

Лекционный курс

по биологии



для студентов специальности  
«Лечебное дело».

Профессор кафедры биологии, д.б.н.  
Корытина Гульназ Фаритовна

# Лекция № 3



**Тема: «Молекулярные основы наследственности. Структурная и химическая организация ДНК и РНК. Ген как единица наследственности. Этапы биосинтеза белка»**

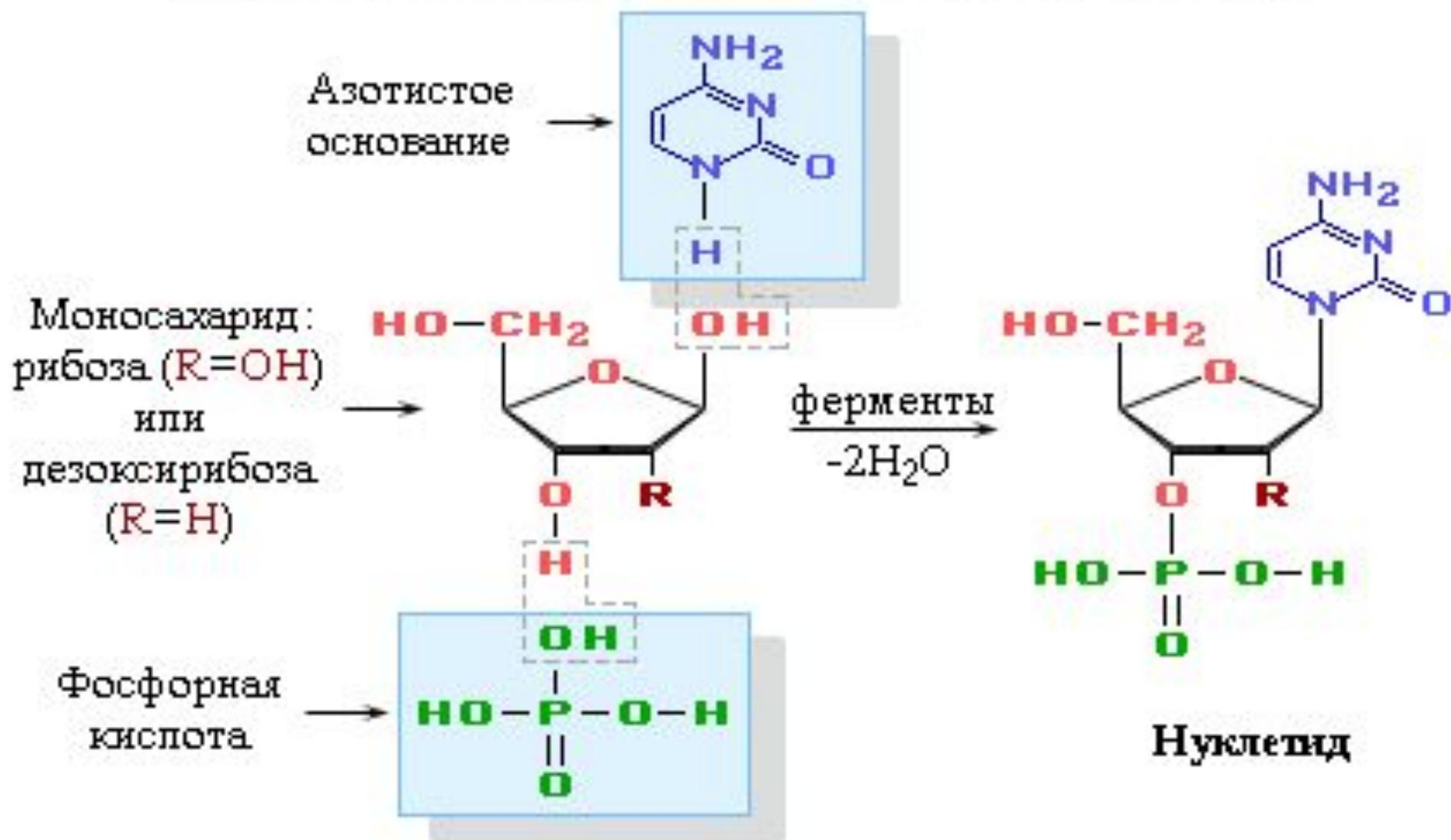
# План

- Структурная и химическая организация ДНК
- Структурная и химическая организация РНК
- Строение генов прокариот и эукариот
- Этапы биосинтеза белка
- Регуляция экспрессии генов у прокариот и эукариот

В 1953 г. молодые ученые из Кембриджского университета Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик представили трехмерную модель молекулы ДНК - двухцепочечная правозакрученная спираль



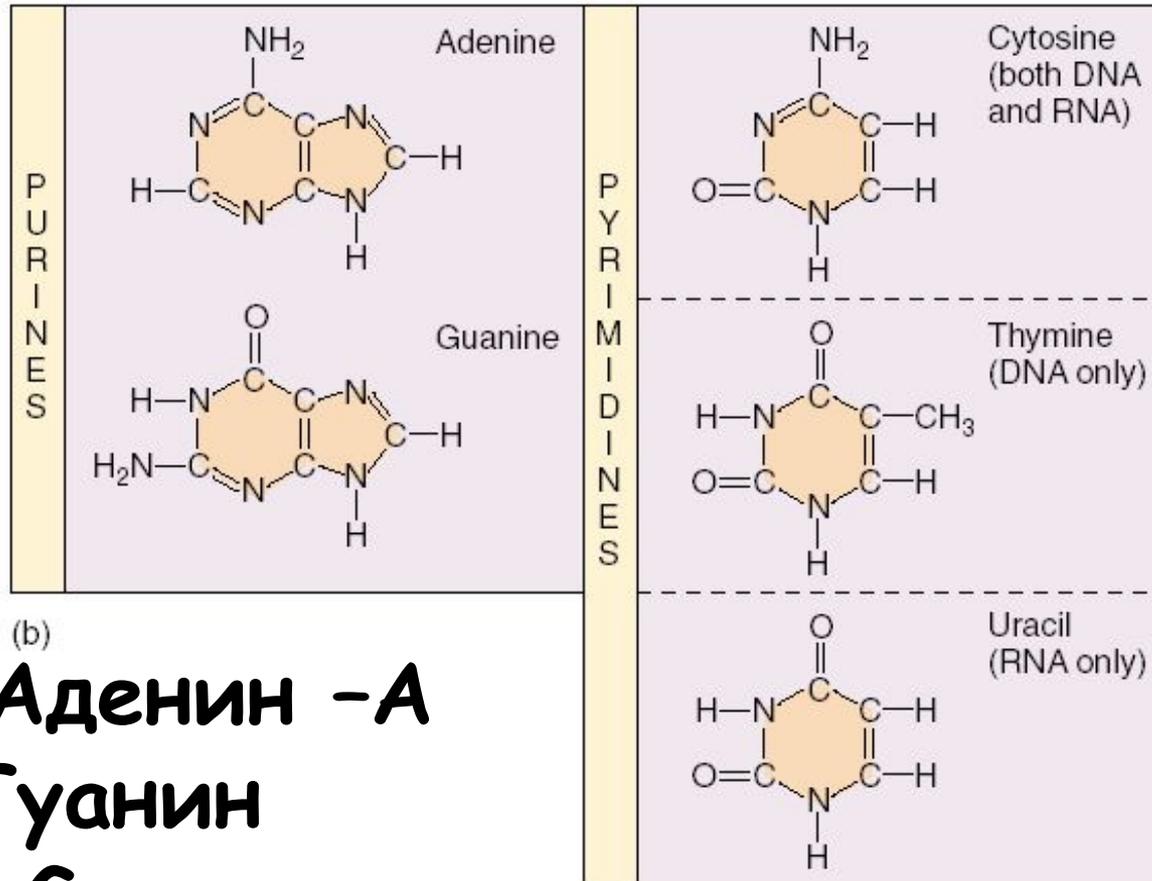
# Строение и составные части нуклеотида



# Нуклетиды

## Пурины

## Пиримидины



(b)

Аденин -А

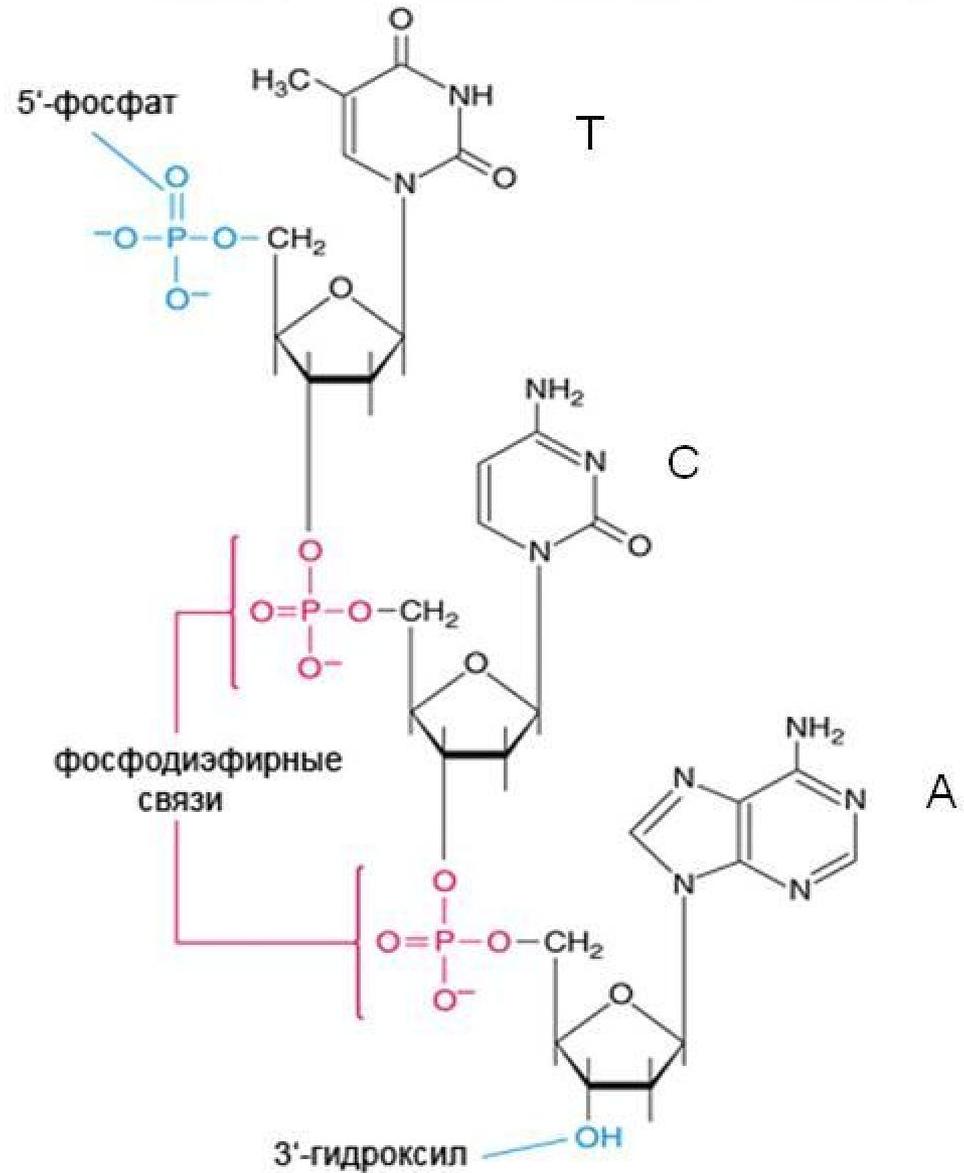
Гуанин

-G

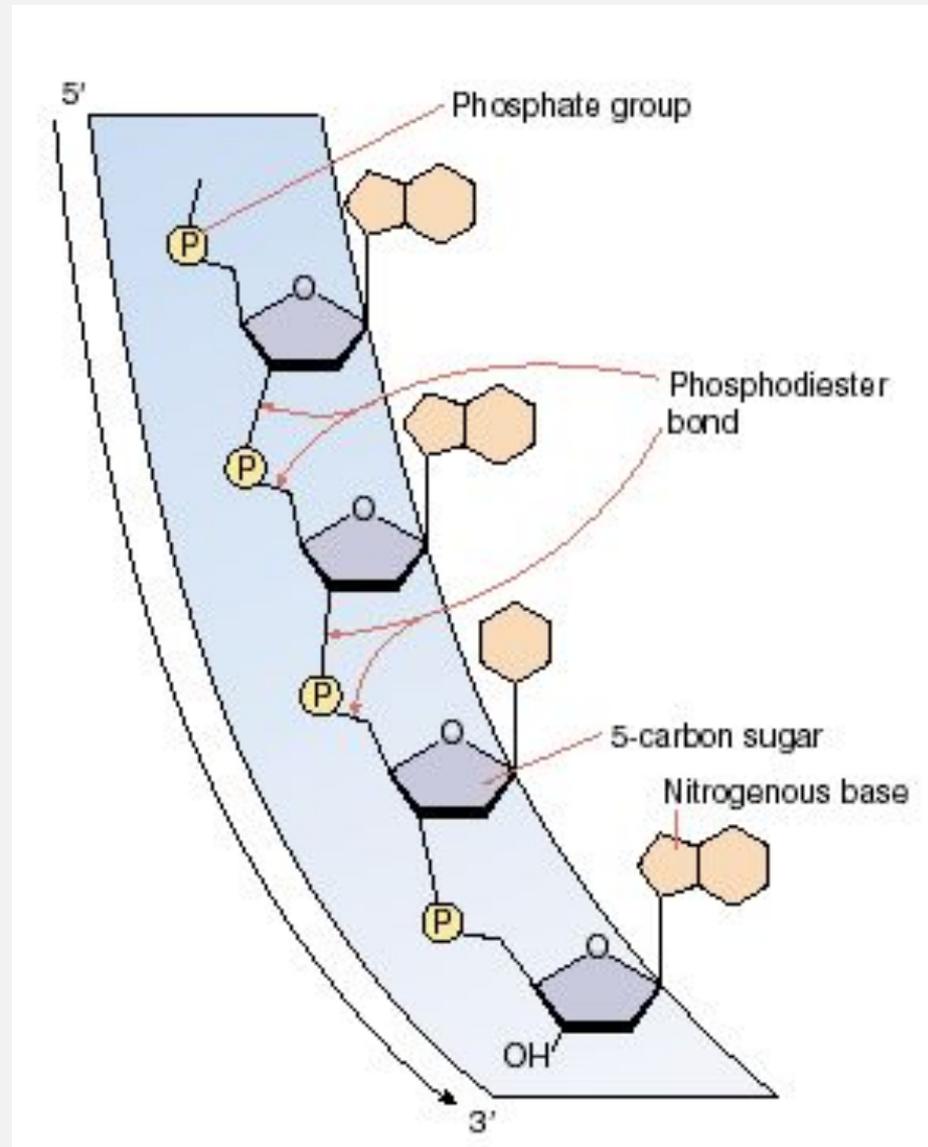
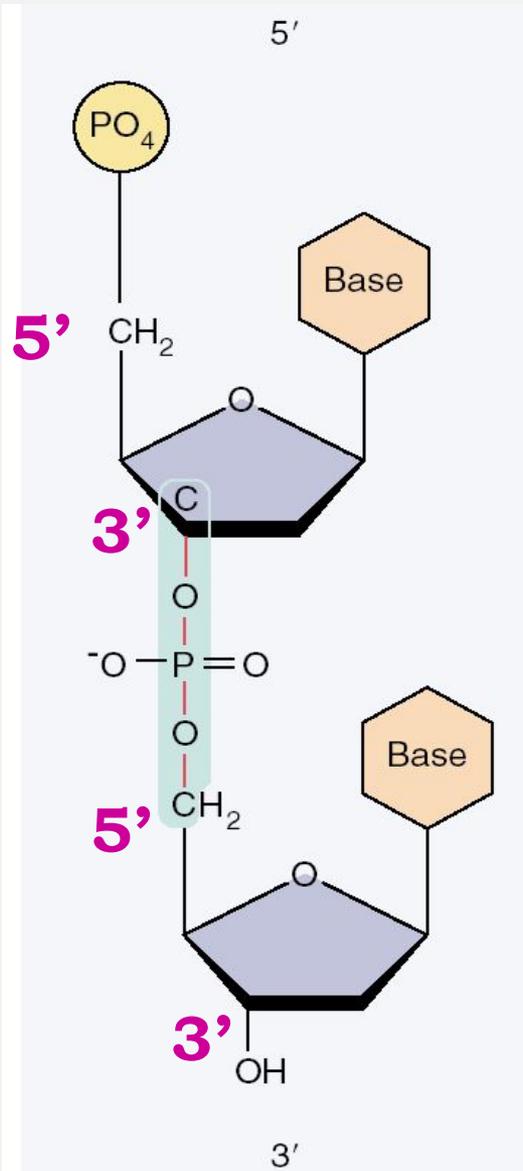
Цитозин -С  
Тимин -Т  
Урацил -U  
(в РНК  
вместо Т)

# Структура ДНК

Каждая цепь ДНК имеет направление

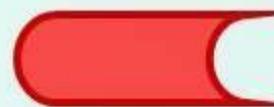
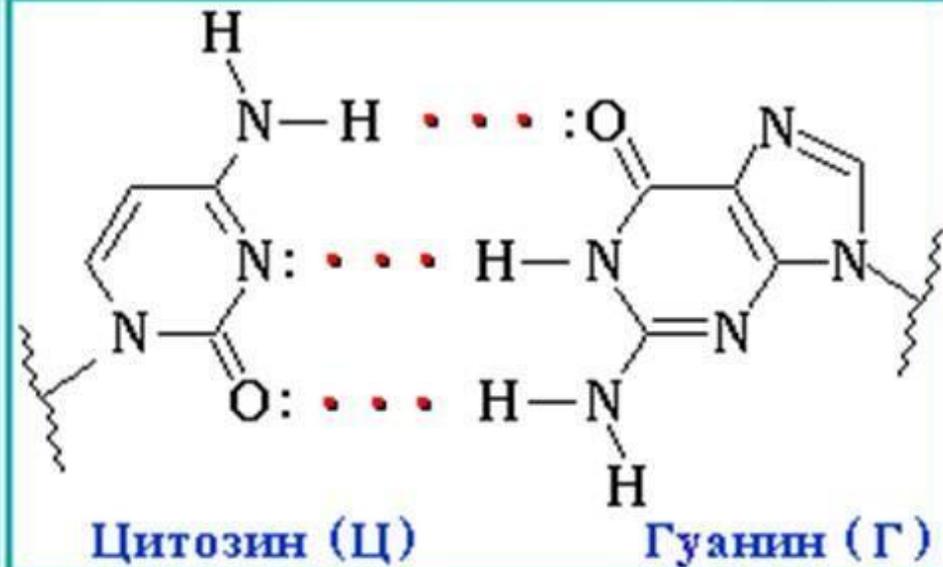
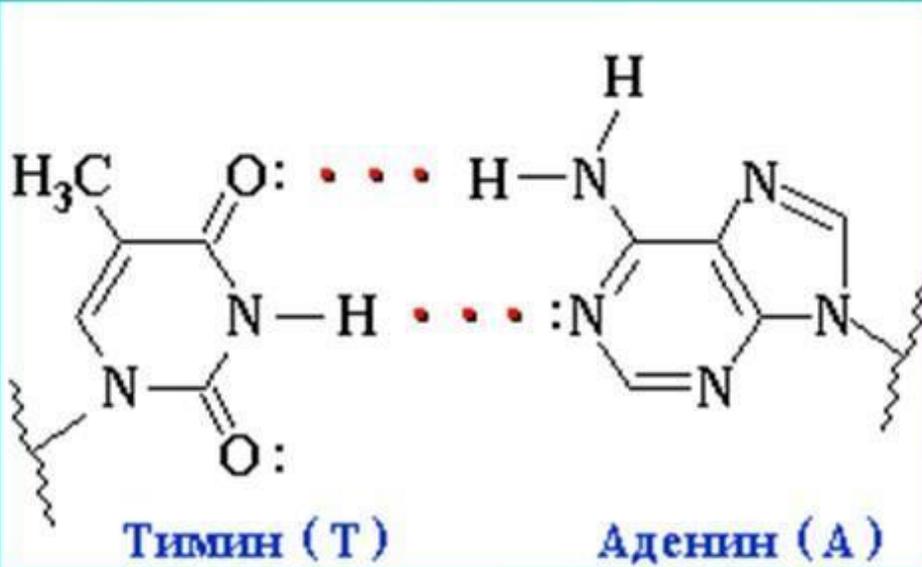


# Первичная структура ДНК - полинуклеотидная цепь



# Комплементарность

Комплементарность - это принцип взаимного соответствия парных нуклеотидов или способность нуклеотидов объединяться попарно



# Правила Чаргаффа

---

Количество пуриновых оснований равно количеству пиримидиновых оснований:

$$A + G = C + T \text{ или } (A + G)/(C + T) = 1$$

- Количество аденина и цитозина равно количеству гуанина и тимина:

$$A + C = G + T \text{ или } (A + C)/(G + T) = 1$$

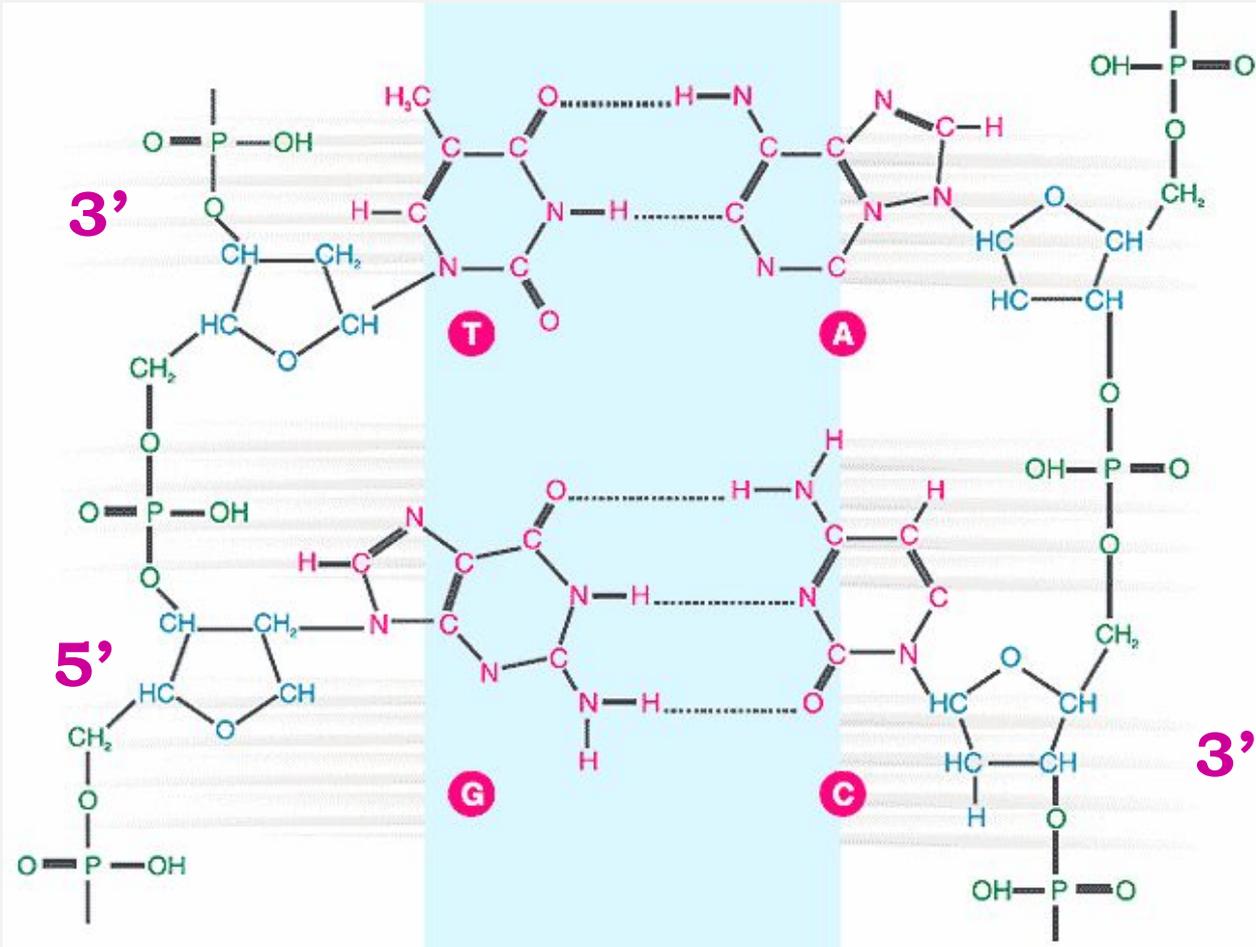
- Количество аденина равно количеству тимина, а количество гуанина равно количеству цитозина:

$$A = T \text{ и } G = C \text{ или } A/T = 1; G/C = 1$$

- Коэффициент специфичности, который отражает для эукариот этот коэффициент ниже единицы (0,54 – 0,94), для прокариот – выше единицы.

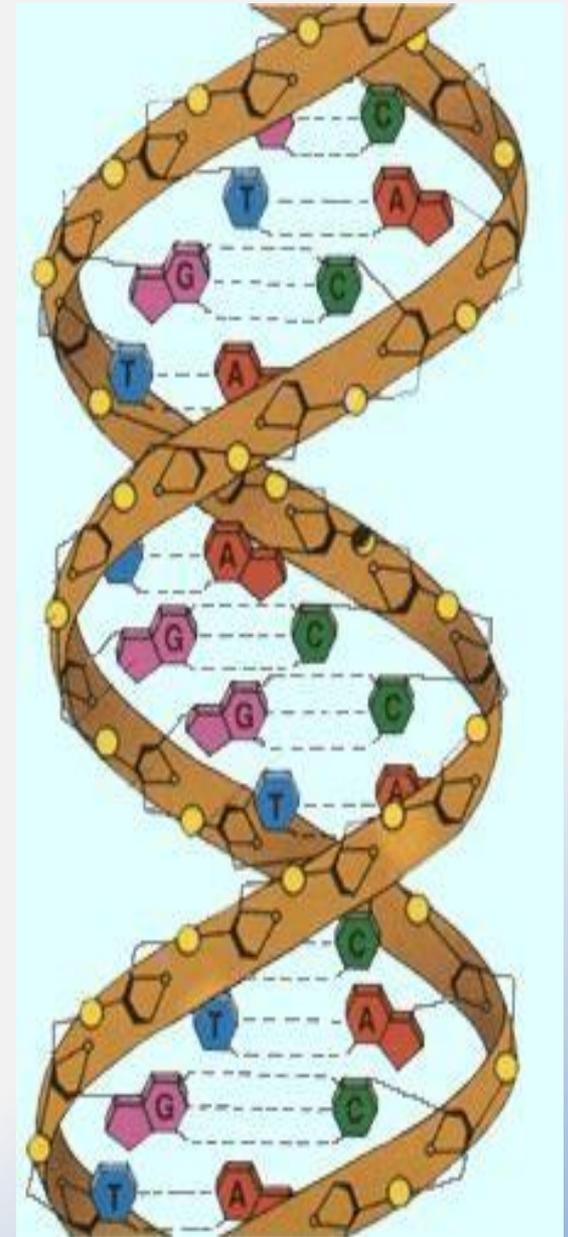
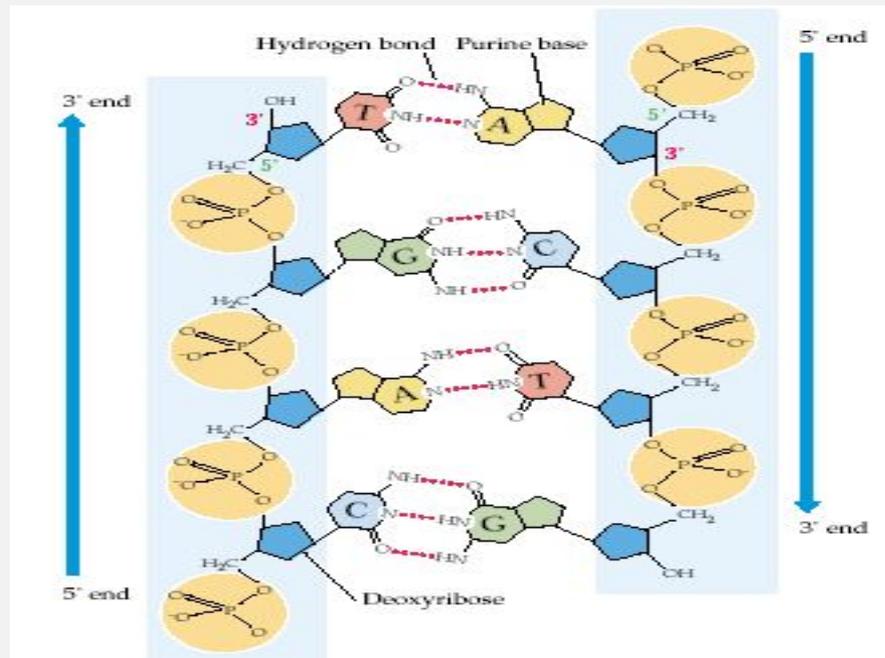
# Вторичная структура ДНК -

две комплементарные друг другу и антипараллельные полинуклеотидные цепи, связанные водородными связями между азотистыми основаниями



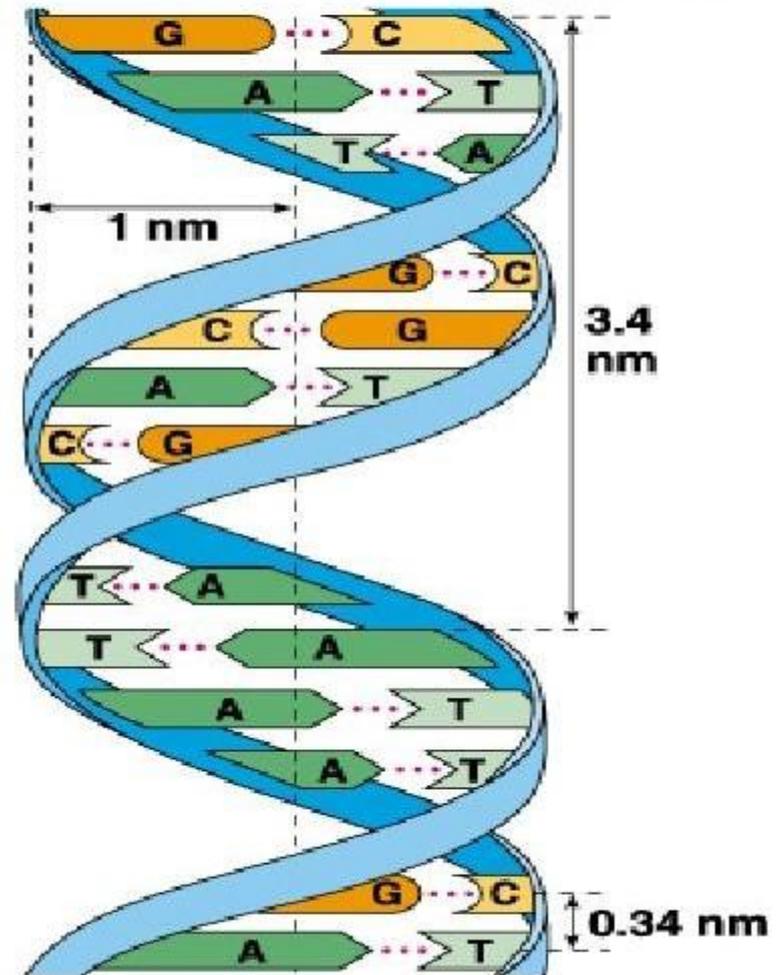
Правило  
Чаргаффа  
 $A+G=T+C$

Структура ДНК – две комплементарные друг другу и антипараллельные полинуклеотидные цепи (5' -3' и 3'-5'), связанные водородными связями между азотистыми основаниями



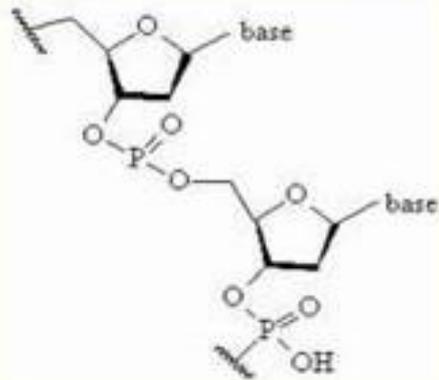
# Третичная структура ДНК

- Каждая цепь закручена в спираль вправо
- Шаг спирали составляет 3,4 нм (по 10 пар оснований в витке)
- Размер пары нуклеотидов вдоль оси спирали составляет 0,34 нм
- Диаметр витка – 2 нм

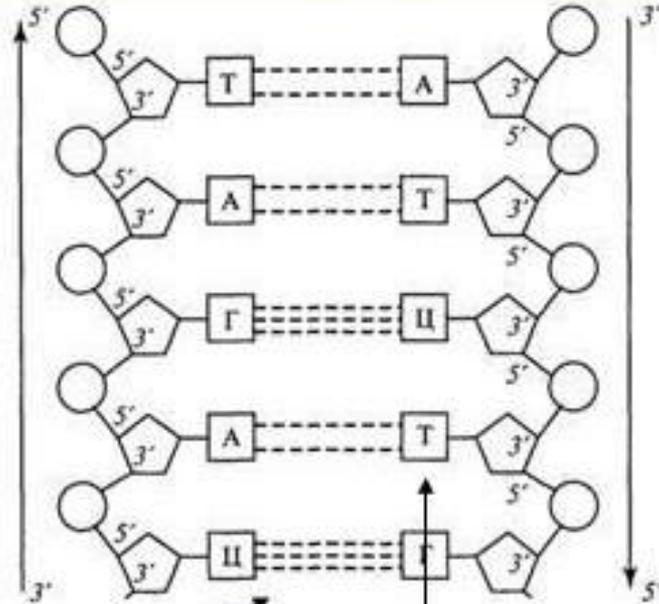


# Структура ДНК

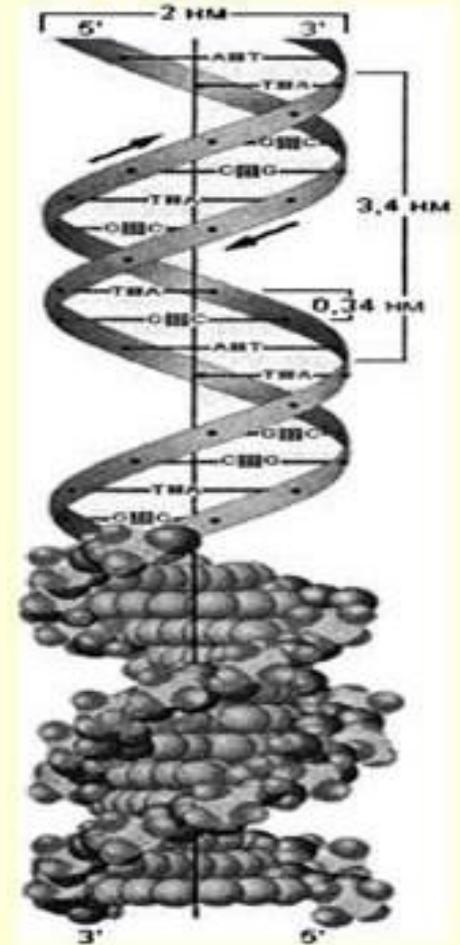
## первичная



## вторичная



## третичная



порядок следования  
нуклеотидов в  
антипараллельных  
поли-нуклеотидных  
цепях

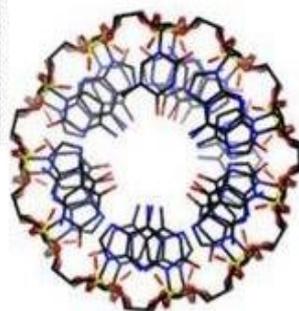
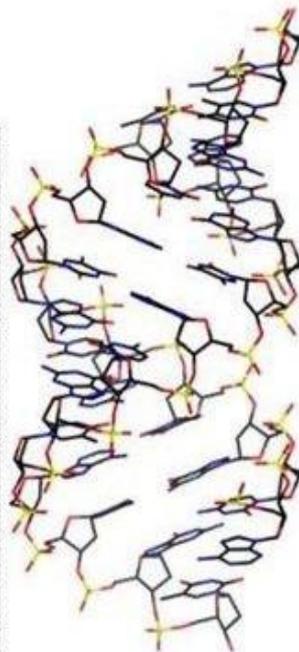
водородные связи-  
стабилизация

водородные  
+  
гидрофобные  
(стэкинг)

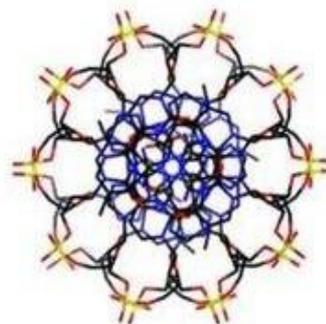
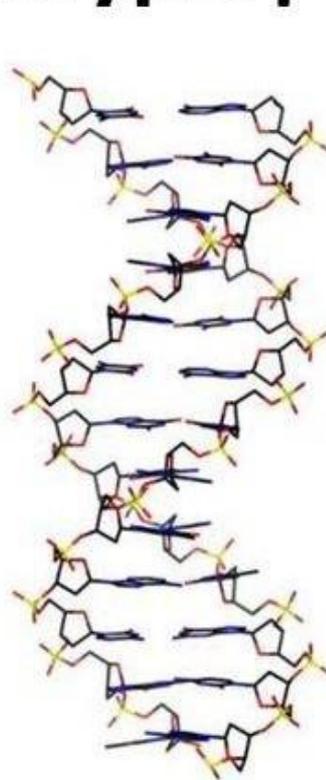
спирализация  
суперспирализация

# Формы вторичной структуры ДНК

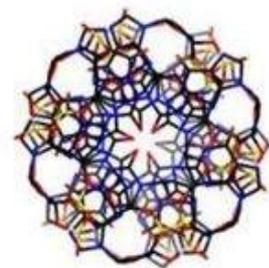
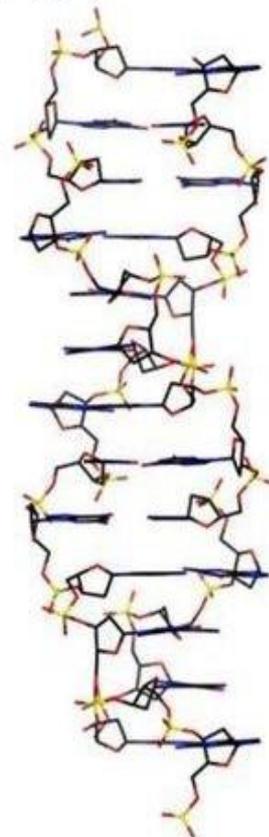
Признак	A-форма	B-форма	Z-форма
Спираль	правая	правая	левая
Количество пар оснований на виток	11	10	12
Шаг спирали	28,6 Å	33,6 Å	45 Å
Диаметр спирали	23 Å	20 Å	18 Å
Угол между плоскостями оснований и осью спирали	70°	90°	100°



A



B



Z

# Классы последовательностей ДНК

- **Повторяющиеся последовательности** (не транскрибируются) 45-50% генома.

- **Умеренно повторяющиеся последовательности.**

Гены тРНК и белков, входящих в состав рибосом, гистонов и рРНК.

- **Уникальные участки** с неповторяющимися сочетаниями нуклеотидов.

**РНК**

-

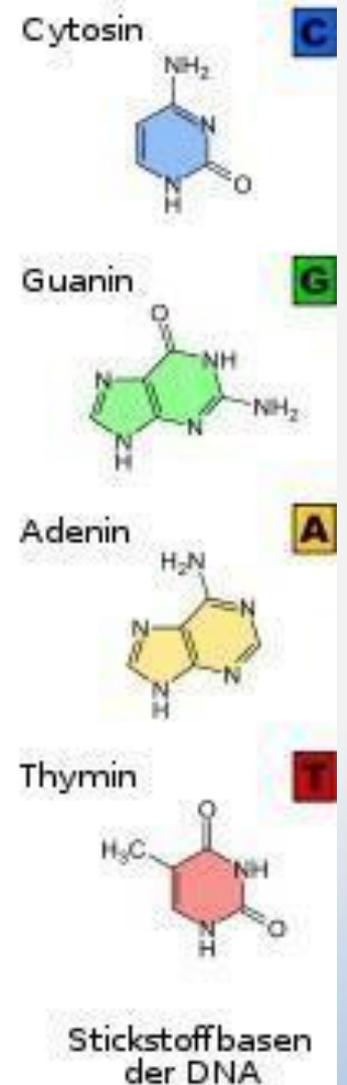
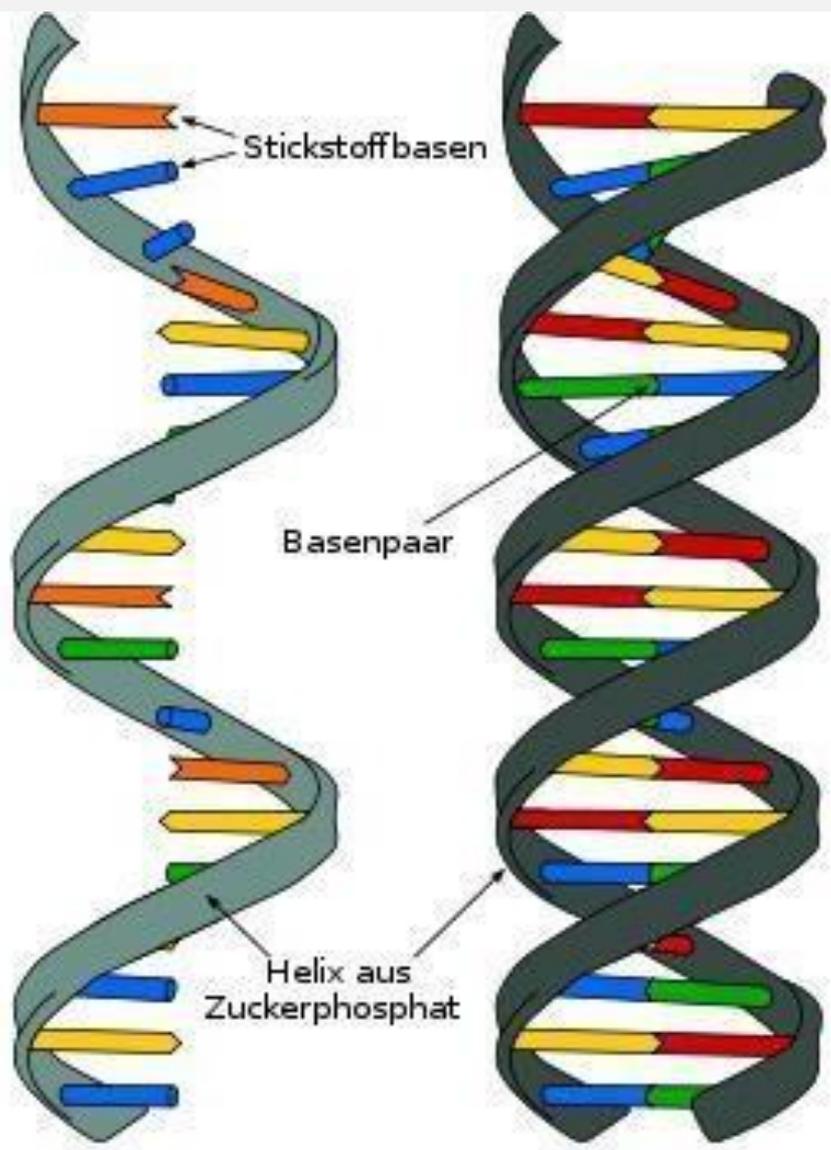
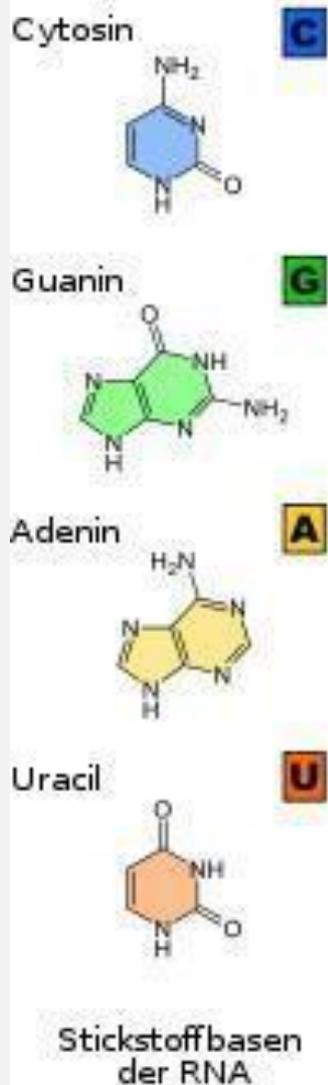
**рибонуклеиновы**

**е**

Линейные молекулы, построенные подобно одной из цепей ДНК.

В отдельных областях образуют комплементарные связи.

РНК образуется по матрице ДНК.



**RNA**  
Ribonukleinsäure

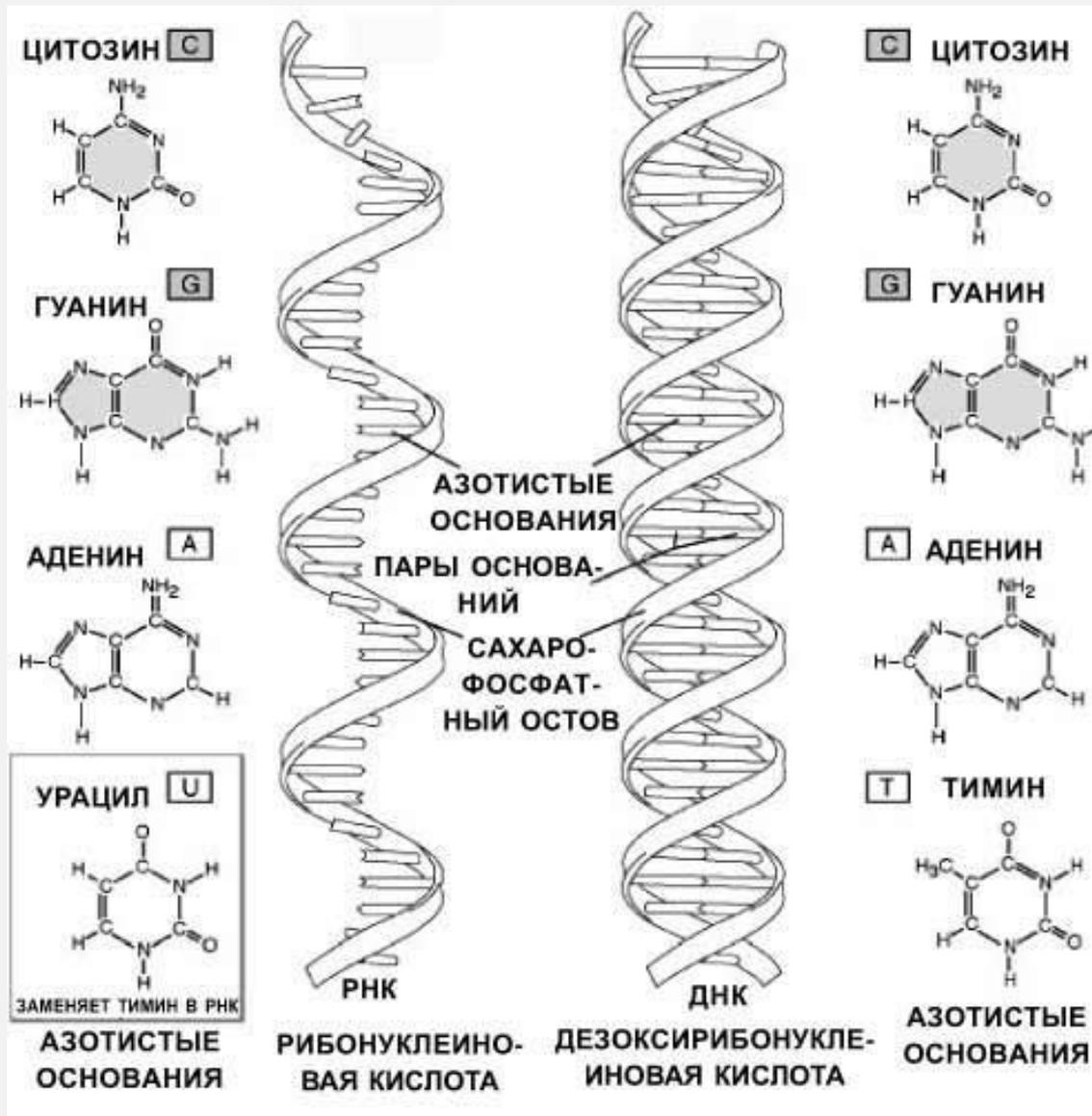
**DNA**  
Desoxyribonukleinsäure

# Отличия ДНК от РНК

- РНК - **одноцепочечная** молекула.
- В нуклеотидах РНК вместо **тимина** присутствует **урацил** (пиримидин).
- Углеродом в РНК является **рибоза**, а не дезоксирибоза.
- РНК **распределены** практически **по всей клетке**, а ДНК сосредоточена **в ядре**.
- Содержание РНК в клетке сильно **колеблется** и зависит от интенсивности синтеза белка, содержание ДНК практически постоянно.

# Основные отличия ДНК от РНК

РНК



ДНК

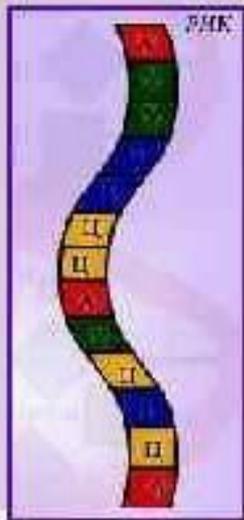
# Виды РНК

- - **рРНК**. Содержат до 5000 нуклеотидов, имеют линейную, разветвленную и петлевую структуры, образуются в ядрышках на рРНК генах, входят в состав большой и малой субъединиц рибосом.
- - **мРНК**. Состоят из 300-3000 нуклеотидов. Переносят генетическую информацию из ядра в цитоплазму, где используются рибосомами для определения а.к. последовательности полипептида согласно генетическому коду.
- - **тРНК**. Короткие, образуются на тРНК генах, формируют похожие на лист клевера структуры, служат для переноса а.к. к местам

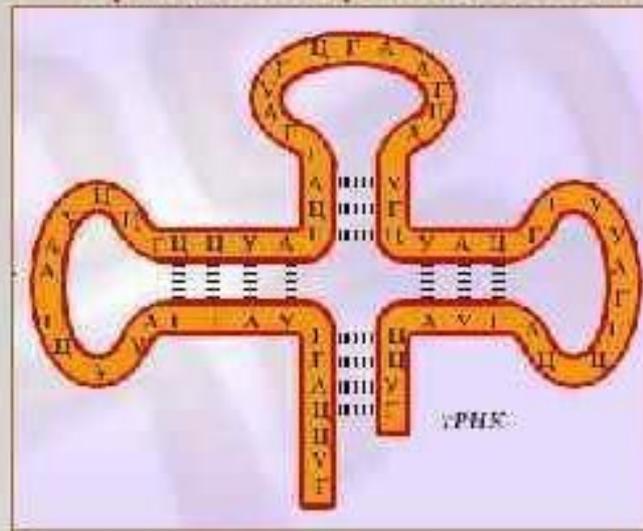
# Виды РНК



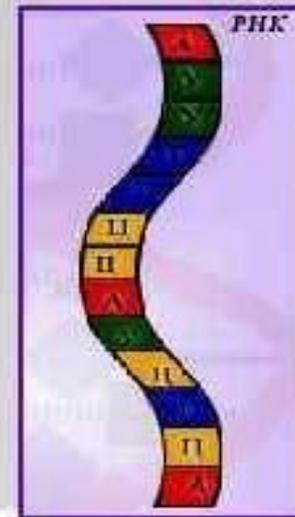
**иРНК-**  
информационная  
РНК



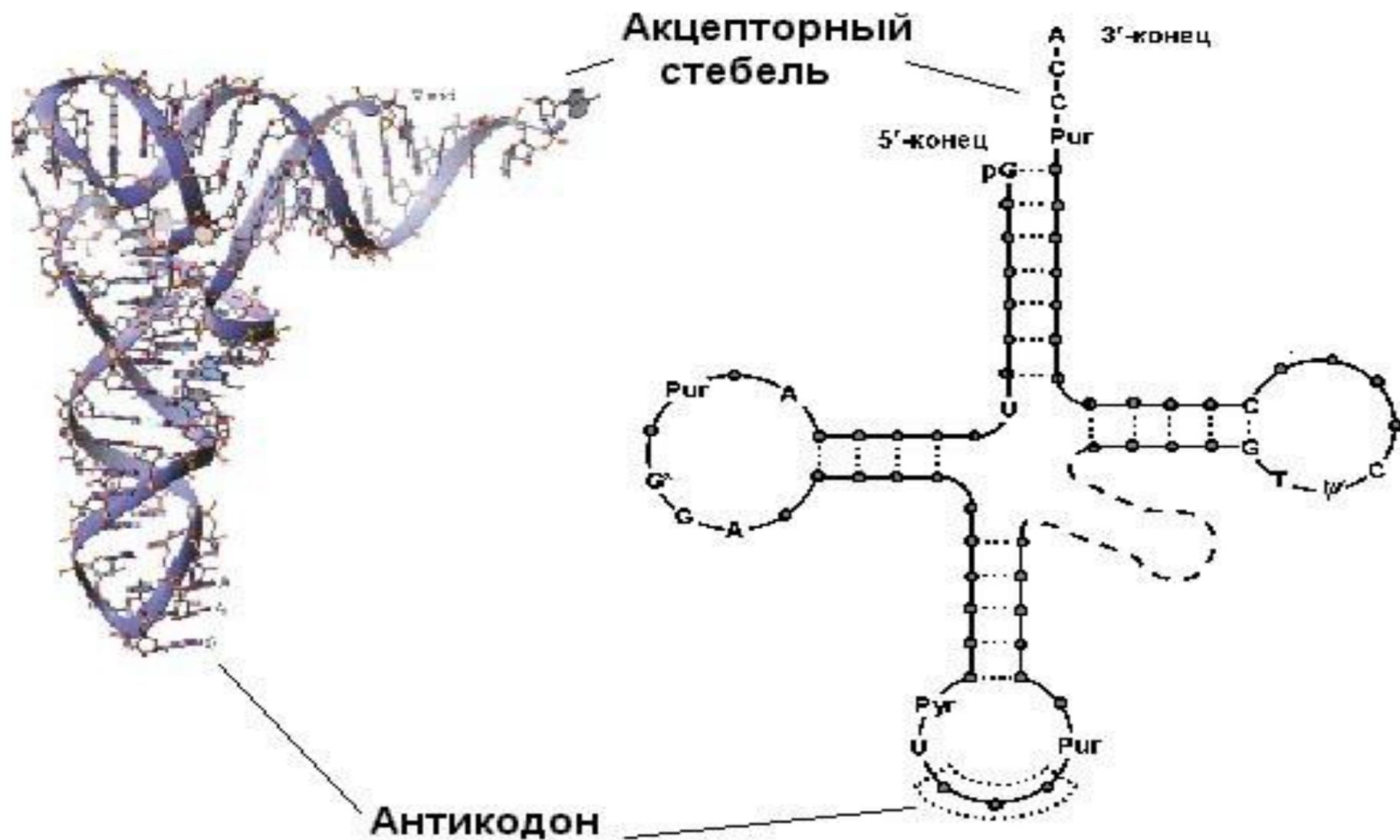
**тРНК-**  
транспортная РНК



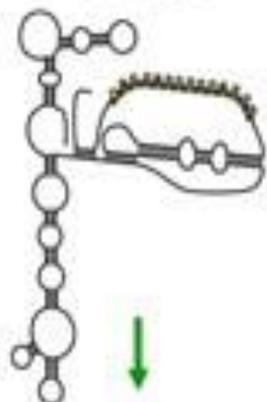
**рРНК-**  
рибосомная  
РНК



# СТРУКТУРА тРНК



### тРНК



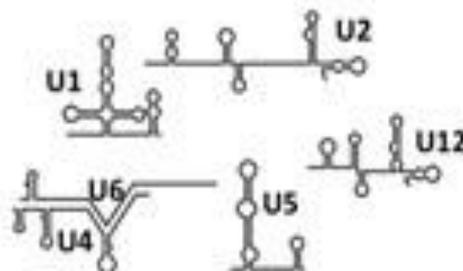
Трансляция

### рРНК



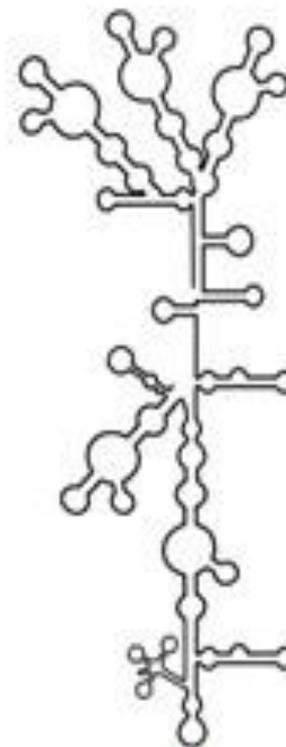
Синтез белка

### мяРНК



Созревание мРНК

### длинная нкРНК



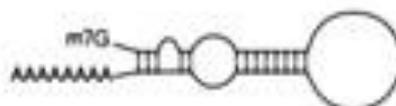
Контроль транскрипции и трансляции

### киРНК



Регуляция РНК

### микроРНК



Регуляция РНК

# Функции ДНК

- **Хранение** генетической информации
- **Передача** генетической информации
- **Реализация** генетической информации

# Генетический код

Генетический (биологический) код – это способ кодирования информации о строении белков в виде нуклеотидной последовательности. Он предназначен для перевода четырехзначного языка нуклеотидов (А, Г, У, Ц) в двадцатизначный язык аминокислот. Он обладает характерными особенностями:

- **Триплетность** – три нуклеотида формируют кодон, кодирующий аминокислоту. Всего насчитывают 61 смысловой кодон.
- **Специфичность** (или **однозначность**) – каждому кодону соответствует только одна аминокислота.
- **Вырожденность** – одной аминокислоте может соответствовать несколько кодонов.

# История открытия генетического кода

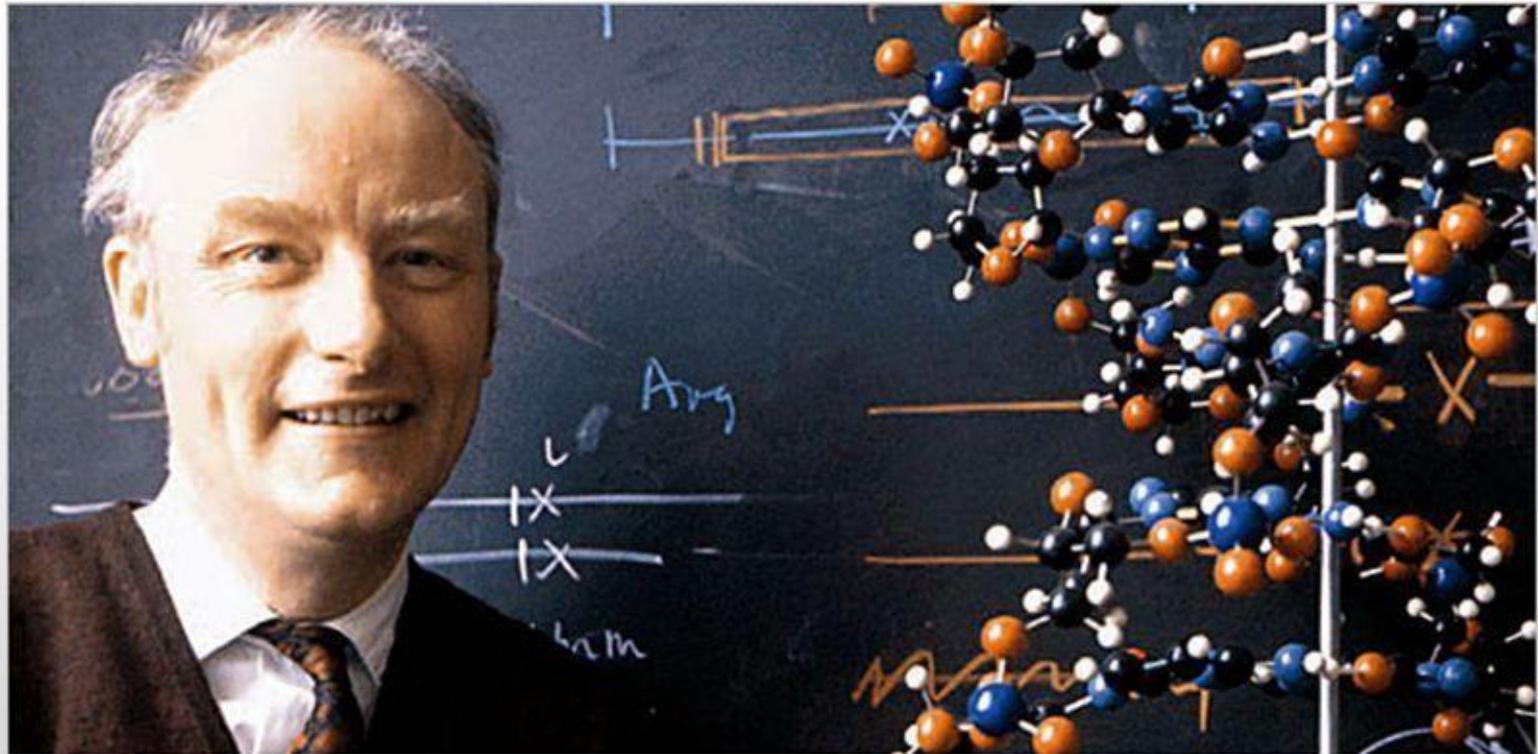
Георгий Антонович **Гамов**  
(1904-1968)



Физик-теоретик

**1954**

Сформулировал  
**проблему кода** и  
предположил его  
**триплетность.**



Симпозиум в Колд-Спринг-Харборе.

**1966** Фрэнсис Крик представил результат коллективного труда нескольких лабораторий – таблицу генетического кода.

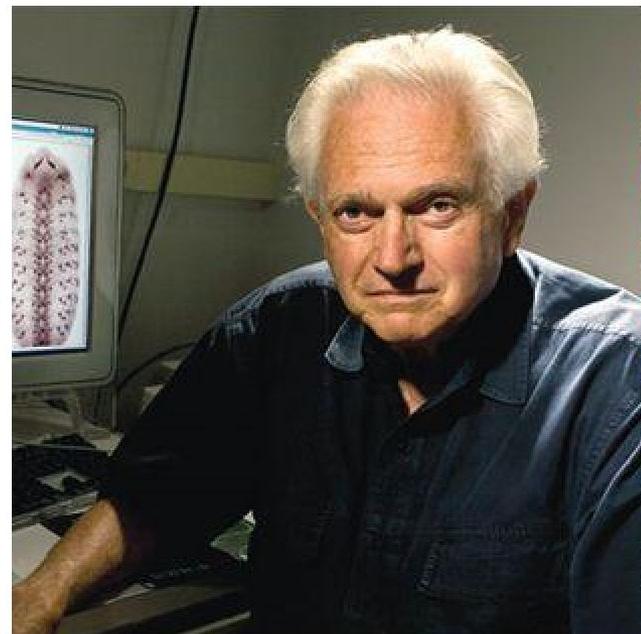
**В октябре 1968 года  
присуждена Нобелевская премия за расшифровку генетического  
кода и его функции в синтезе белка.**



**Роберту Холли**  
американскому  
биохимику



**Хар Коране**  
индийско-американскому  
биофизику



**Маршаллу  
Ниренбергу**  
американскому  
биохимику

# Генетический код. Триплетные кодоны мРНК и соответствующие им аминокислоты

Table 15.1 The Genetic Code

First Letter	Second Letter								Third Letter	
	U		C		A		G			
U	UUU	Phenylalanine	UCU	Serine	UAU	Tyrosine	UGU	Cysteine	U	
	UUC		UCC		UAC		UGC		C	
	UUA	Leucine	UCA		UAA	Stop	UGA		Stop	A
	UUG		UCG		UAG	Stop	UGG		Tryptophan	G
C	CUU	Leucine	CCU	Proline	CAU	Histidine	CGU	Arginine	U	
	CUC		CCC		CAC		CGC		C	
	CUA		CCA		CAA	Glutamine	CGA		A	
	CUG		CCG		CAG		CGG		G	
A	AUU	Isoleucine	ACU	Threonine	AAU	Asparagine	AGU	Serine	U	
	AUC		ACC		AAC		AGC		C	
	AUA	Methionine; Start	ACA		AAA	Lysine	AGA		Arginine	A
	AUG		ACG		AAG		AGG			G
G	GUU	Valine	GCU	Alanine	GAU	Aspartate	GGU	Glycine	U	
	GUC		GCC		GAC		GGC		C	
	GUA		GCA		GAA	Glutamate	GGA		A	
	GUG		GCG		GAG		GGG		G	

# Свойства генетического кода

- Код **триплетен** (три нуклеотида ДНК или РНК соответствуют 1 аминокислоте белка)
- Код **специфичен** (триплет кодирует определенную аминокислоту)
- Код **неперекрываем**
- Код **вырожден** (на одну аминокислоту приходится более одного триплета)
- Код **универсален** (одинаков у всех организмов на Земле)
- Есть **три стоп** (нонсенс) кодона (кодона терминатора)

# Кодоны, которые надо знать

- Стартовый (инициаторный) **ATG**
- Дополнительные старт-кодоны **GTG, TTG**
- Стоп-кодоны

**TGA**

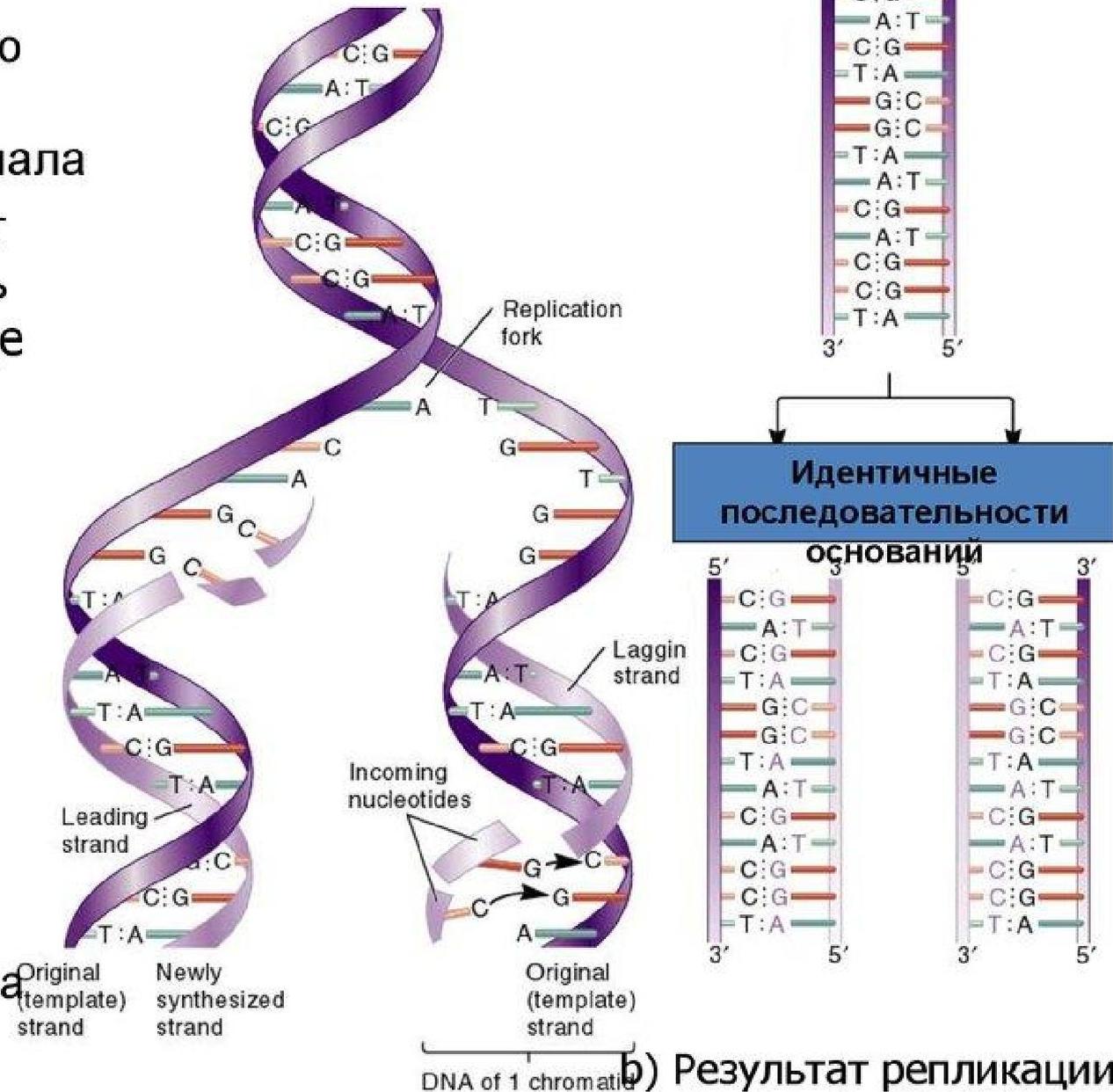
**TAG**

**TAA**

# Репликация ДНК

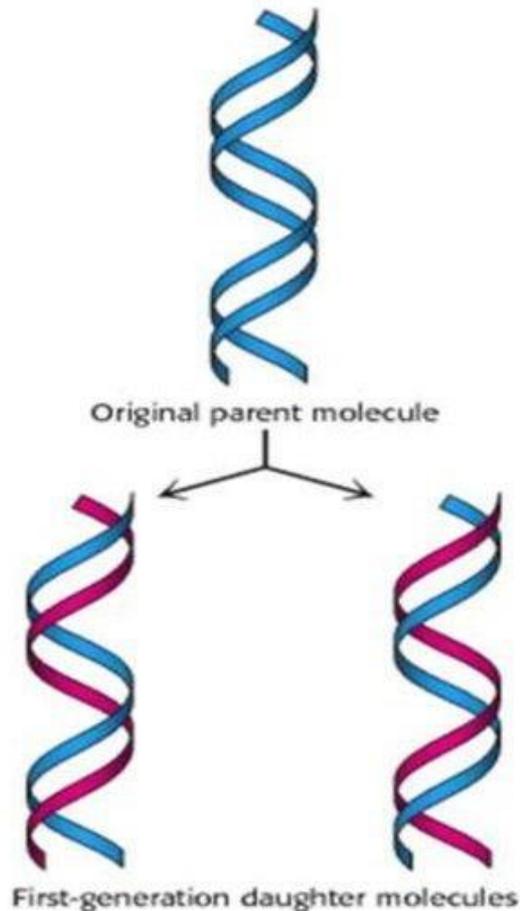
## а) Механизм репликации ДНК

- Репликация ДНК – это процесс удвоения генетического материала
  - Репликация проходит очень быстро и очень аккуратно в S-периоде клеточного цикла
  - Репликация основывается на комплементарности цепочек ДНК
    - АТ/ГЦ правило Чаргаффа
- Цепочки ДНК разъединяются, каждая цепь служит матрицей для синтеза новой цепи



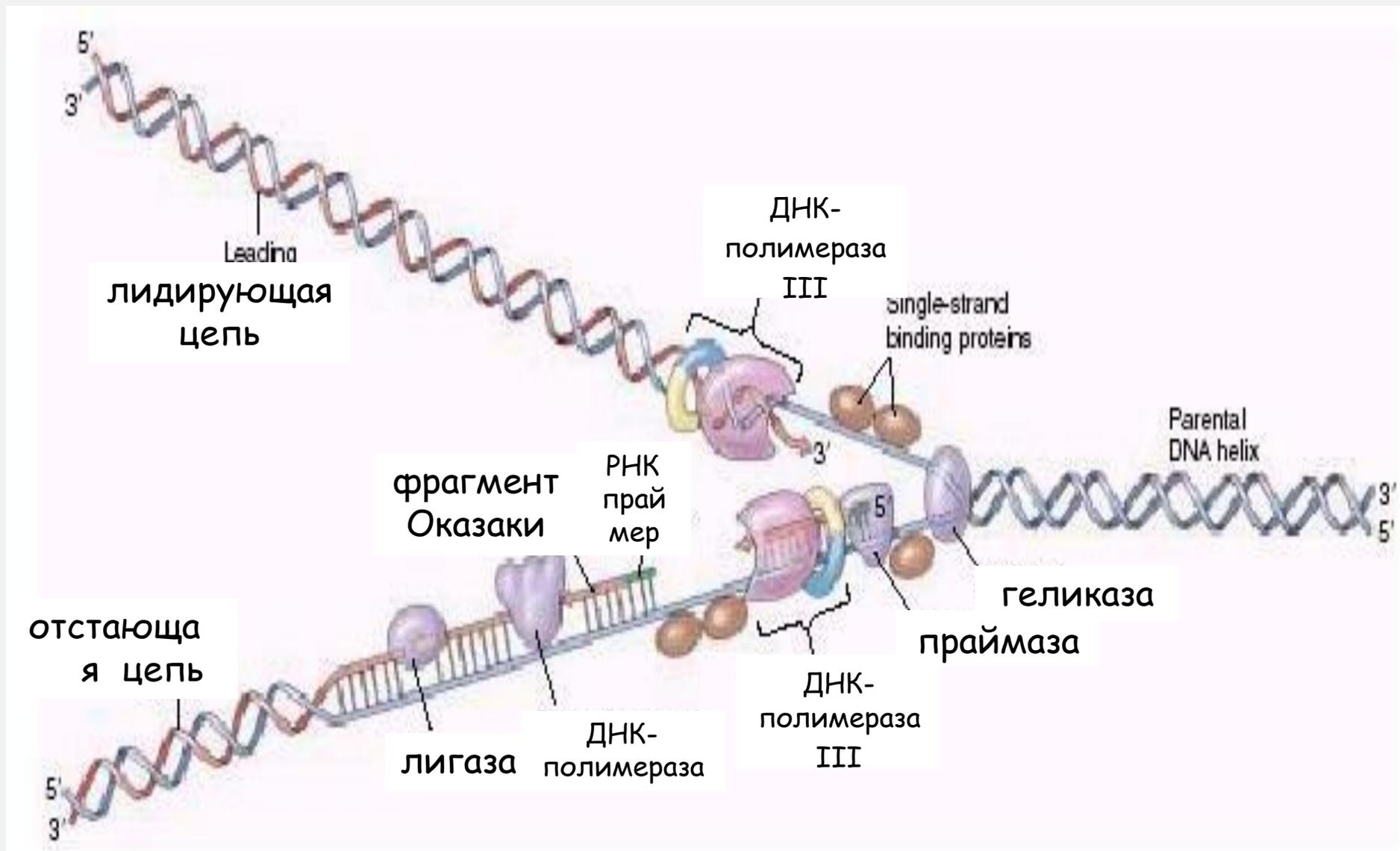
## б) Результат репликации

# Полуконсервативный механизм репликации



- В основе процесса репликации лежит принцип копирования материнской цепи ДНК с образованием 2-х одинаковых дочерних молекул ДНК
- Каждая дочерняя молекула ДНК содержит одну старую и одну новую полинуклеотидную цепь

# Механизм репликация ДНК



# Ферменты репликации

В репликации молекулы ДНК принимают участие ферменты:

- **ДНК-топоизомеразы** - ферменты изменяющие степень сверхспирализации ДНК
- **ДНК-хеликаза (геликаза)** - фермент разделяющий цепи двухцепочечной ДНК на одинарные цепи.
- **ДНК-праймаза** - это фермент РНК-полимераза, синтезирующий короткий фрагмент РНК, называемый праймером, комплементарный одноцепочечной матрице ДНК.
- **ДНК-полимеразы** - ферменты катализирующие синтез дочерних цепей на матрице ДНК по принципу комплементарности.
- **ДНК-лигаза** - фермент катализирующий сшивание одноцепочечных фрагментов ДНК.

# Необходимые условия для репликации ДНК

- Двухцепочечная матричная ДНК
- Дезоксирибонуклеозид трифосфаты (dАТФ, dГТФ, dЦТФ, dТТФ)
- Рибонуклеозид трифосфаты (АТФ, ГТФ, ЦТФ, УТФ)
- $Mg^{2+}$
- Комплекс ферментов – ДНК-репликаза

# Этапы репликации:

---

## ■ Инициация

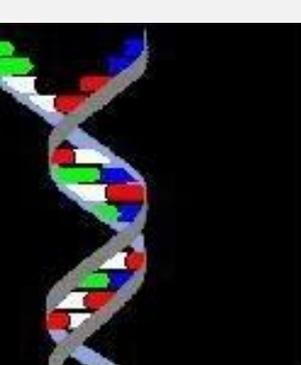
- присоединение специальных белков к точке ORI
- локальная денатурация и образования репликативного глазка
- синтез праймера
- присоединение первых dNTP к праймеру

## ■ Элонгация

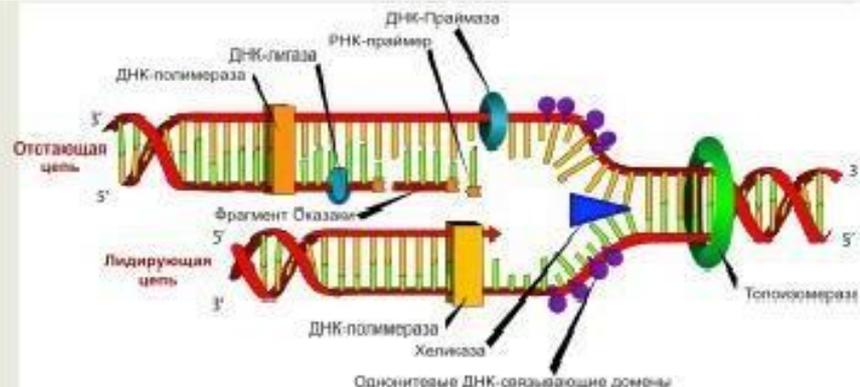
- удлинение новых цепей за счет полимеризации нуклеотидов
- выявление ошибок и их исправление

## ■ Терминация

- встреча соседних репликативных вилок
- удаление праймеров
- заполнение брешей
- сшивание фрагментов Оказаки
- ренатурация ДНК



# Репликация ДНК



- ❑ Хеликаза, топоизомераза и ДНК-связывающие белки расплетают ДНК, удерживают матрицу в разведённом состоянии и вращают молекулу ДНК.
- ❑ Правильность репликации обеспечивается точным соответствием комплементарных пар оснований.
- ❑ Репликация катализуется несколькими ДНК-полимеразами, а транскрипция – ферментом РНК-полимеразой.
- ❑ После репликации дочерние спирали закручиваются обратно уже без затрат энергии и каких-либо ферментов.
- ❑ Матричная цепь всегда читается в направлении  $3' \rightarrow 5'$ , только одна из цепей может считываться непрерывно-лидирующая.
- ❑ Другая цепь (отстающая) считывается в направлении, противоположном движению репликативной вилки. В результате на матрице вначале синтезируются короткие фрагменты новой цепи ДНК, так называемые фрагменты Оказаки.

# Реализация генетической информации

**Центральная догма  
молекулярной  
биологии:**

**ДНК**



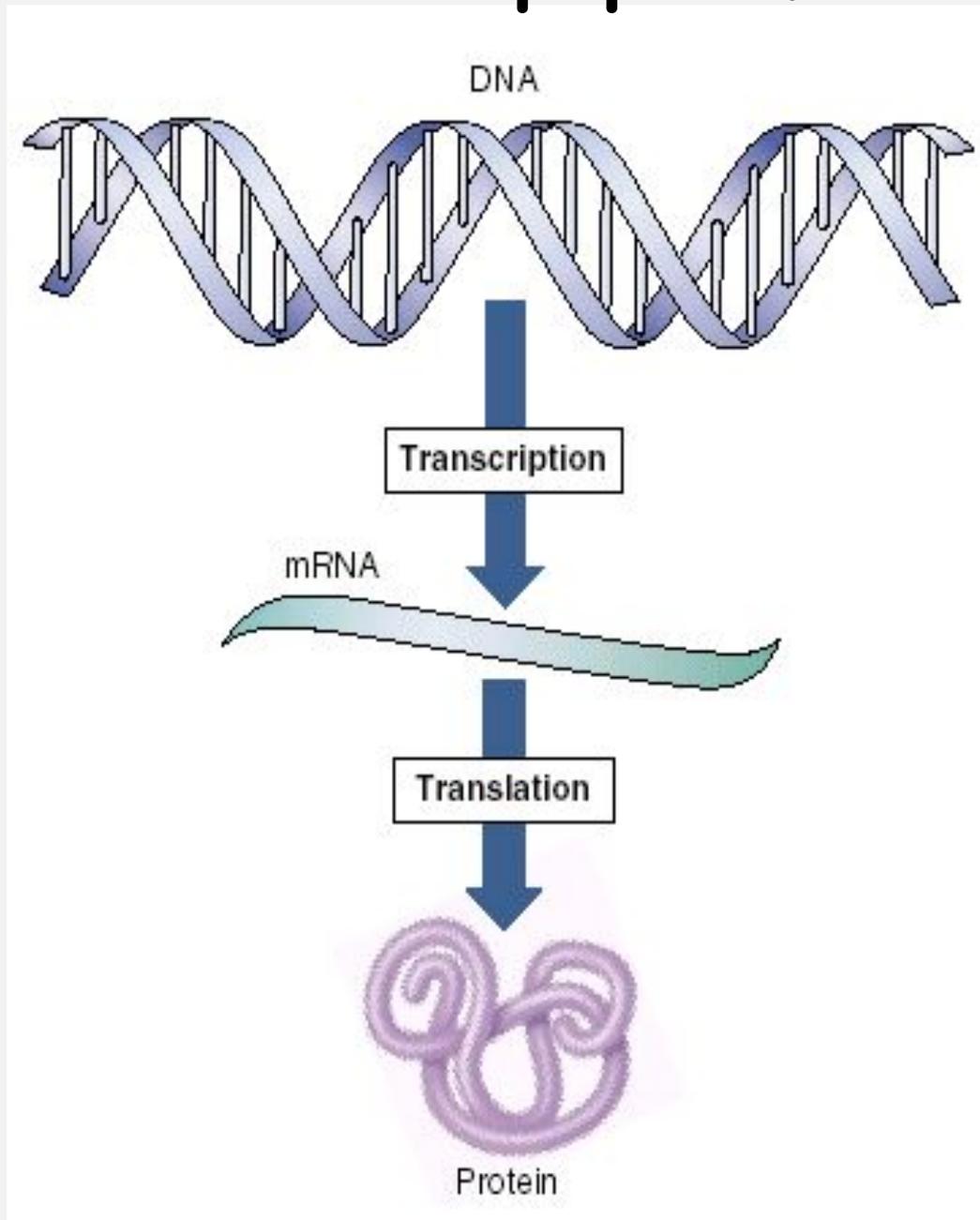
**РНК**



**Белок**

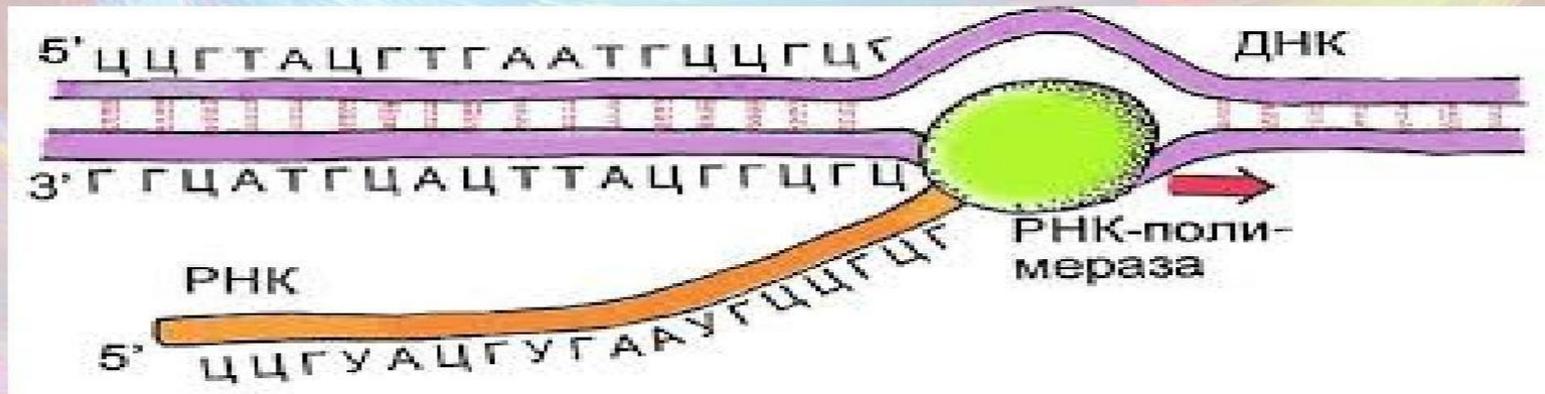


**Признак**

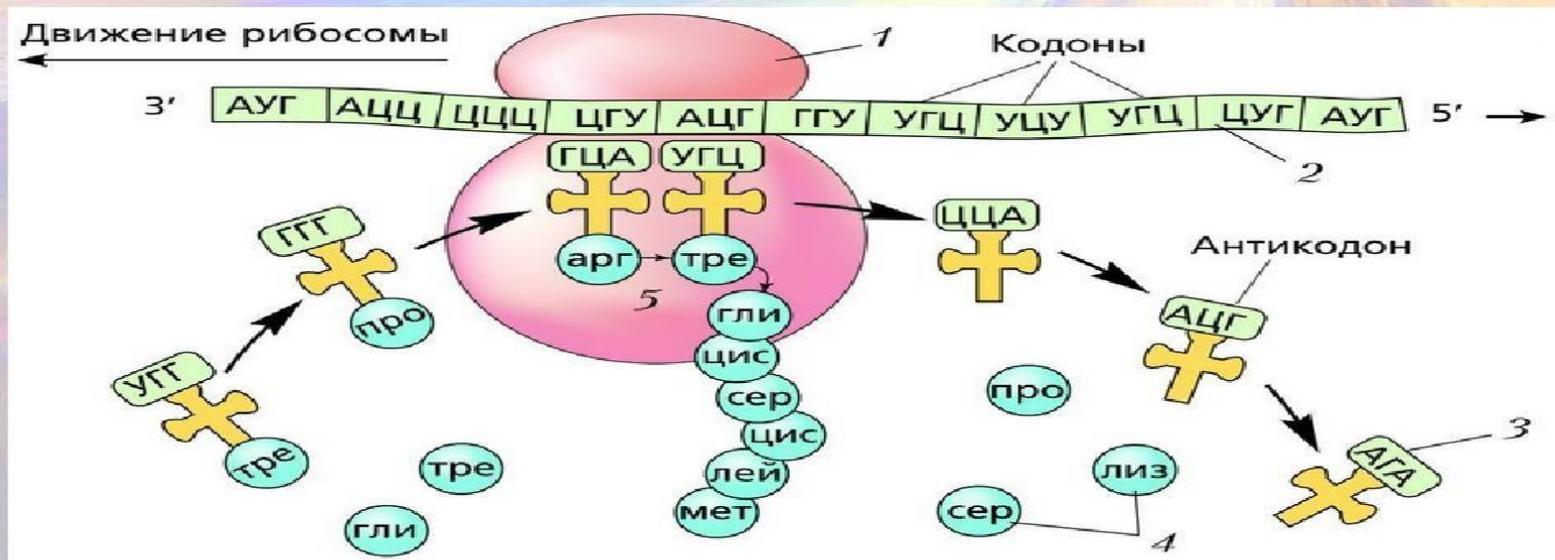


# Биосинтез белка

## I этап: Транскрипция



## II этап: Трансляция



# Стадии транскрипции

Биосинтез РНК происходит в участке ДНК, который называется **транскриптон**, с одного края он ограничен **промотором** (начало), с другого – **терминатором** (конец).

Выделяют три стадии транскрипции:

- инициация,
- элонгация,
- терминация.

# Транскрипция

RNAP ← РНК-полимераза

Ген ДНК

Coding Strand

Template Strand

Gene

Факторы транскрипции

Coding Strand

Template Strand

мРНК

Coding Strand

Template Strand

Ген ДНК → Комплементарная мРНК



# Особенности транскрипции у эукариот

Ген эукариот состоит из экзонов и интронов. Интроны – не кодируют белок. Они вырезаются из иРНК.

Транскрипция включает два этапа:

- 1) Синтез про-иРНК (незрелой иРНК), которая полностью комплементарна гену.
- 2) Процессинг-созревание иРНК.

Процессинг включает:

- сплайсинг (вырезание интронов и сшивание экзонов),
- образование кэпа и поли-А-хвоста. Кэп (модифицированный гуанин) прикрепляется к начальному концу иРНК, поли-А-хвост – большое количество А-нуклеотидов прикрепляются к концу иРНК. Кэп и хвост обеспечивают стабильность иРНК в цитоплазме.

# Схема транскрипции у эукариот

**1 этап – синтез про- и РНК, которая полностью комплементарна ДНК(гену)**



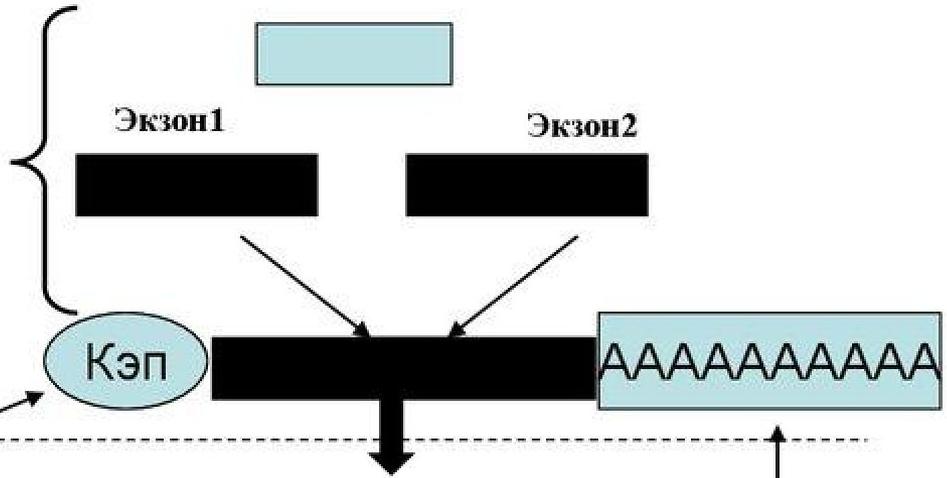
Транскрипция



Про-иРНК

**2 этап – процессинг (созревание иРНК)**

Сплайсинг - вырезание интронов и соединение экзонов

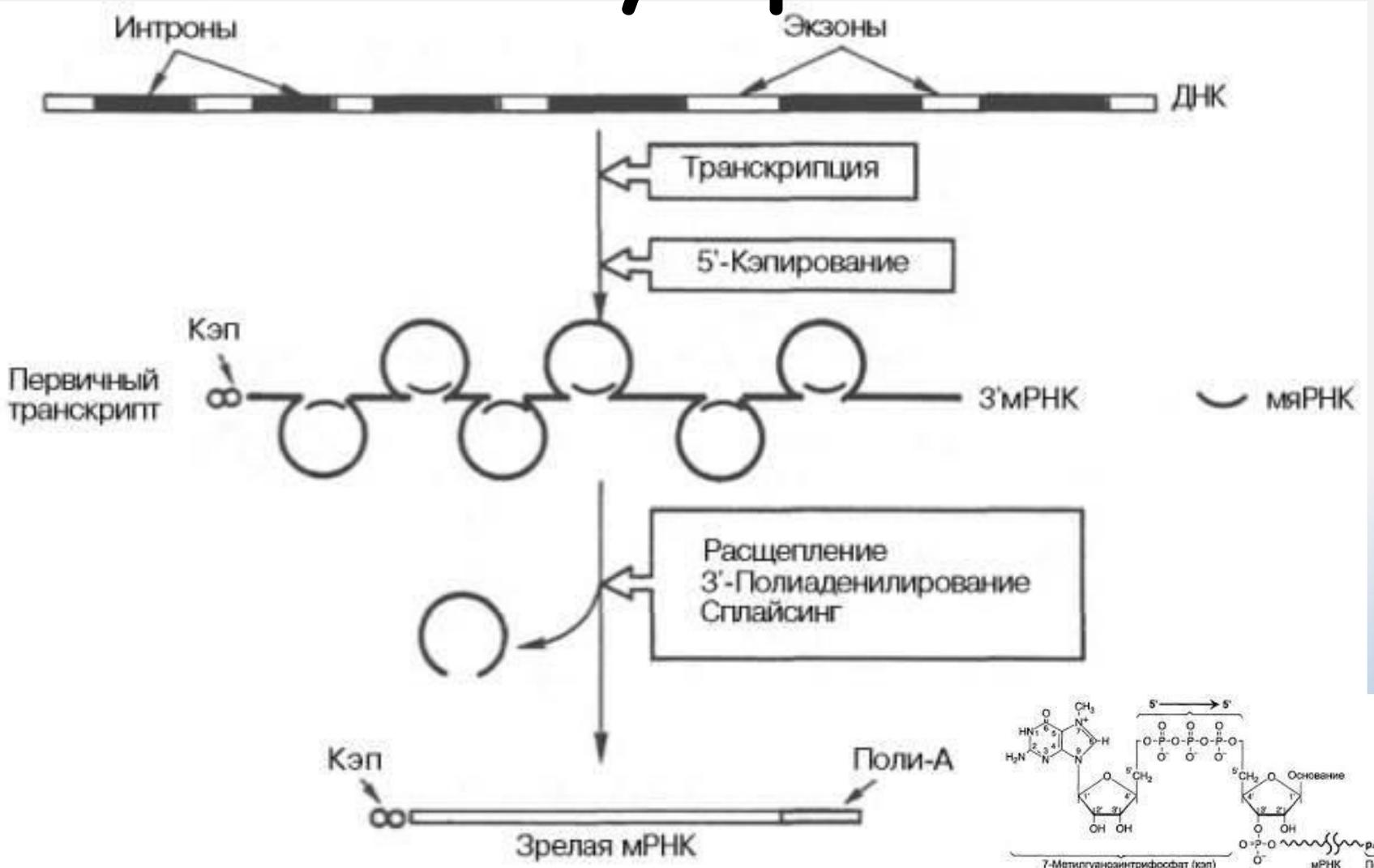


Зрелая иРНК

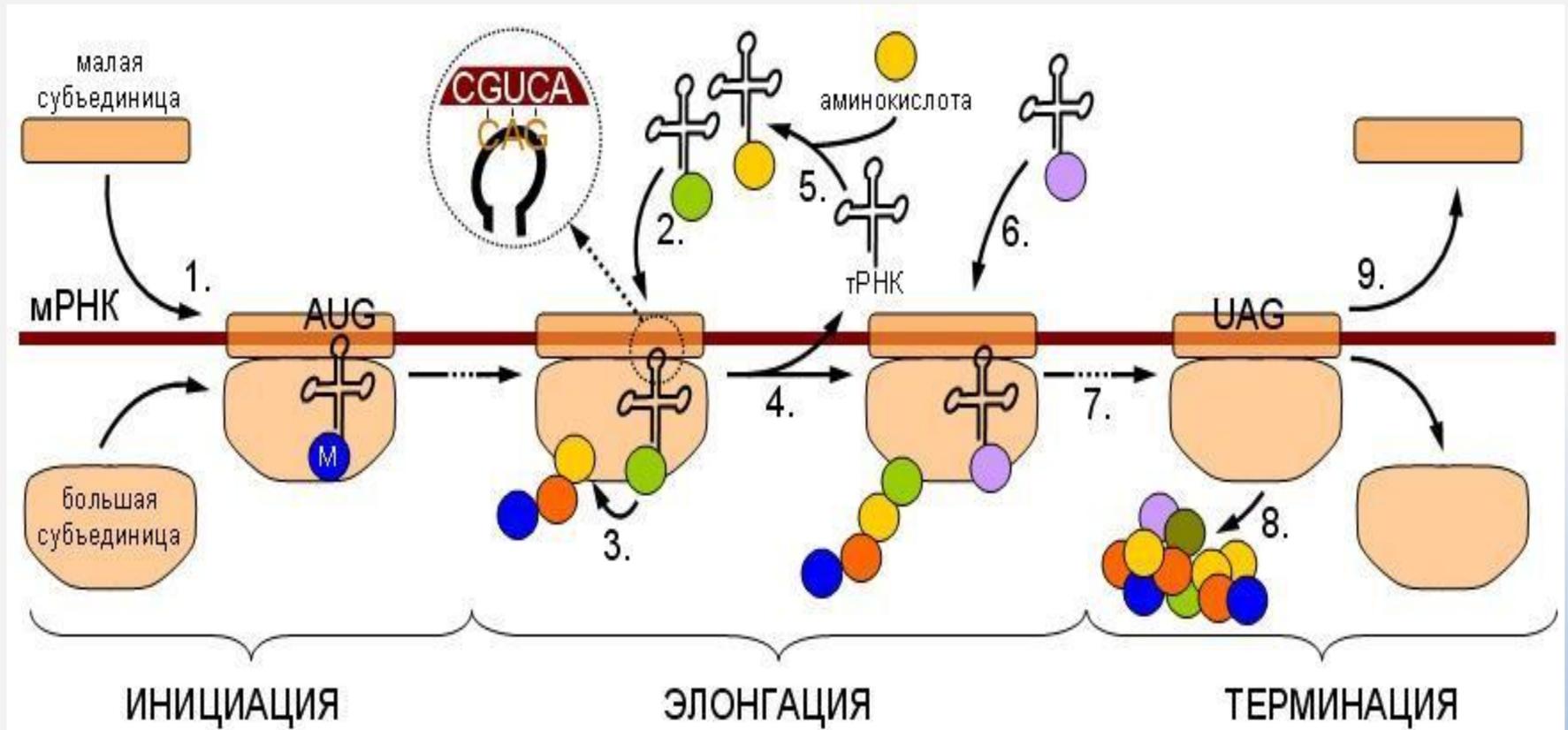
7-Метилгуанозин-трифосфат

Поли -А-хвост

# Этапы созревания мРНК у эукариот

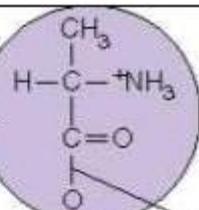


# Этапы трансляции



# Транспортные РНК

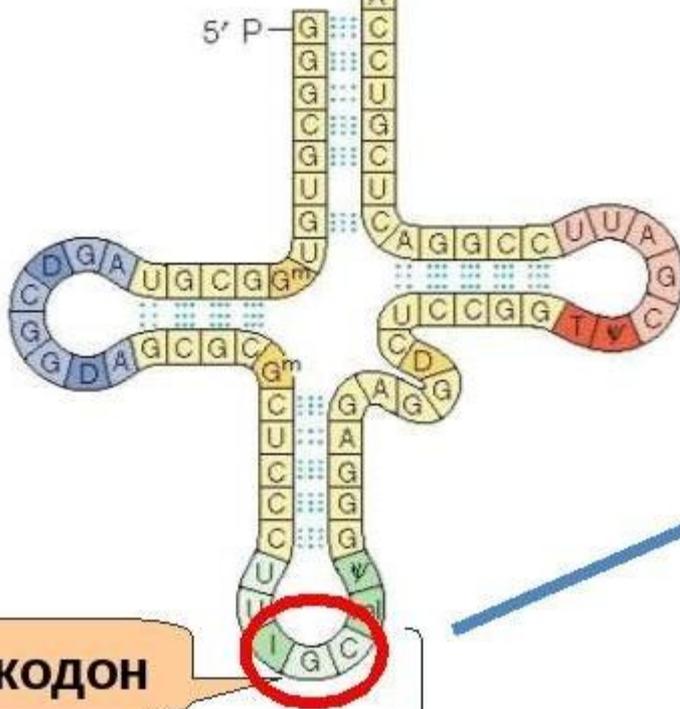
Амино-  
кислота



Ester bond

3'

5' P



Alanyl-tRNA<sup>Ala</sup>

Антикодон

- ❖ Молекула-адаптор.
- ❖ Один ее конец узнает **кодон** в м-РНК, а другой – несет аминокислоту.

**Антикодон**

т-РНК 3' 5'

Г Ц У

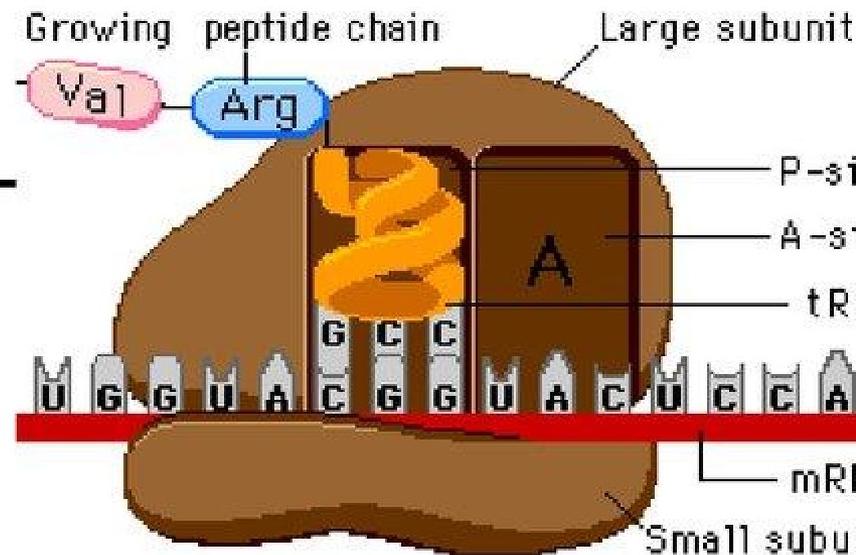
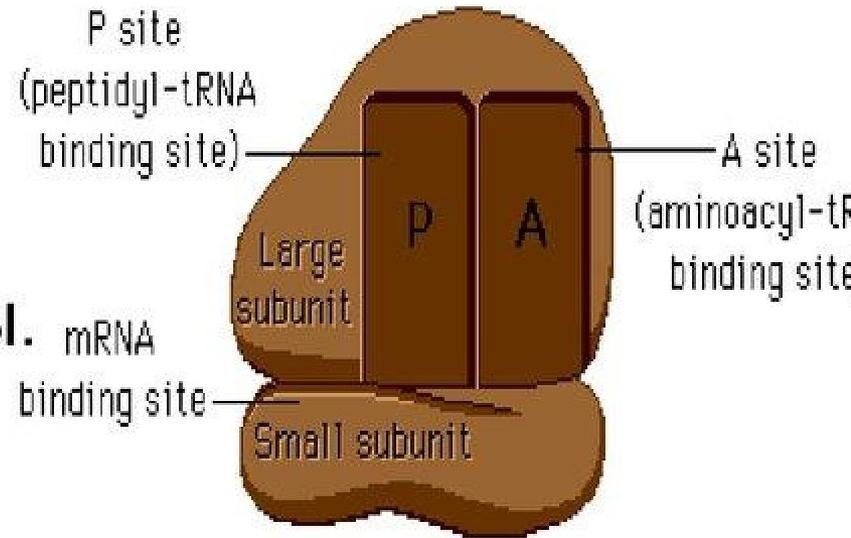
Ц Г А

м-РНК 5' 3'

**Кодон**

# Центры рибосомы

- Аминоацильный – А.
- Пептидильный – Р.
- Формируют обе субъединицы.
- Оба центра включают участок мРНК равный двум кодонам.
- А – центр связывает aa-tРНК.
- Р – центр занимает пептидил-тРНК.



# Стадии трансляции

- **Активация аминокислот** (связывание АМК с тРНК в цитоплазме с помощью **аминоацил-тРНК синтетаз**).
- **Синтез белка ( в рибосомах):**
  - 1) Инициация (АУГ или ГУГ – **метионил-тРНК**, факторы инициации F1, F2, F3).
  - 2) Элонгация ( $5' \rightarrow 3'$ , с N  $\rightarrow$  C конец)
  - 3) Терминация (**стоп-кодоны УАА, УГА, УАГ**).

## Этапы биосинтеза белка

Этап	Место	Процессы
Транскрипция	Кариоплазма	Фермент РНК-полимераза расщепляет двойную цепь ДНК и на одной из цепей по принципу комплементарности синтезирует молекулу про-иРНК. С помощью специальных ферментов про-иРНК превращается в активную форму иРНК, которая из ядра поступает в цитоплазму клетки
Активация аминокислот	Цитоплазма	Присоединение аминокислот с помощью ковалентной связи к определенной тРНК. тРНК транспортирует аминокислоты к месту синтеза белка
Трансляция	Рибосомы	Во время синтеза белка рибосома надвигается на нитевидную молекулу иРНК таким образом, что иРНК оказывается между ее двумя субъединицами. В рибосоме есть особый участок — функциональный центр. Его размеры соответствуют длине двух триплетов, поэтому в нем одновременно находятся два соседних триплета иРНК. В одной части функционального центра антикодон тРНК узнает кодон иРНК, а в другой — аминокислота освобождается от тРНК. Когда рибосома достигает стоп-кодона, синтез белковой молекулы завершается
Образование природной структуры белка	Эндоплазматическая сеть	Белок приобретает определенную пространственную конфигурацию. При участии ферментов происходит отщепление лишних аминокислотных остатков, введение фосфатных, карбоксильных и других групп и т.п. После этих процессов белок становится функционально активным

## Вещества и структуры клетки, участвующие в биосинтезе белка:

<b>ДНК</b>	Содержит информацию о структуре белка. Служит матрицей для синтеза белка.
<b>и-РНК</b>	Переносчик информации от ДНК к месту сборки белковой молекулы. Содержит генетический код.
<b>т-РНК</b>	Кодирующие аминокислоты и переносящие их к месту биосинтеза на рибосоме. Содержит антикодон.
<b>Рибосомы</b>	Органоид, где происходит собственно биосинтез белка.
<b>Ферменты</b>	Катализирующие биосинтез белка.
<b>Аминокислоты</b>	Строительный материал для построения белковой молекулы.
<b>АТФ</b>	Вещество, обеспечивающее энергией все процессы.

# Ген

Ген - это участок молекулы ДНК, включающий регуляторные последовательности и соответствующий одной единице транскрипции, в которой находится информация о структуре одной полипептидной цепи или молекулы РНК.

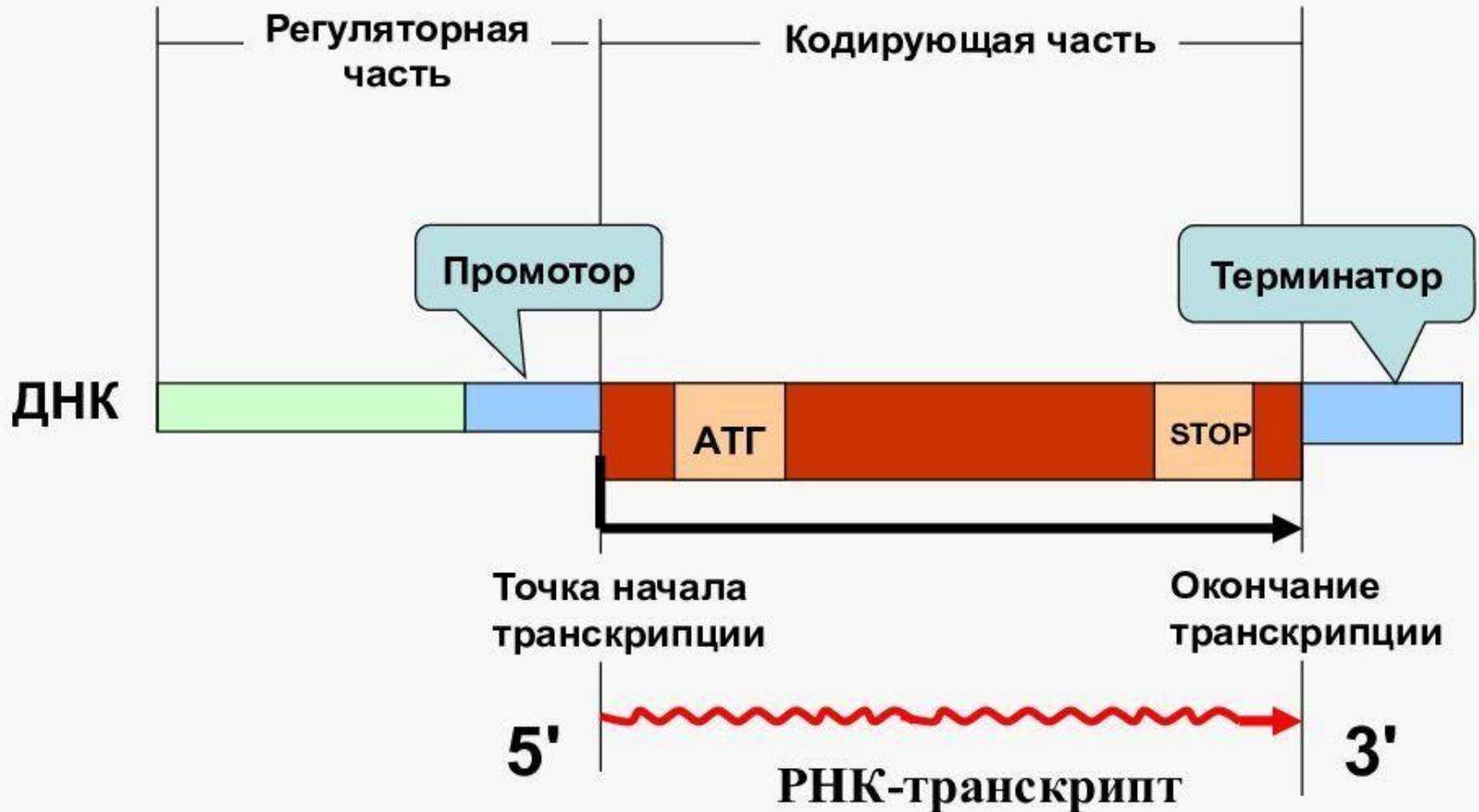
# Классификации генов

- РНК-кодирующие
- Белок-кодирующие
- Митохондриальные

- Конститутивные
- Регулируемые (индуцибельные)

- Структурные
- Функциональные:
  - модуляторы (супрессоры, активаторы, модификаторы)
  - регуляторы и операторы

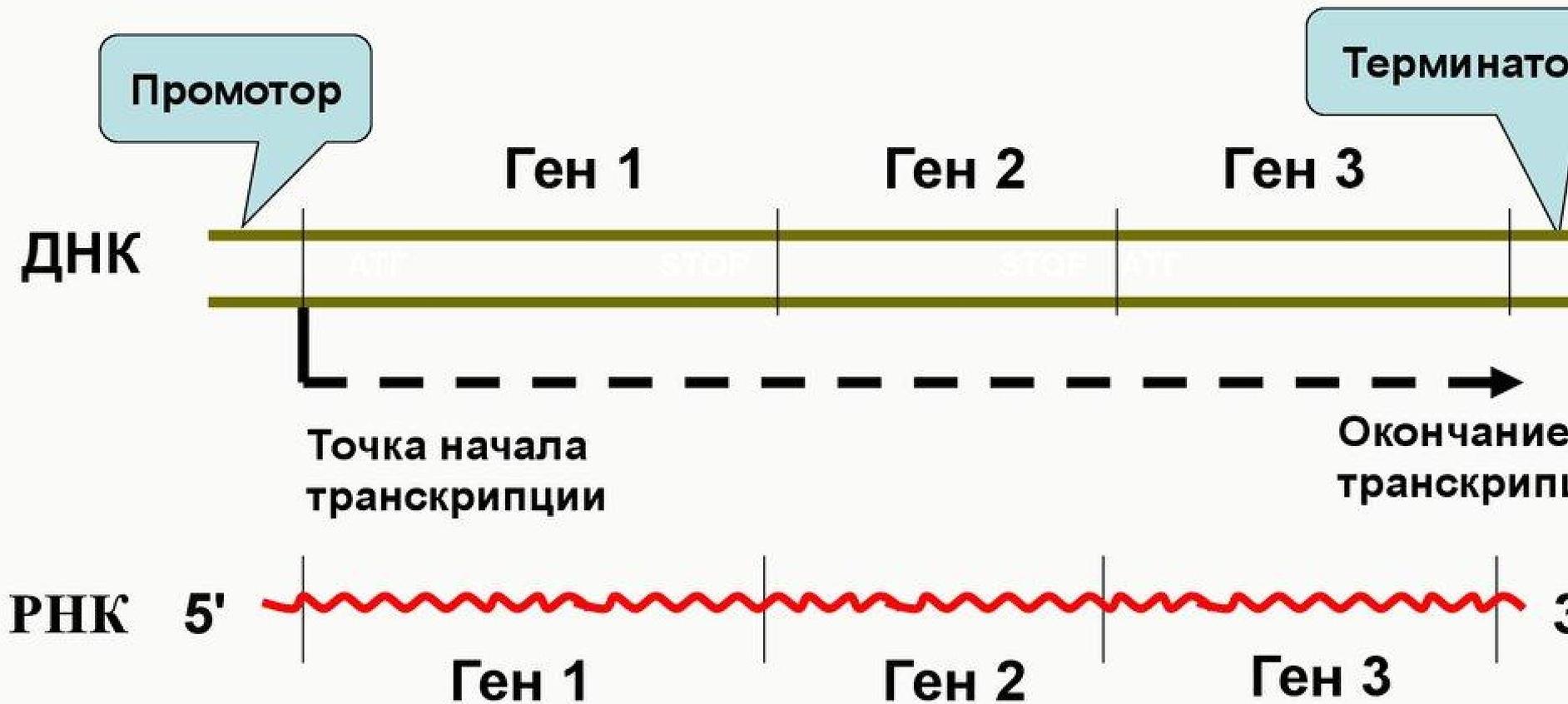
# Строение гена

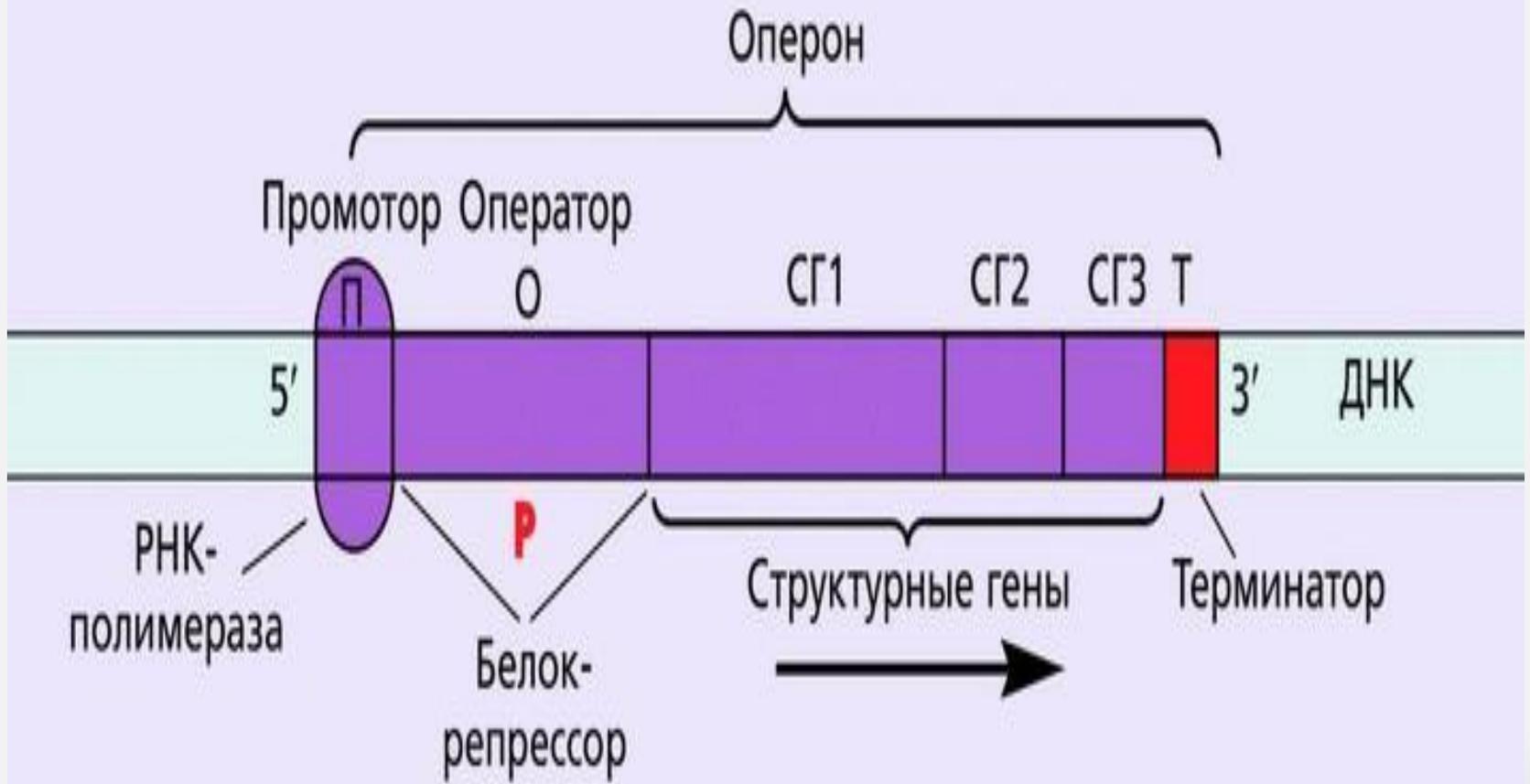


- **Оперон** — функциональная единица генома у прокариот, в состав которой входят цистроны (гены, единицы транскрипции), кодирующие совместно или последовательно работающие белки и объединенные под одним (или несколькими) промоторами.
- Такая функциональная организация позволяет эффективнее регулировать транскрипцию этих генов.
- Концепцию оперона для прокариот предложили в 1961 году французские ученые Жакоб, Моно, Львов за что получили Нобелевскую премию в 1965 году.

# Оперон прокариот

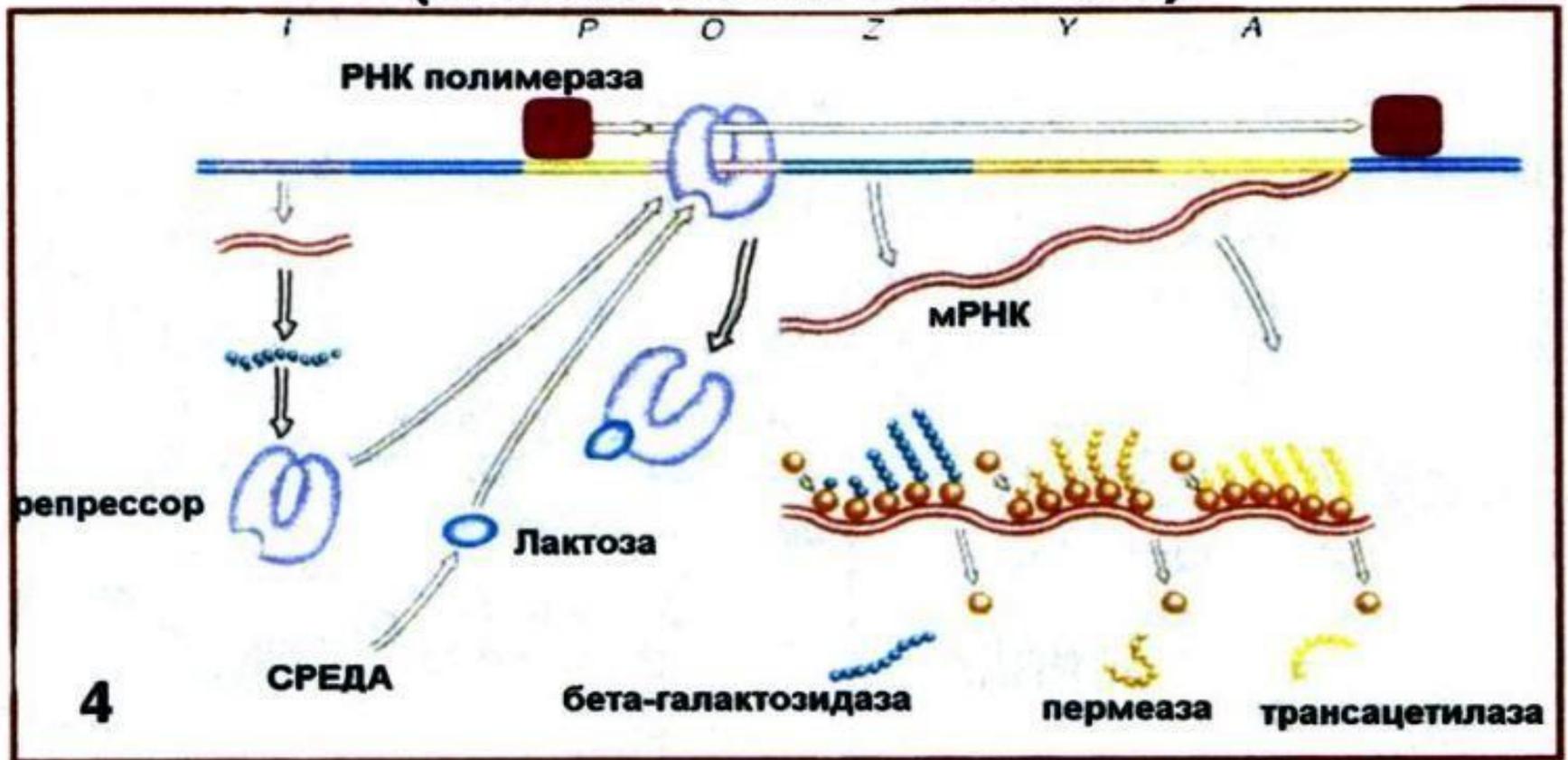
Несколько генов под одним промотором





Начинается и заканчивается оперон регуляторными областями — промотором в начале и терминатором в конце, кроме этого, каждый отдельный цистрон может иметь в своей структуре собственный промотор и/или терминатор.

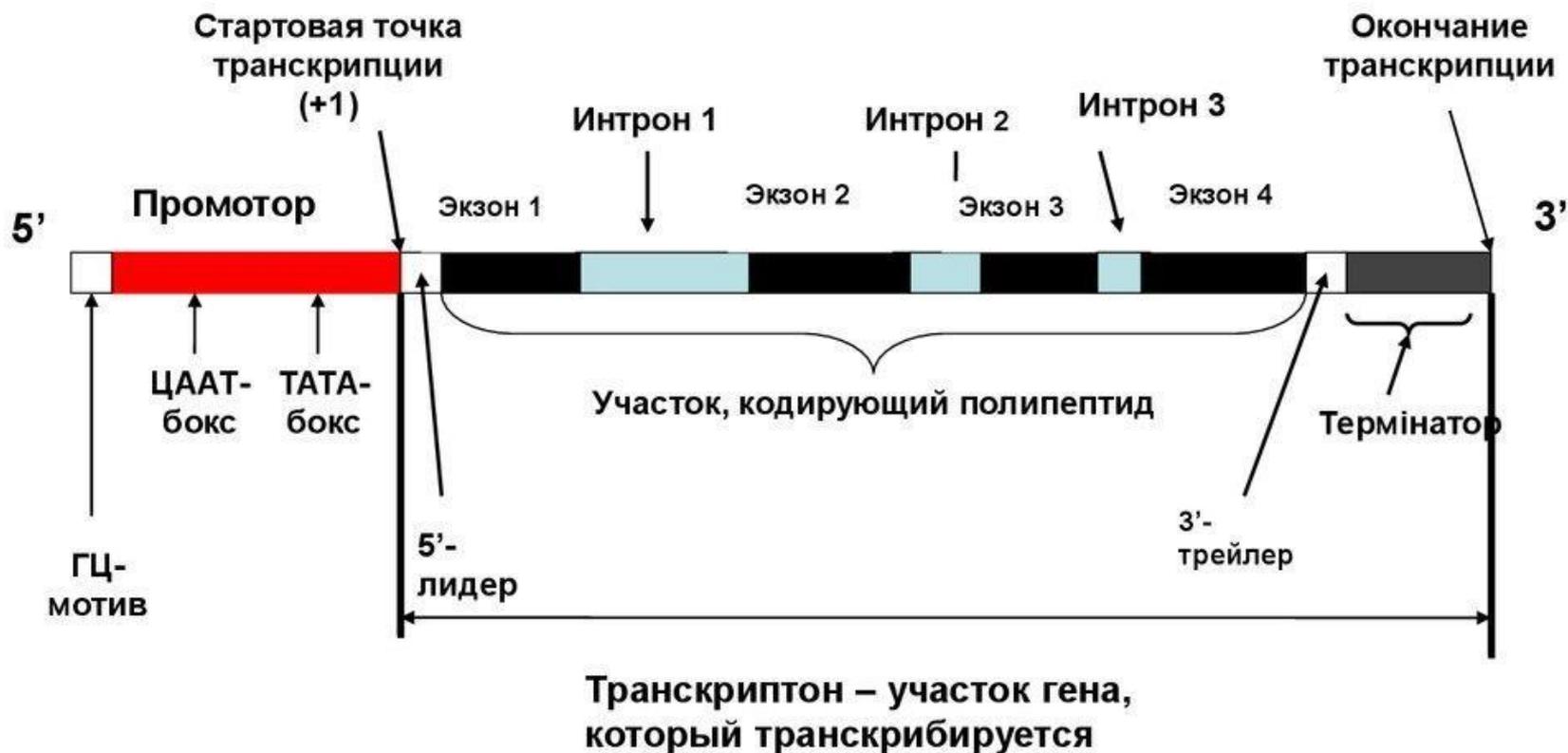
# Схема регуляции *Лас-оперона* (схема Жакоба-Моно)



**Модель оперона была предложена Франсуа Жакобом и Жаком Моно в 1961 г. для объяснения регуляции генов у *E.coli* (Нобелевская премия по физиологии и медицине, 1965 г.)**

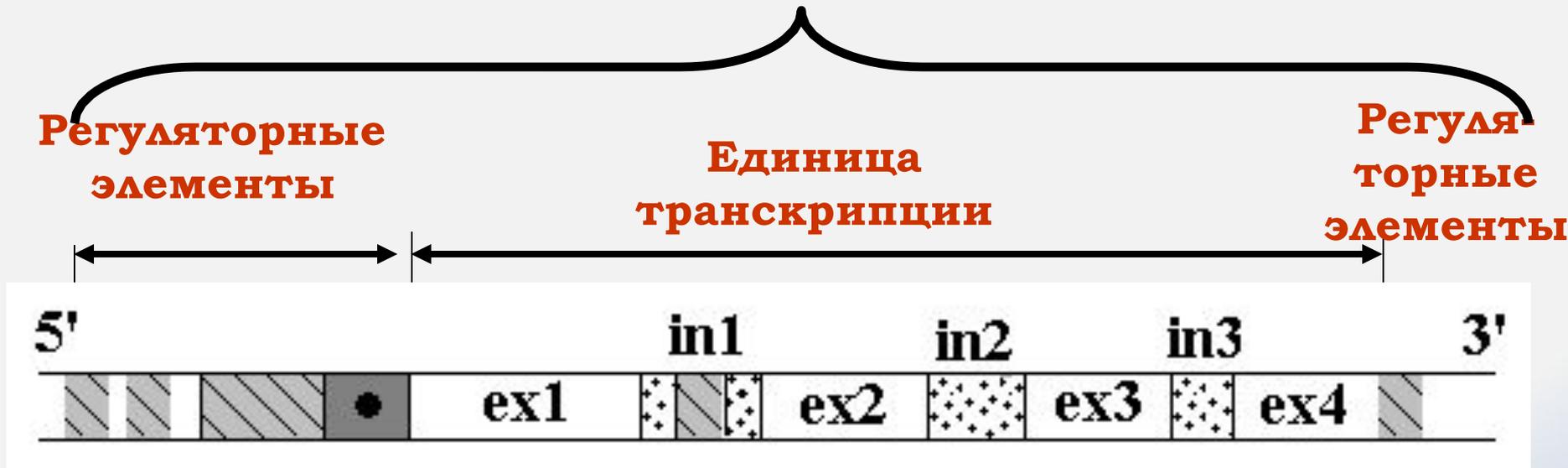
***I* — ген белка-репрессора; *P* — промотор; *O* — оператор;  
*Z*, *Y*, *A* — структурные гены.**

# Строение гена эукариот, кодирующего белок



# Генетическая система эукариот

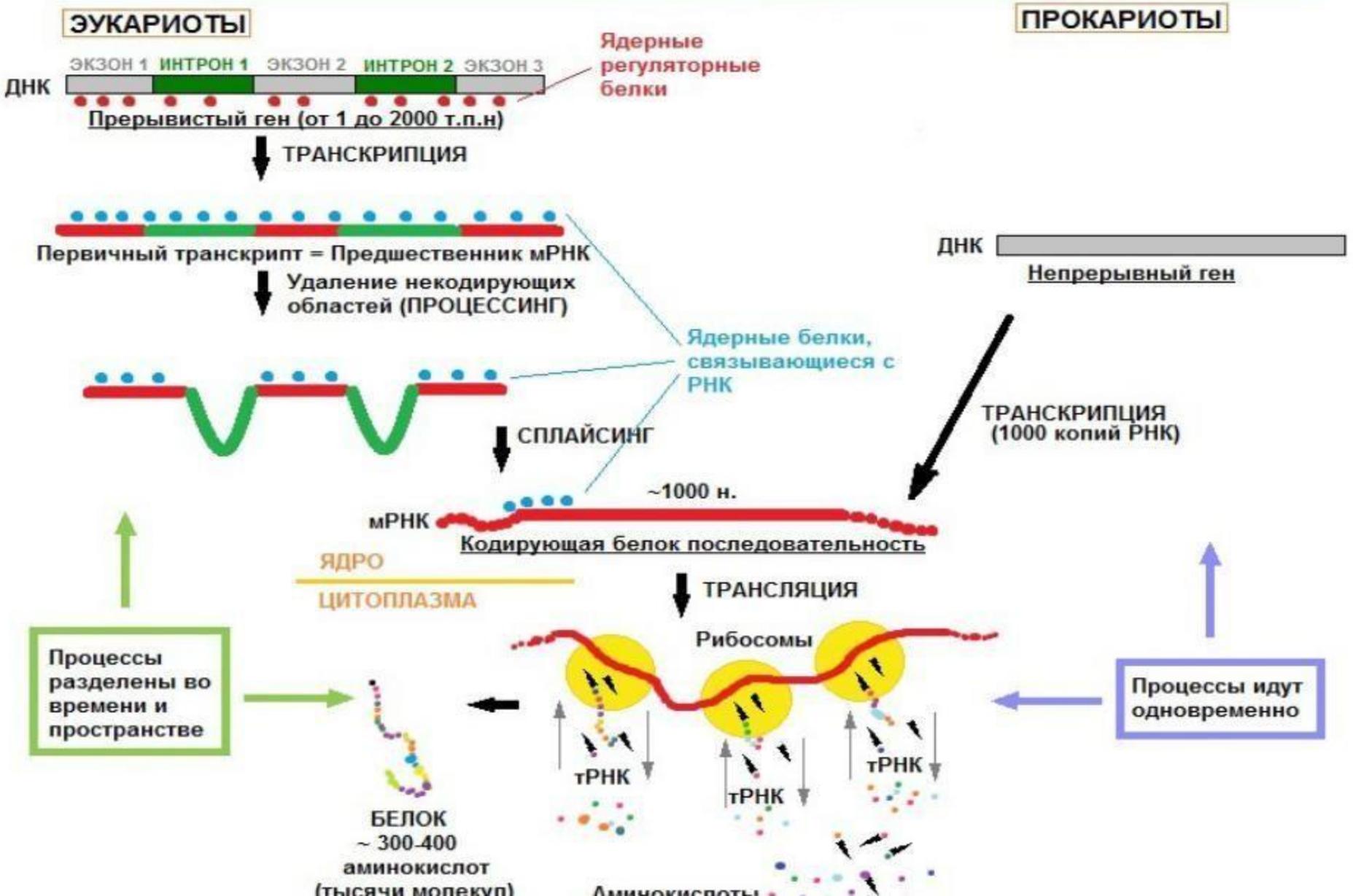
## транскриптон



промоторы

Гены эукариот имеют прерывистую структуру (кодирующий фрагмент – **экзон**, некодирующий фрагмент – **интрон**) и кодируют только один белок

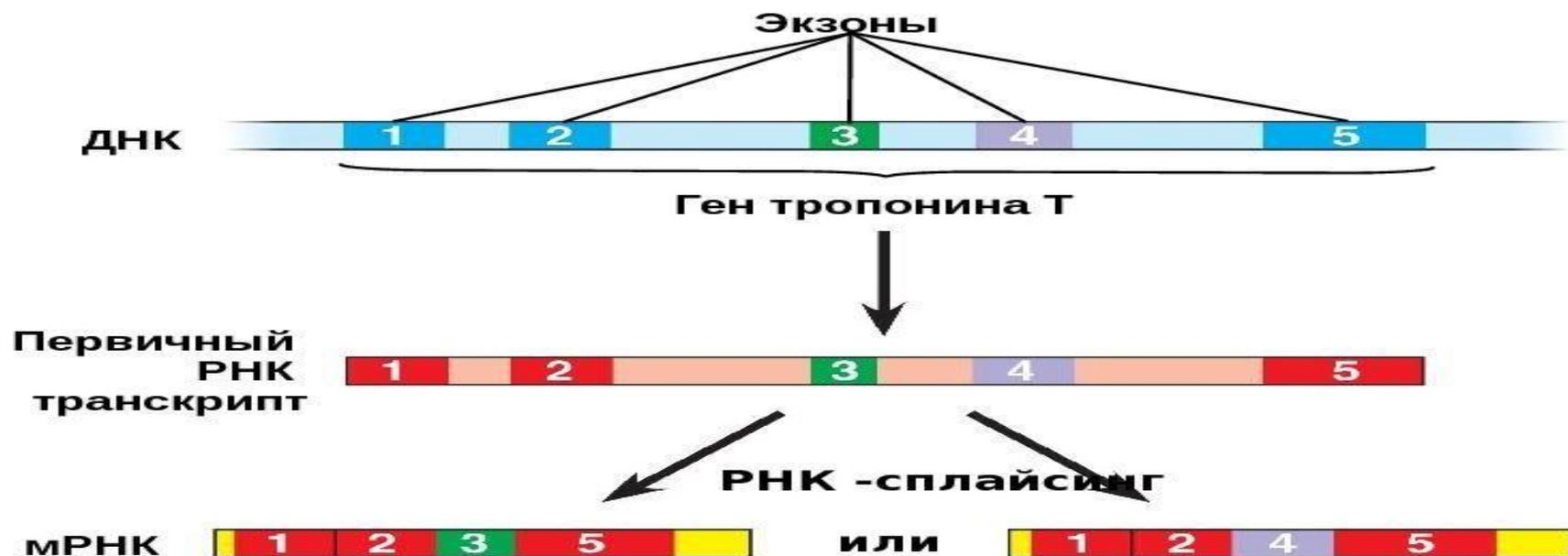
# Особенности реализации генетической информации у прокариот и эукариот



# Пример

## Альтернативный сплайсинг:

при этом различные мРНК-молекулы продуцируются из одного и того же транскрипта в зависимости от какие последовательности «обрабатываются» как интроны, а какие как экзоны.



# Регуляция экспрессии генов

- Активность многих генов может быстро меняться под действием специальных регуляторов – стероиды, факторы роста, нейромедиаторы; они передают сигналы внутрь клетки от рецептора, которые контролируют активность регуляторных белков, действующих на ДНК

## **Почему должны регулироваться экспрессия генов?**

- **Различные типы клеток должны синтезировать различные белки**
  - **На разных стадиях развития, и даже времени суток, необходимы разные белки и метаболиты**
  - **Программы онтогенеза и многие физиологические процессы связаны с работой целых генетических программ и экспрессией больших групп генов (кластеров из 100 и более генов)**
- Как регулируется экспрессия?**

# Основные точки регуляции экспрессии генов

Распаковка хроматина

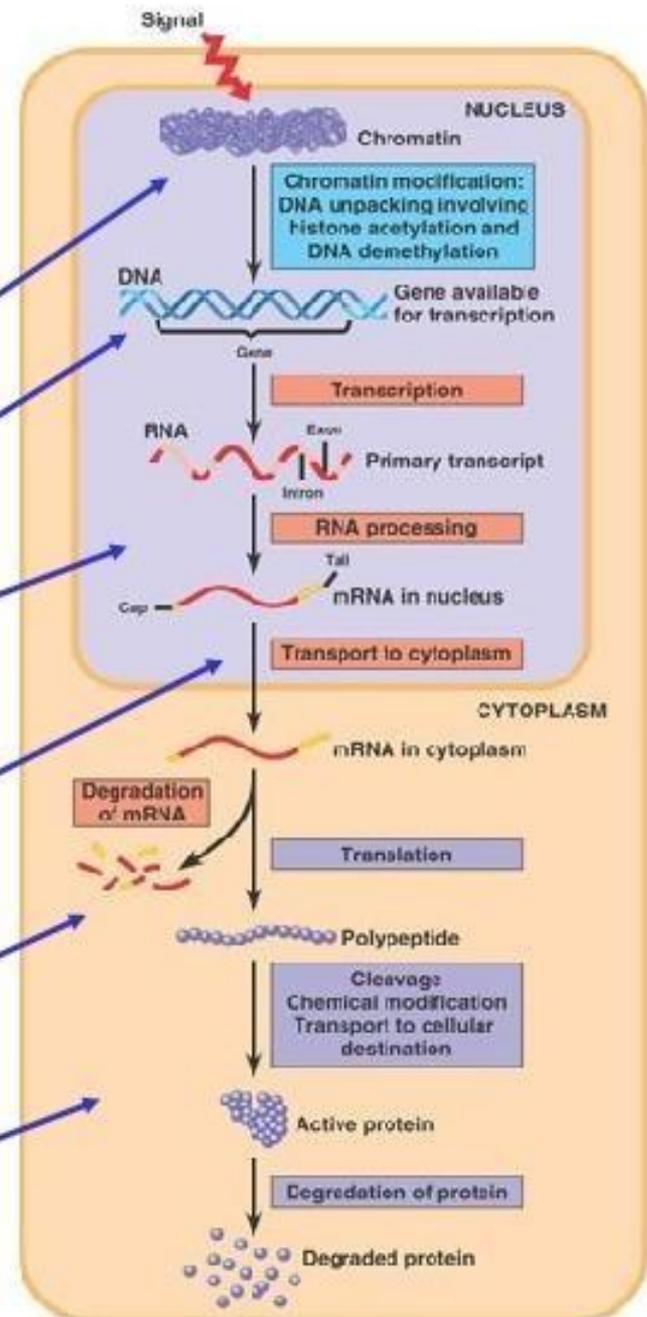
Инициация транскрипции

РНК-процессинг

Транспорт РНК в цитоплазму

Устранение зрелой мРНК  
вследствие РНК-интерференции

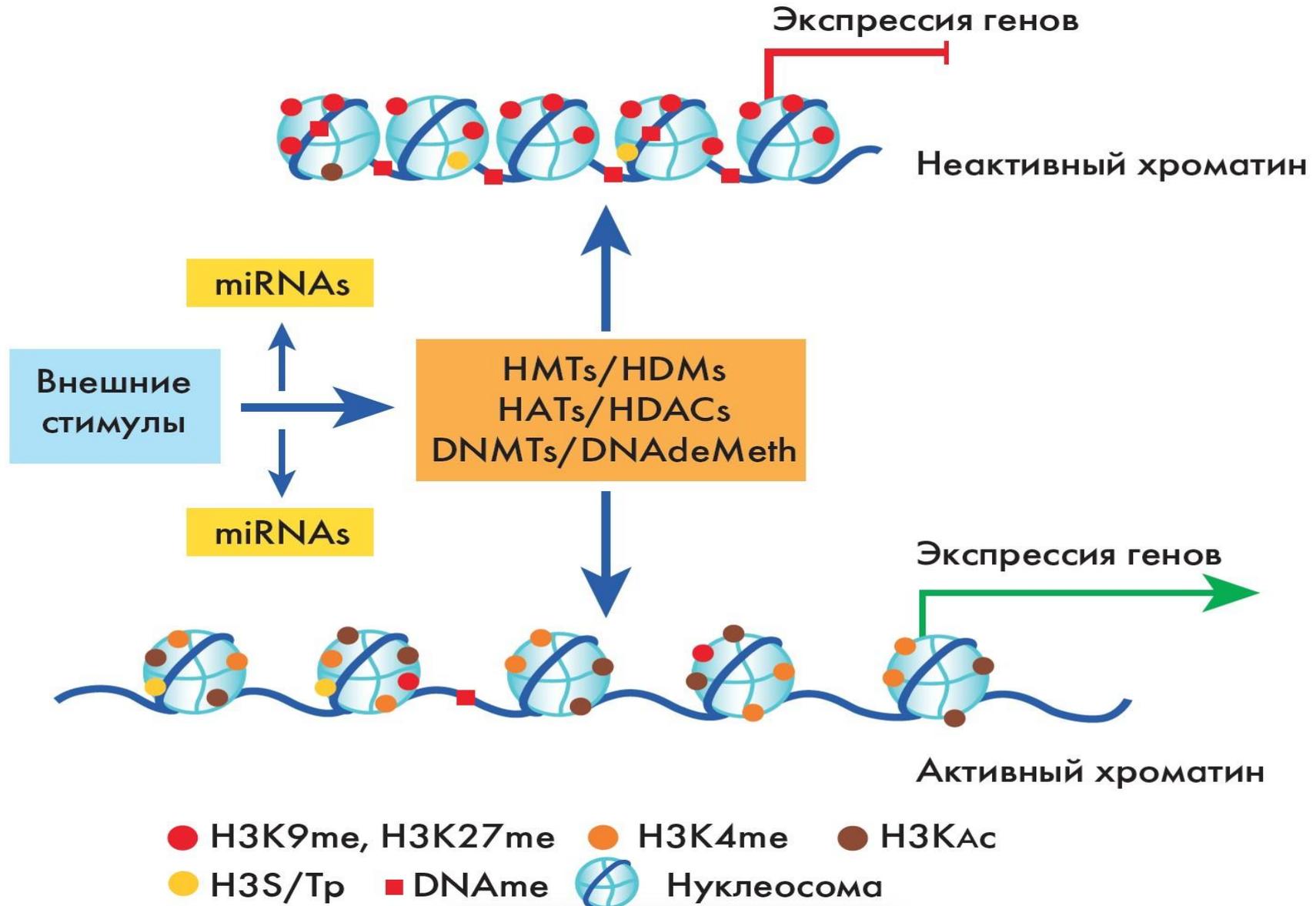
Контроль синтеза белка

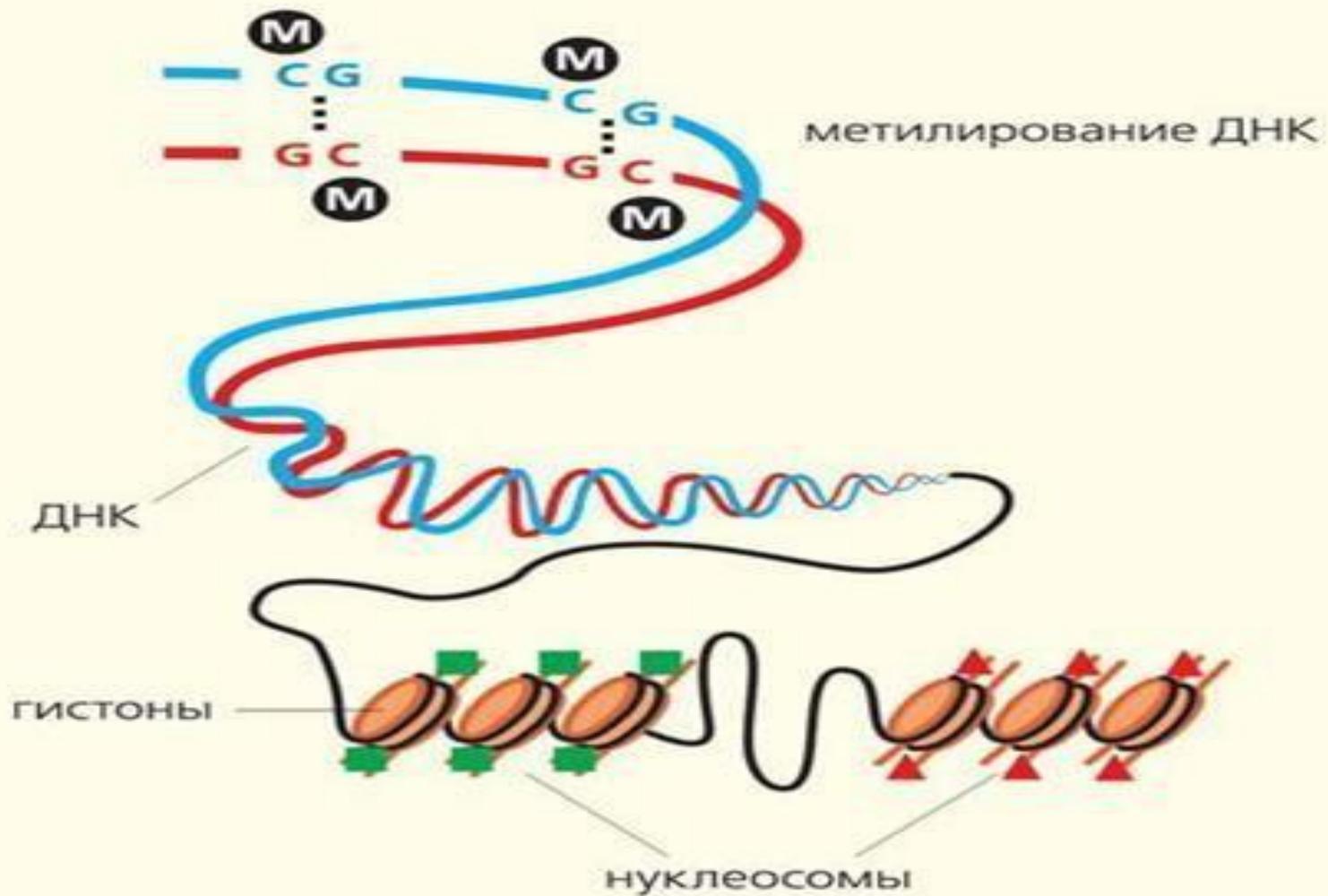


# РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА



# Модификация хроматина





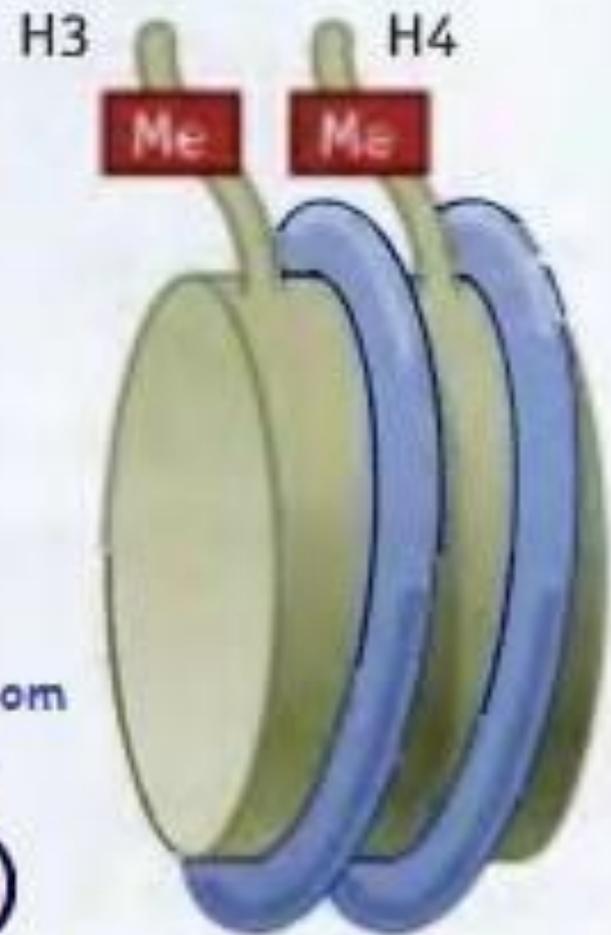
- M** метилирование ДНК
- ▲** метилирование гистонов
- ацетилирование гистонов

# Модификации гистонов контролируют активность генов

Активный хроматин  
хвосты ацетилированы

Неактивный хроматин  
хвосты метилированы

N-терминальные хвосты



meduniver.com



# Регуляция биосинтеза

- **Энхансеры** – участки ДНК, присоединение к которым регуляторных белков усиливает транскрипцию
- **Сайленсеры** – участки ДНК, присоединение к которым регуляторных белков уменьшает транскрипцию

## Инсулятор



**Инсулятор (insulator) — фрагмент ДНК, способный блокировать взаимодействие между энхансером и промотором, если находится между ними**

- **Активатор** - это белок, который связывается с энхансером и стимулирует транскрипцию гена
- Связанные активаторы вызывают взаимодействие белков-посредников с белками промотера

# Деградация мРНК

- Время жизни мРНК в цитоплазме является ключевым регулятором продолжительности синтеза белка
- Эукариотическая мРНК живет дольше прокариотической
- Время жизни мРНК частично регулируется строением последовательности в начале и в конце мРНК (leader and trailer regions)
- Более половины актов деградации РНК приходится на РНК-интерференцию

## **Некодирующие РНК играют множественные роли при контроле экспрессии генов**

- Только небольшая фракция ДНК кодирует белки, рибосомальные РНК или тРНК (25% или меньше)
- Большая часть генома (dark genome) транскрибируется в некодирующие молекулы
- Некодирующие РНК регулируют экспрессию генов на уровне мРНК-трансляции и конфигурации хроматина, но главное при помощи микроРНК (РНК-интерференции).

## Некодирующие РНК:

- Английский: non-protein-coding DNA
- Известны более 50 лет
- Главным образом это микроРНК, рибозимы и длинные некодирующие РНК (long ncRNA)

The Encyclopedia of DNA Elements (ENCODE) project reported in September 2012 that over 80% of DNA in the human genome «*serves some purpose, biochemically speaking*»

- **Феномен ингибирования экспрессии при помощи короткоцепочных молекул РНК называется РНК-интерференцией (RNA interference, RNAi)**
- **это явление связано с синтезом так-называемых коротких интерферирующих РНК (siRNAs) или микроРНК (miRNAs)**
- **siRNAs и miRNAs имеют схожую функцию, но разные источники синтеза**

## **Некодирующие РНК:**

**Типы некодирующих ДНК:**

- 1. Некодирующая функциональная РНК (рибосомальная РНК, транспортная РНК, Рiwi-РНК - 26-31, microRNA - 21-24).**
- 2. Цис- и транс-регуляторные элементы**
- 3. Интроны**
- 4. Псевдогены**
- 5. Повторные последовательности, транспозоны и вирусные элементы**
- 6. Теломеры**

**Функции:**

- Регуляция экспрессии генов, Защита генома, генетические переключатели, факторы транскрипции, операторы, энхансеры,**

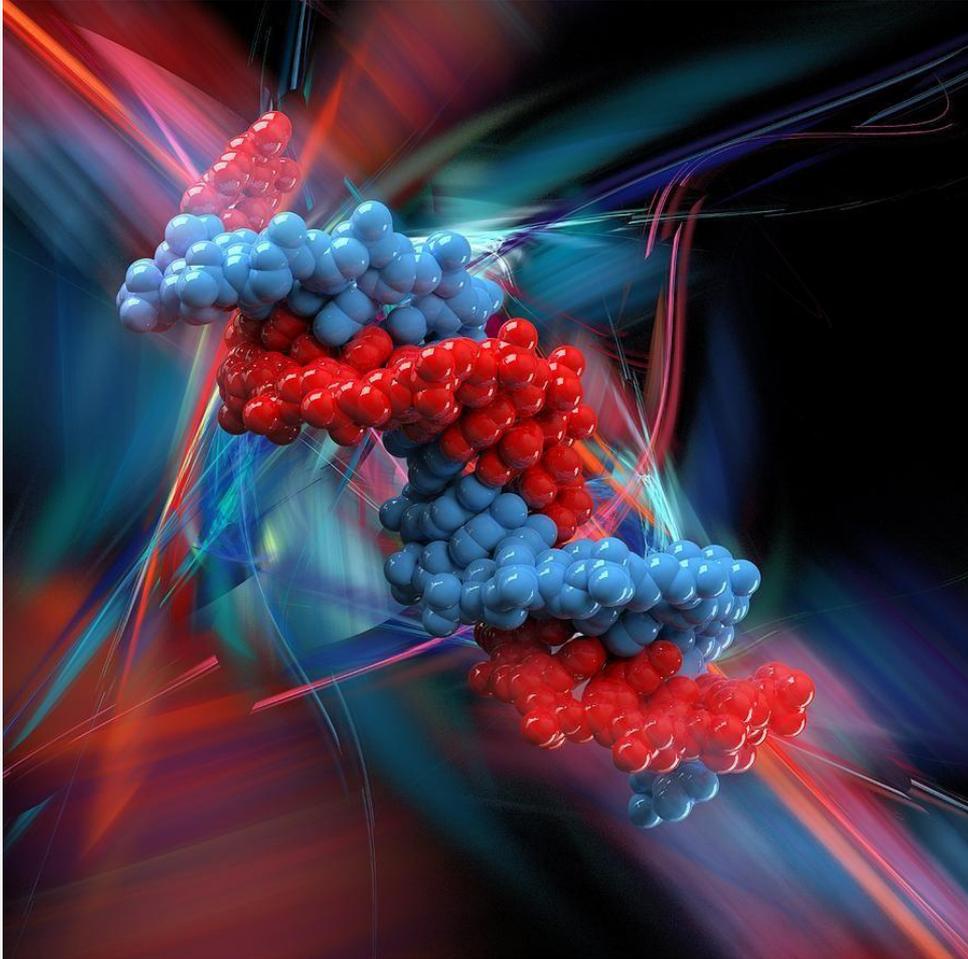
# **МикроРНК**

- **МикроРНК - MicroRNAs (miRNAs) – 21-24 нуклеотидов**
- **Они вызывают деградацию РНК или блокируют ее трансляцию**

## **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:**

- 1. Назовите основные принципы организации нуклеиновых кислот.**
- 2. Чем молекула ДНК отличается от РНК?**
- 3. Опишите основные виды и функции РНК.**
- 4. Перечислите и охарактеризуйте основные свойства генетического кода.**
- 5. Каким образом осуществляется передача наследственной информации? Какие ферменты участвуют в репликации ДНК?**
- 6. Каковы сходства и различия в структурной организации генов прокариот и эукариот?**
- 7. Как осуществляется регуляция экспрессии генов прокариот и эукариот?**
- 8. Что такое центральная догма молекулярной биологии?**
- 9. Назовите основные этапы транскрипции и трансляции. Перечислите и охарактеризуйте сходства и отличия у прокариот и эукариот.**
- 10. Регуляция экспрессии генов: основные точки.**

Благодарю за внимание! 😊



**Dna Molecule, Artwork**

Artwork of a DNA (deoxyribonucleic acid) molecule showing the double helix (spiral) structure. This genetic molecule found in all living cells is responsible for inherited genetic traits.