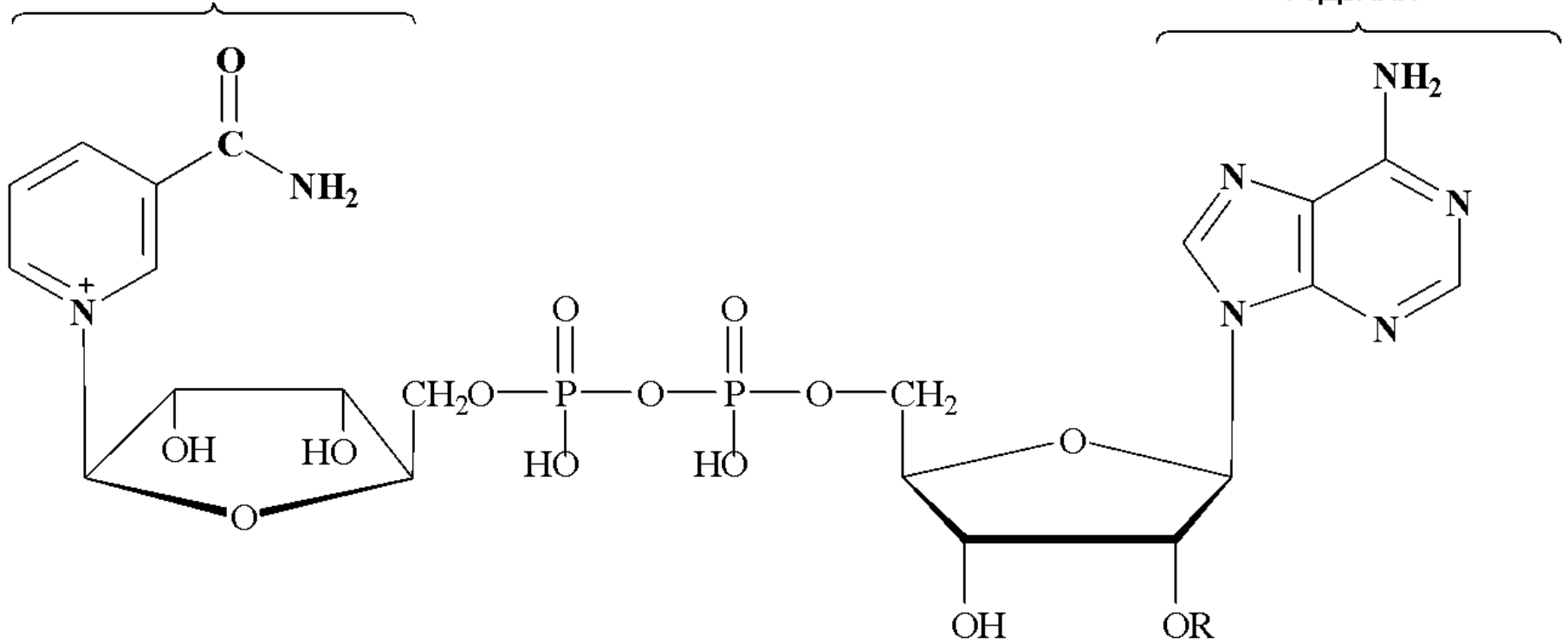
пентоза

нукл.
осн.

Никотинамидадениндинуклеотид

Никотинамид

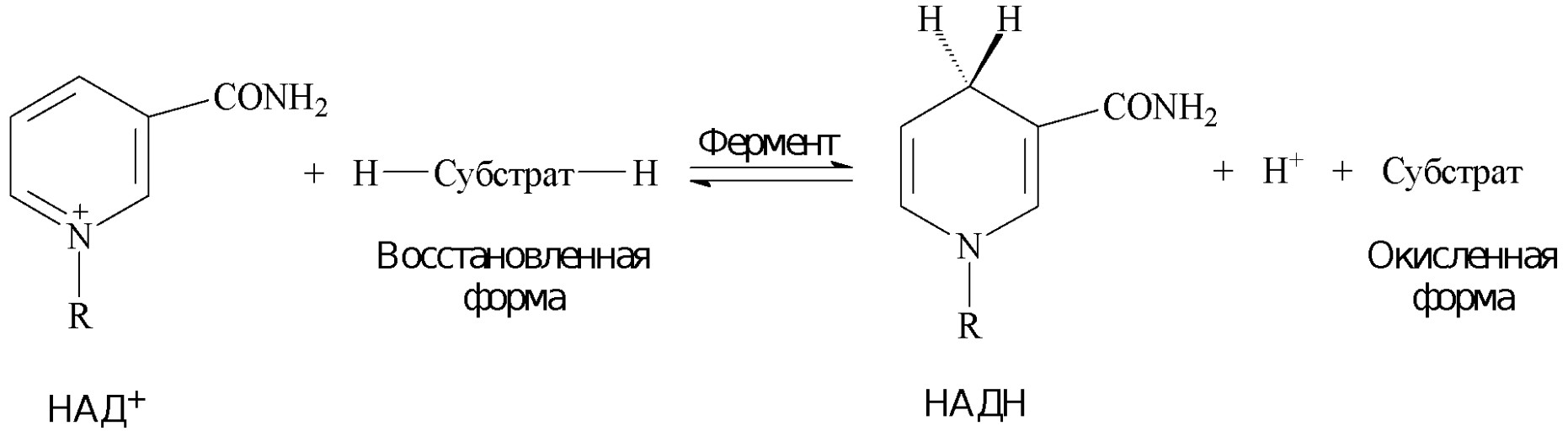
Аденин



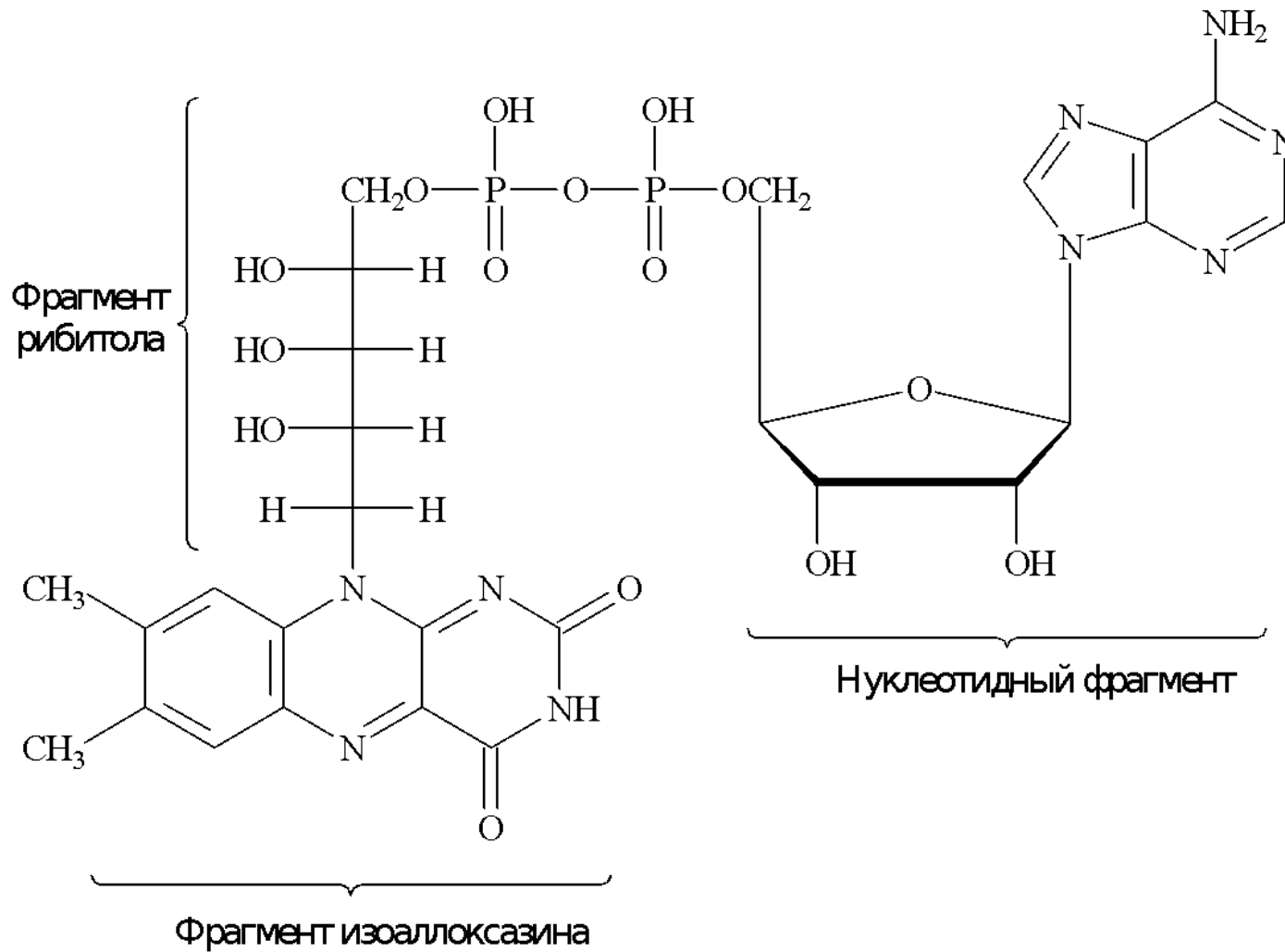
$R=H$ Никотинамидадениндинуклеотид (НАД⁺)

$R=PO_3H_2$ Никотинамидадениндинуклеотидфосфат (НАДФ⁺)

Никотинамидадениндинуклеотид

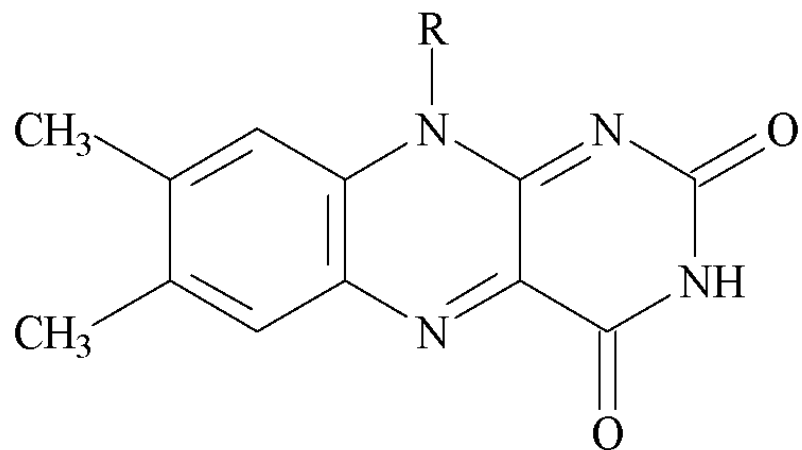


Флавинадениндинуклеотид

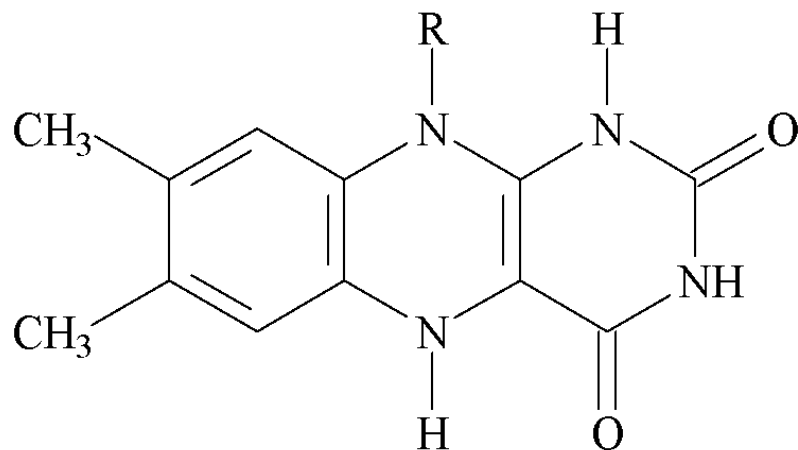
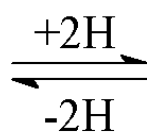


Флавинадениндинуклеотид (ФАД)

Флавинадениндинуклеотид



ФАД
(окисленная форма)



ФАДН₂
(восстановленная форма)

**Благодарю
за Ваше внимание!**