

**Биосинтез белка.** Генетический код. Транскрипция и трансляция.

**Геном.** Регуляция активности генов.

Роль нуклеиновых кислот в этом процессе. Ген и его роль в биосинтезе белка. Код ДНК. Реакции матричного синтеза. Роль ферментов в осуществлении биосинтеза белка.

Биосинтез белка – это один из основных процессов обмена веществ (метаболизма), происходящих в клетке.

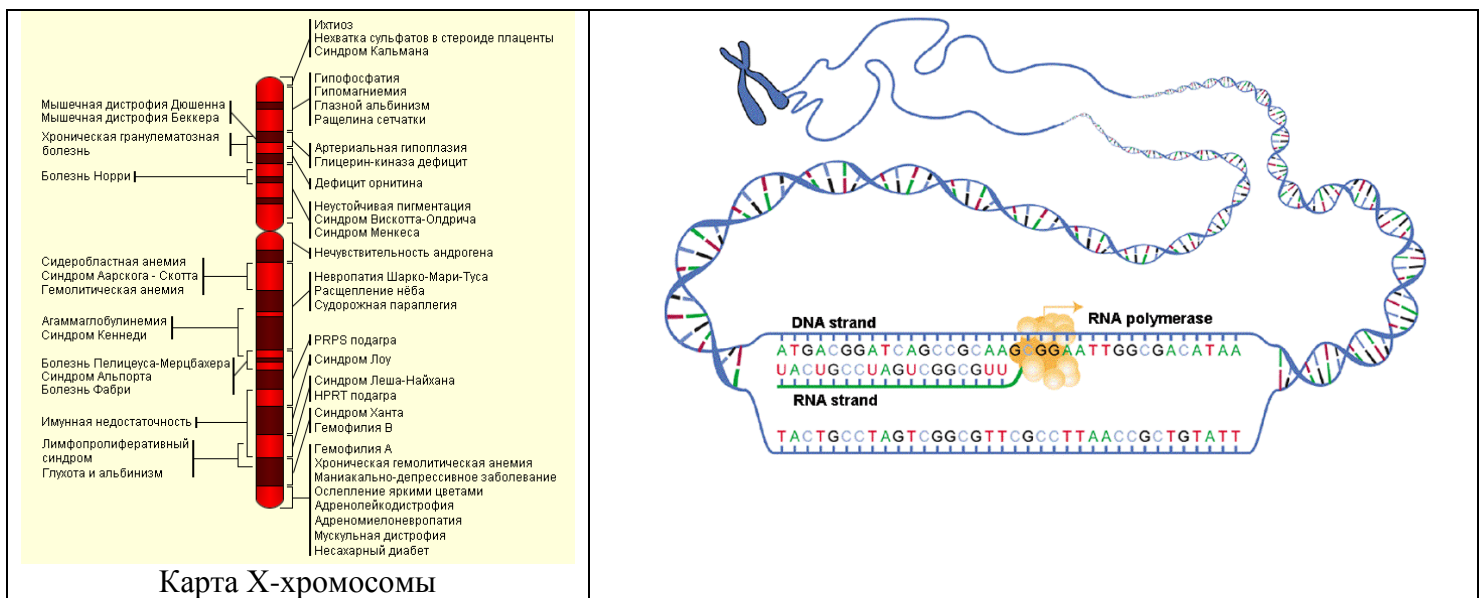
Это процесс реализация наследственной информации.

**Биосинтез белка** - важнейший процесс в живой природе, создание молекул белка на основе информации о последовательности аминокислот в его первичной структуре, заключенной в структуре ДНК, содержащейся в ядре.

**Участок ДНК эукариот** (т.е. последовательность нуклеотидов молекулы ДНК), **несущий информацию об одном белке** (первичной структуре или полипептидной цепочке) – **называется геном**.

**Ген – это единица наследственной информации.**

**Каждая ДНК** (т.е. каждая хромосома) содержит **множество разных генов**.



Благодаря свойству ДНК – репликации происходит сохранение генетической информации и ее передача дочерним клеткам при делении.

**! Мономерами белков являются аминокислоты.**

Молекула **ДНК** – как носитель генетической информации в клетке – **непосредственно участия в синтезе белков не принимает**, она должна сохранить информация и **из ядра не выходит**.

Поэтому необходим «посредник» – таким посредником является **и-РНК**.

Последовательность аминокислот любого белка «закодирована» в **молекуле ДНК** в виде определенного кода - **генетического кода**. Этот код переносится на и-РНК, которая, пройдя через ядерную пору, несет информацию о белке в цитоплазму.

ДНК является матрицей для создания всех белков: в ДНК заключена вся информация о структуре и деятельности клеток, о всех признаках каждой клетки и организма в целом. Эта информация называется генетической.

### Генетический код

**Генетический код** - это система записи информации в виде последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК о последовательности аминокислот в молекулах белка.

## Свойства генетического кода.

Триплетность	– каждая аминокислота кодируется тремя нуклеотидами ( <u>кодон или триплет</u> ). Мономером ДНК и РНК является нуклеотид. Всего нуклеотидов 4: в ДНК - это А, Г, Ц, Т, а в РНК – А, Г, Ц, У. Каждая из <u>20 аминокислот</u> зашифрована последовательностью трех нуклеотидов, называемых <u>триплетом или кодоном</u> . Из 4 нуклеотидов можно создать 64 различные комбинации по 3 нуклеотида.
Избыточность или вырожденность	– все аминокислоты (за исключением <u>метионина и триптофана</u> ) кодируются <u>более чем одним триплетом</u> . Из 4-х нуклеотидов можно составить 64 триплета, за вычетом трех триплетов, которые не кодируют аминокислот, остается 61 комбинация, а аминокислот 20.
Специфичность или однозначность	Каждый кодон кодирует <u>только одну аминокислоту</u> . Следовательно, если нуклеотида в кодоне изменяться, то это будет другая АК.
Колинеарность -	последовательность триплетов определяет порядок АК в белке.
Не перекрываются	- один нуклеотид <u>не может входить</u> в разные кодоны кодон. или «внутри гена нет знаков препинания» При выпадении или добавлении нуклеотида происходит изменение структуры триплета и изменению последовательности АК в полипептидной цепи.
Непрерывность.	Кодоны следуют друг за другом, без перерывов. Между отдельными генами (т.е. между информацией о одном белке и информацией о другом белке) есть «знаки препинания» - это <u>стоп кодоны или бессмысленные триплеты</u> . Они не шифруют (не кодируют) АК, они означают, что это окончание синтеза одного полипептида – <u>УАА, УАГ, УГА</u> .  Синтез любого белка начинается с аминокислоты метионина, которая кодируется <u>стартовым кодоном и-РНК (АУГ)</u> .
Универсальность	<u>У всех живых организмов на Земле один и тот же кодон</u> обуславливает включение в полипептид <u>одну и ту же аминокислоту</u> .

## Полные названия аминокислот

				Таблица триплетов генетического кода (в таблице приведены кодоны и – РНК)					
				Первый нуклеотид	Второй нуклеотид				
					Ц	Г	У	А	
Аминокислота	Сокращенное название	Аминокислота	Сокращенное название	Ц	ЦЦЦ Про	ЦГЦ Арг	ЦУЦ Лей	ЦАЦ Гис	
Глицин	Гли	Аланин	Ала		ЦЦГ Про	ЦГГ Арг	ЦУГ Лей	ЦАУ Гис	
Валин	Вал	Лейцин	Лей		ЦЦУ Про	ЦГУ Арг	ЦУУ Лей	ЦАГ Глн	
Изолейцин	Иле	Фенилаланин	Фен		ЦЦА Про	ЦГА Арг	ЦУА Лей	ЦАА Глн	
Тирозин	Тир	Триптофан	Три		Г	ГЦЦ Ала	ГГЦ Гли	ГУЦ Вал	ГАЦ Асп
Лизин	Лиз	Аргинин	Арг			ГЦГ Ала	ГГГ Гли	ГУГ Вал	ГАУ Асп
Гистидин	Гис	Аспарагиновая кислота	Асп			ГЦУ Ала	ГГУ Гли	ГУУ Вал	ГАГ Глу
Аспарагин	Асп	Глутаминовая кислота	Глу			ГЦА Ала	ГГА Гли	ГУА Вал	ГАА Глу
Глутамин	Глн	Цистеин	Цис		У	УЦЦ Сер	УГЦ Цис	УУЦ Фен	УАЦ Тир
Метионин	Мет	Серин	Сер			УЦГ Сер	УГУ Цис	УУУ Фен	УАУ Тир
Треонин	Тре	Пролин	Про			УЦУ Сер	УГГ Три	УУА Лей	УАГ стоп
						УЦА Сер	УГА стоп	УУГ Лей	УАА стоп
				А	АЦЦ Тре	АГЦ Сер	АУЦ Иле	ААЦ Асп	
					АЦГ Тре	АГУ Сер	АУУ Иле	ААУ Асп	
					АЦУ Тре	АГГ Арг	АУА Иле	ААГ Лиз	
					АЦА Тре	АГА Арг	АУГ Мет	ААА Лиз	

## Этапы биосинтеза: транскрипция и трансляция

У прокариот оба процесса осуществляются в цитоплазма, т.к. у них нет ядра.

У эукариот процесс синтеза белка разделен: транскрипция идет в ядре, а трансляция в цитоплазме.

## Транскрипция

Транскрипция – это первый этап реализации наследственной информации.

**Транскрипция** - процесс «перевода» генетической информации с нуклеотидной последовательности ДНК в нуклеотидную последовательность РНК (**с ДНК на РНК**).

Матрица для транскрипции	– одна из цепочек ДНК – кодогенная (3'→5', та которая при репликации была кодогенной).
Продукт транскрипции	– все виды РНК!!!
Условия для транскрипции:	наличие транскриптона (оперона), нуклеотиды, ионы магния, АТФ, РНК-полимераза (это фермент, который обеспечивает расплетение ДНК и комплементарное присоединение нуклеотидов на вновь синтезируемой и-РНК) и т.д.
Где идет процесс	- в ядре у эукариот - в цитоплазме – у прокариот.
Единица транскрипции	– т.е. участок молекулы ДНК, где в данный момент идет процесс транскрипции - у прокариот <u>оперон</u> , - у эукариот <u>транскриптон</u> .

В процессе транскрипции у эукариот переписывание информация происходит не со всей молекулы ДНК (т.е. не вся ДНК клетки и не вся ДНК одной хромосомы), а только фрагмент ДНК – один ген, несущий информацию о структуре одного белка.

### Схема строения транскриптона

**Транскриптон** – это моноцистронная модель гена (1 ген = 1 цистрон = 1 белок).

Т.О. с одного гена эукариот синтезируется один белок, который, выполняя свою функцию, определяет развитие и проявление признака. Такая закономерность получила название **правила Бидла-Татума: ГЕН – ФЕРМЕНТ – ПРИЗНАК**.

ССР	Промотор	Структурный блок												Т	ССР	
		Э	ДСС	И	ДСС	Э	ДСС	И	ДСС	Э	ДСС	И	ДСС			Э
		ТАЦ														

Участок	Структура	Функция
Спенсерный сайт рестрикции (ССР)	Палиндромный участок ДНК, разделяющий транскриптоны, образуя так называемые «шпильки» в ДНК. Состоит из инвертированных нуклеотидов (чаще гуанин и цитозин) по принципу «КАЗАК».	Разделение транскриптонов
Промотор или промоторный участок (П)	Состоит из двух блоков нуклеотидных пар.	Узнавание РНК-полимеразы
		Присоединение РНК-полимеразы
Сайт инициации транскрипции	- триплет нуклеотидов, который при трансляции будет соответствовать АК – метионин (ТАЦ на ДНК).	Точка инициации, стартовая точка
Структурный блок	<b>Экзоны (Э)</b> – смысловые участки	Несут информация о структуре белка
	<b>Интроны (И)</b> – несмысловые	Не несут информация о структуре белка
	<b>Донорные сайты сплайсинга (ДСС)</b> – между И и Э	Последовательности пар нуклеотидов, по которым будет идет вырезание (сплайсинг) интронов в ходе процессинга.
	Триплеты ДНК, соответствующие <u>стоп кодонам</u> и-РНК (УАА, УАГ, УГА).	Остановка трансляции
Терминатор (Т)	Нуклеотидная последовательность поли-А (много адениловых нуклеотидов).	где прекращается рост цепи РНК (точка терминации). Означает конец считывания информации и отщепление синтезированной и-РНК

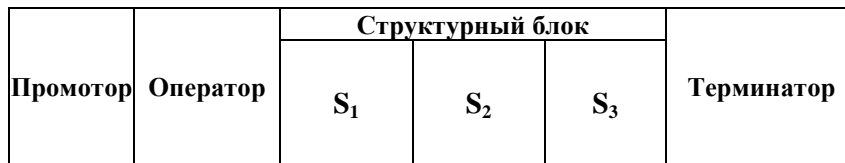
## Схема строения оперона

**Оперон** – полицистронная модель (1 ген = несколько цистронов = несколько белков).

Это участок кольцевой молекулы ДНК прокариот, несущий информацию о нескольких структурно-функционально связанных белках. Т.е. группа белков имеющих одну функцию.

### Отличие оперона от транскриптона:

- не имеет ССР,
- имеется **Оператор (О)** - Или акцепторная зона - с него начинается синтез и-РНК и с ним взаимодействует особый белок репрессор (супрессор) или индуктор и от этого будет зависеть будет или нет идти транскрипция.
- Структурный блок практически не содержит интронных участков,
- исходя из полицистронной модели структурный блок разделяется на отдельные цистроны, каждый из которых несет информацию о соответствующем белке.
- все белки, синтезированные с данного участка выполняют одну функция,
- синтез всех белков запускается одним промотором и заканчивается в одной терминальной точке.



- Процесс транскрипции идет по принципу **комплементарности**. (водородных связей не образуется)

ДНК	РНК		
А	У		
Т	А		
Г	Ц		
Ц	Г		

### **Этапы транскрипции на примере синтеза и-РНК** (инициация, элонгация, терминация)

1. Инициация	– Процесс начинается с кодонов промотора, которые узнают и присоединяют фермент РНК-полимеразу. У прокариот, кроме этого, должно произойти освобождение оператора от белка-репрессора.
2. Элонгация	– По принципу комплементарности начиная с инициирующего кодона транскриптона (ТАЦ) начинают «строиться» нуклеотиды и-РНК (триплету ТАЦ молекулы ДНК будет комплементарен триплет АУГ молекулы и-РНК). Наращивание цепочки <b>РНК идет от 5' к 3' концу</b> (т.к. в таком направлении может работать РНК-полимераза). Размер расплетенного участка в течение транскрипции всегда одинаков и идет «шагами» расплетая по 17 пар нуклеотидов ДНК.  Скорость транскрипции 50 нуклеотидов в секунду.  В ходе элонгации «переписываются» все нуклеотиды структурного блока: и экзоны и интроны и ДСС, и инициирующий триплет и стоп-кодон (УАА, УАГ, УГА).
3. Терминация	Остановка транскрипции в терминальном блоке.

В результате этих трех этапов образуется **про-РНК**. Она «не зрелая», выйти из ядра и вступить в процесс трансляции она не может. Ей необходимо «созреть».

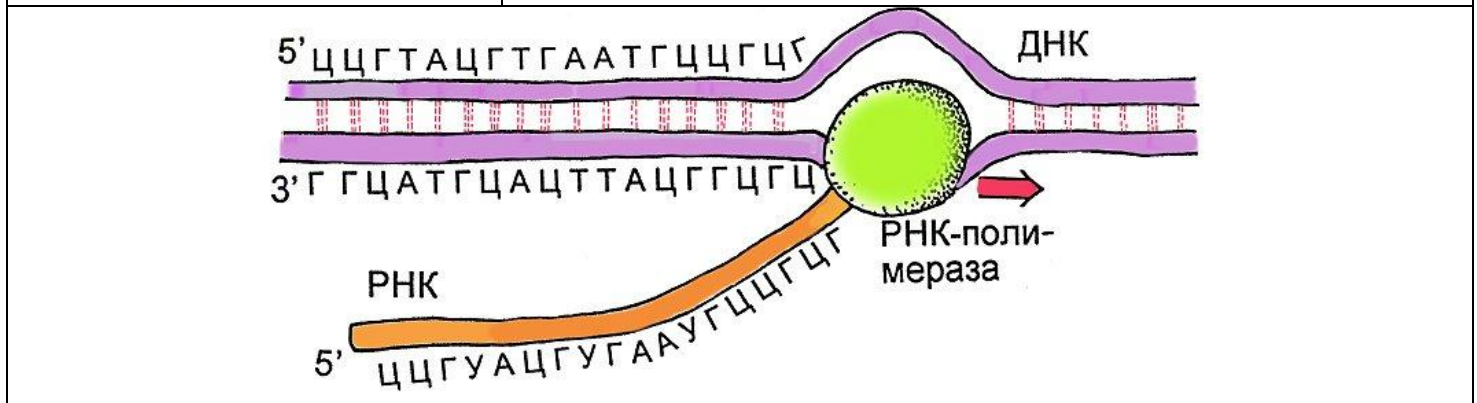
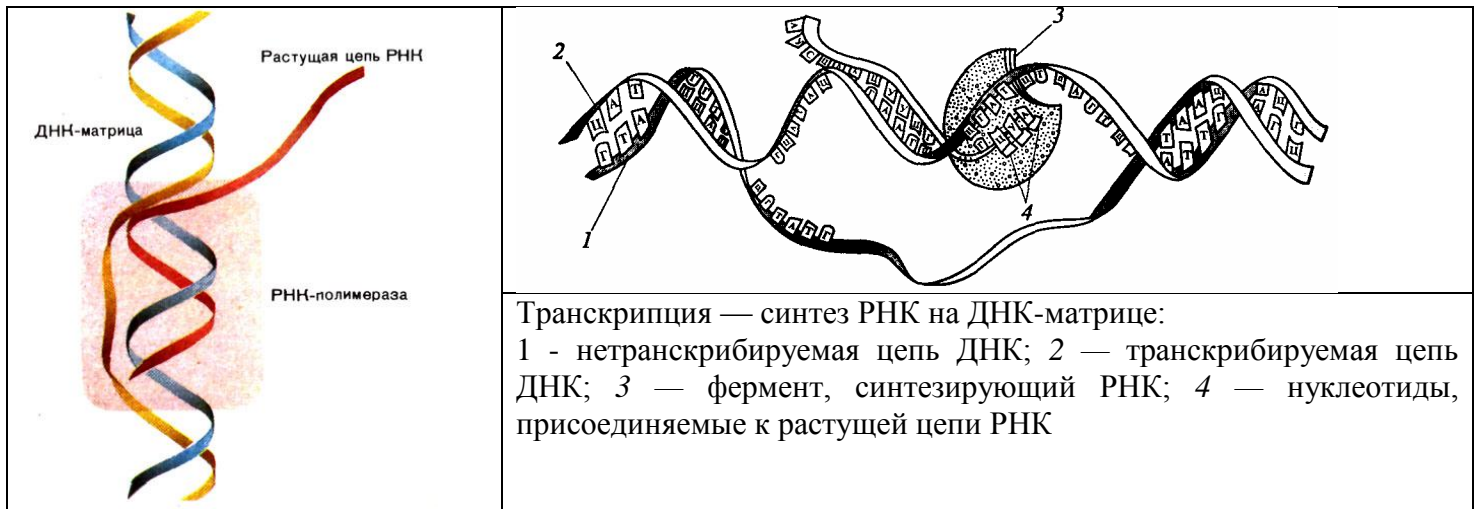
Процесс «созревания» называется – **процессинг**.

4. Посттранскрипционные процессы - процессинг

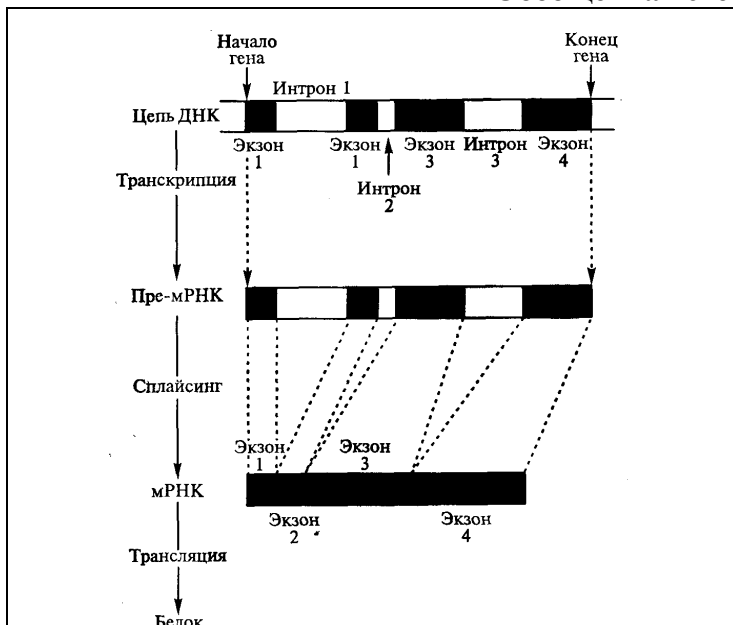
– Созревание *про-РНК* до *и-РНК*.

1. Кэпирование 5'-конца, заключающееся в присоединении к этому концу мРНК так называемой шапочки (кэп-структуры, которая образована ГТФ)
2. Полиаденирование – присоединение поли-А, так же для сохранения информации на терминальном конце
3. Сплайсинг - вырезание протяженных внутренних участков мРНК, так называемых интронов, и ковалентное воссоединение оставшихся фрагментов (экзонов) через обычную фосфодиэфирную связь.

Сформированная, зрелая и-РНК через ядерные поры выходит из ядра в цитоплазму к рибосомам шероховатой ЭПС, где и встает на путь трансляции – собственно синтеза первичной структуры белка.

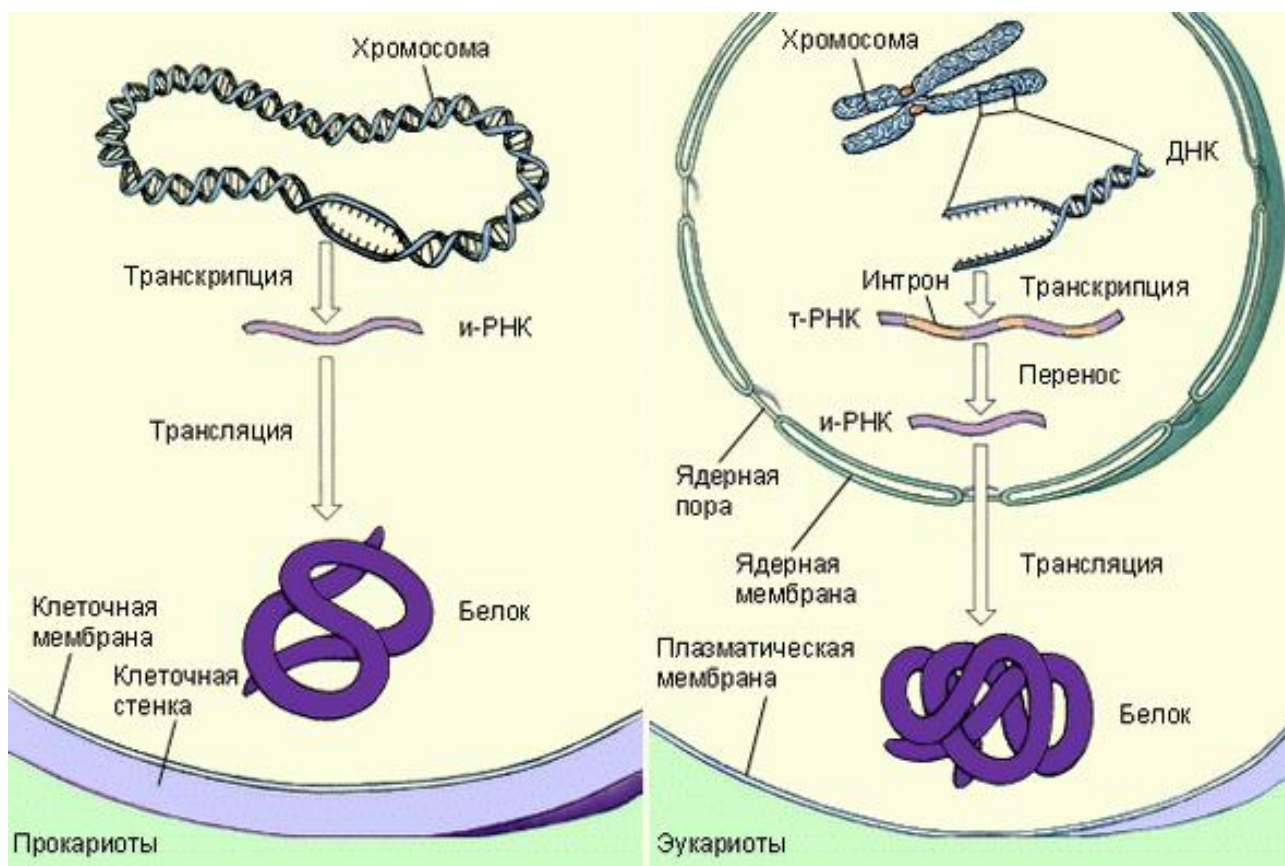
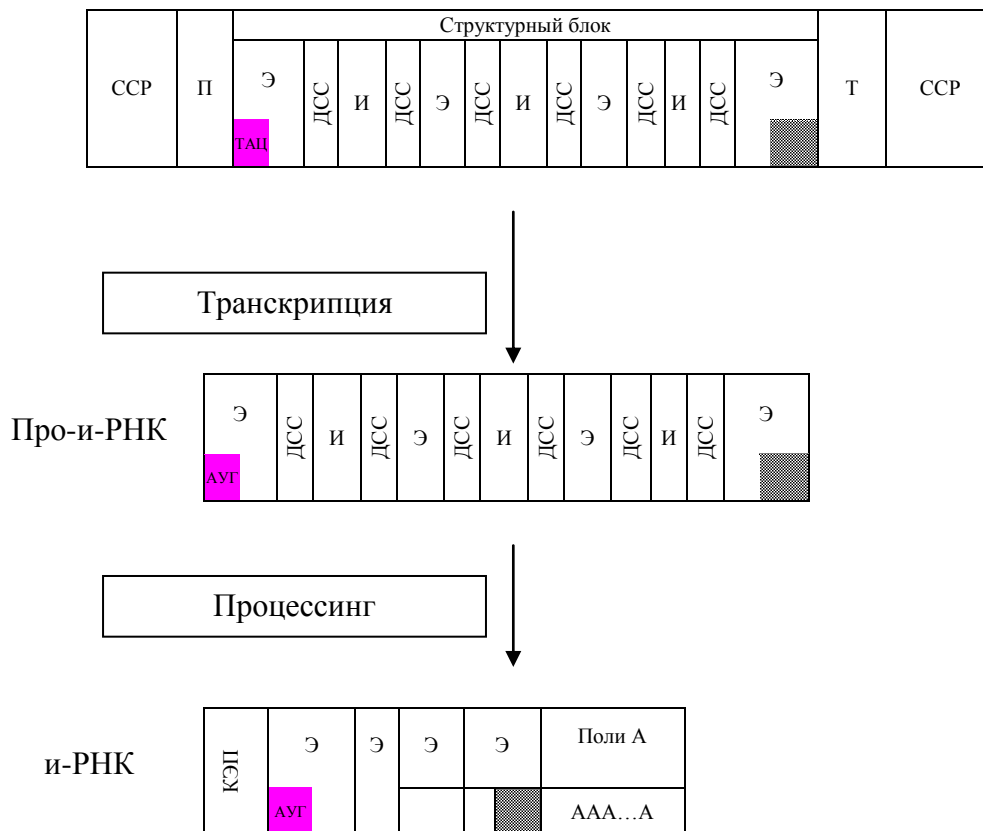


Обобщенная схема транскрипции



Основные этапы синтеза белка у эукариот  
 (А.Даншен, П.Слонимски, 1987)





В некоторых живых системах (вирусах) существует **обратная транскрипция**, когда информация вирусных РНК в заражённых клетках транскрибируется путём синтеза ДНК, которая включается в геном клеток хозяина и служит матрицей для синтеза новых вирусных РНК (например, ретровирусы, вирус СПИДа). Для этого вирусные частицы имеют специальный фермент – обратную транскриптазу (ревертазу).

## Трансляция

**ТРАНСЛЯЦИЯ** – передача генетической информации с нуклеотидного кода, записанного в молекулах и(м)-РНК, в определенную последовательность аминокислот в полипептидной цепи синтезируемого белка. *С м-РНК на АК*

Матрица для трансляции	– м(и)-РНК
Принципы трансляции	– генетической триплетности, неперекрываемости, непрерывности.
Продукт трансляции	– первичная структура белка (полипептидная цепочка)
Места прохождения процессов трансляции	Часть процессов трансляции идет непосредственно в цитоплазме клетки – <b>цитозольный</b> этап, а часть в рибосоме - <b>рибосомальный</b> этап.
Цитозольный:	на этом этапе происходит узнавание и отбор аминокислот и присоединение их к тРНК в цитоплазме.
Рибосомальный:	на этом этапе происходит сборка полипептидной цепи на рибосомах в соответствии с генетическим кодом.  Стадии рибосомального этапа: 1) Инициация, 2) Элонгация, 3) Терминация.

### Условия трансляции:

1. **Наличие т-РНК**, которые доставляют АК к месту синтеза белка на рибосоме.

**Аминокислоты**, согласно триплету антикодоновой петли, который соответствует кодону и-РНК, построенному на основе матрицы ДНК - «прикрепляются» к **акцепторной ветви т-РНК**.

Количество т-РНК = количеству АК, т.е. = 20. Для каждой АК своя т-РНК.

Наличие ферменты **Аминоацил-тРНК синтетазы**, обеспечивает активацию аминокислоты и ее присоединение к тРНК. Каждая синтетаза (их должно быть не меньше 20) узнает только свою аминокислоту и навешивает ее на свою тРНК. Наличие другого ферменты, который располагается в Т петле т-РНК, обеспечивает взаимодействие тРНК к субчастице рибосомы.

(Повторить строение т-РНК !!!)

2. **м(и)-РНК** - матрица для трансляции, которая несет информацию о последовательности АК белка, в соответствии со структурой гена.
3. **р-РНК** - образуют структурно-функциональные центры субчастиц рибосом.
4. **Рибосомы (повторить!)**. Они играют роль организующего центра в чтении генетической информации. Это молекулярная машина, построенная по единой схеме у всех организмов с некоторыми вариациями. Она состоит из двух рибонуклеопротеидных субчастиц: малой и большой. На рибосоме происходит взаимодействие иРНК с тРНК и синтезируется белок. При этом "руководит" образованием пептидных связей между аминокислотами сама рибосома.

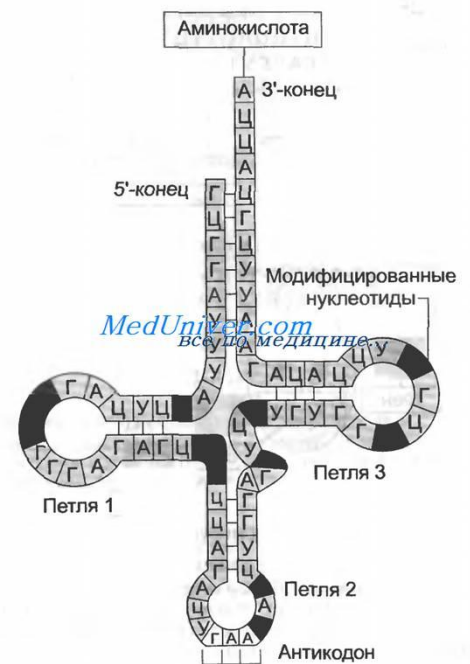
**Малая субчастица** имеет 2 центра:

1. Центр связывания с мРНК, которая проходит через «шею» малой субчастицы.
2. Участок, удерживающий тРНК.

**Большая субчастица** так же имеет 2 центра.

1. аминоацильный (акцепторный, центр узнавания аминокислоты)
2. пептидилный (донорный, центр присоединения аминокислоты к пептидной цепочке).

5. **Аминокислоты** в цитоплазме клетки, которые служат строительным материалом для белков.
6. С затратой энергии АТФ



## Стадии трансляции:

### 1. Инициация – сборка иницирующего комплекса.

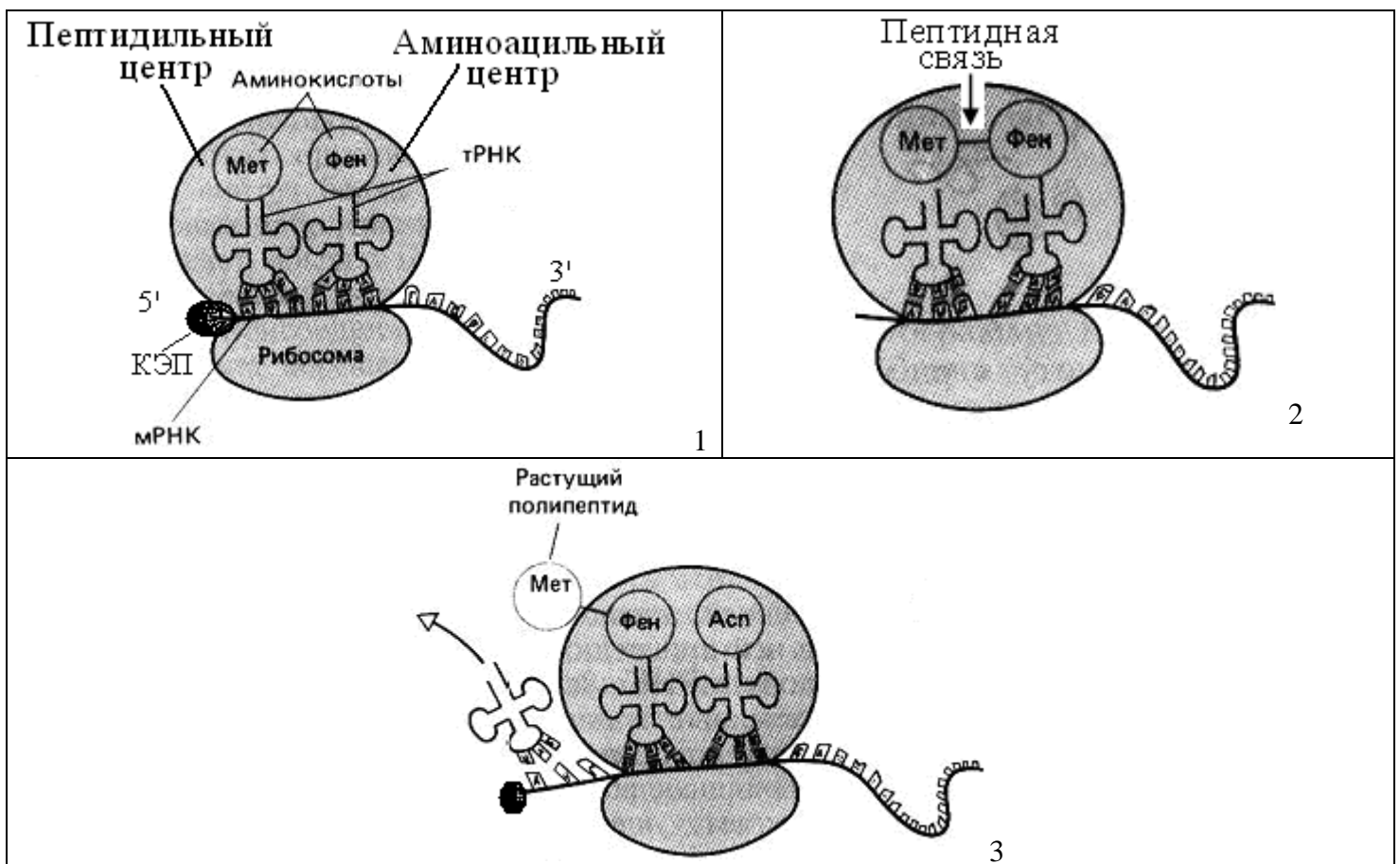
Объединение двух субъединиц рибосом происходит при формировании иницирующего комплекса: на определенном участке м-РНК (с иницирующим кодоном АУГ) происходит присоединение к этому участку первой т-РНК с АК- **метионин**, которая является затравочной.

К концу инициации в пептидилном (донорном) участке – АК-метионин, а в аминоацильном (акцепторном) – следующая. В последующем эта первая АК-метионин «отщепится» от полипептида и не будет входить в состав белка – иначе все белки начинались бы с АК метионина.

Рибосома «захлопывается» и делает «шаг».

### 2. Элонгация - образование первого дипептида, наращивание полипептидной цепи, перемещение мРНК

Удлинение полипептидной цепочки белка по принципу триплетности, неперекрываемости, непрерывности, коллинеарности генетического кода. В том случае, когда триплет АУГ стоит не на первом месте, а «внутри» гена он кодирует включение в полипептид АК метионина, которая остается в белке. Пептидилный и аминоацильный участки рибосомы находятся очень близко, поэтому между двумя АК, расположенными в них образуется пептидная связь под действием пептидилтрансферазы.

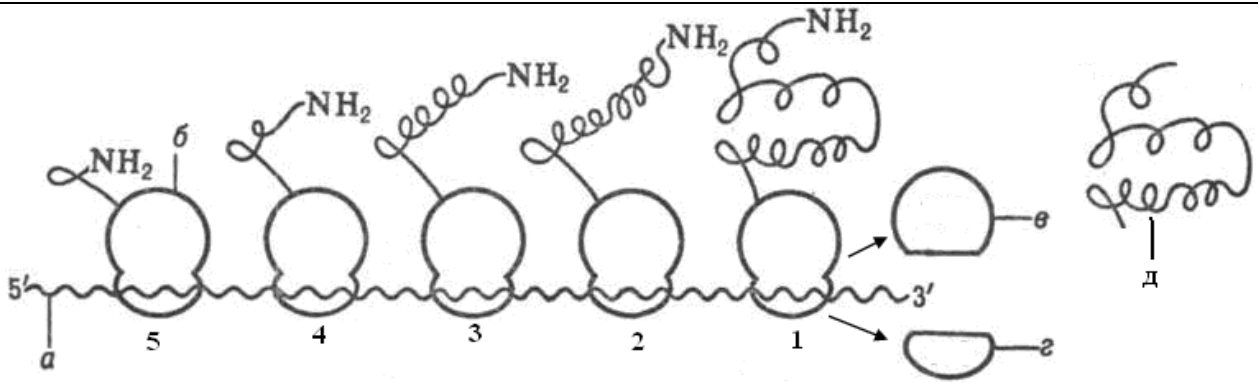


### 3. Терминация – завершение построения первичной структуры будущего белка, сброс полипептида с рибосомы

Весь процесс идет до терминального кодона (УАА, УАГ, УГА), который входит в акцепторный участок рибосомы. К стоп-кодону не подходит т-РНК. К последней АК присоединяется вода, и ее карбоксильный конец отделяется от т-РНК и связь с рибосомой теряется, рибосома распадается на 2 субчастицы.

Каждая и-РНК «Читается» не одной, а множеством рибосом – такая совокупность рибосом объединенных одной и-РНК – называется **полирибосома**. В результате работы полирибосомы синтезируются одинаковые белки.





а – и-РНК, б – рибосома, в - большая субчастица, г – малая субчастица, д – первичный белок.

1, ... 5 – последовательность рибосом в хронологическом порядке.

#### 4. Модификация

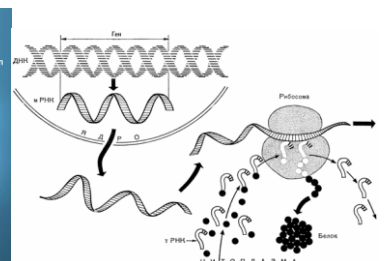
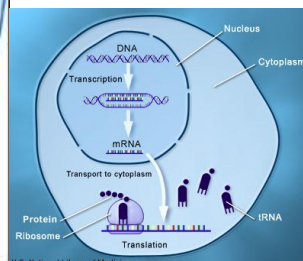
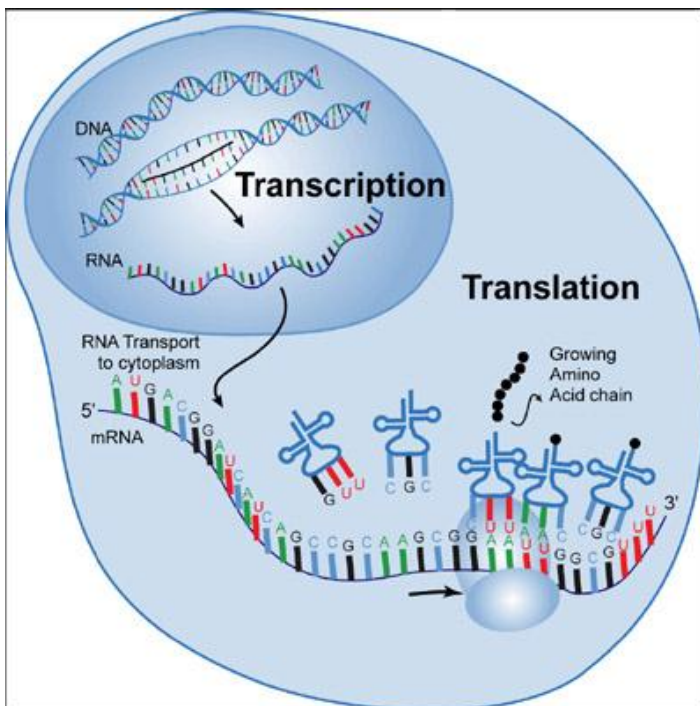
Образовавшийся первичный белок по каналам шероховатой ЭПС транспортируется к аппарату Гольджи, где осуществляется его модификация (преобразование до вторичной, третичной или четвертичной структуры, в которой белки могут выполнять свои функции).

В аппарате Гольджи, напр, если это гидролитические белки-ферменты, они концентрируются, покрыться мембраной и в составе вновь синтезированной первичной лизосомы поступают в цитоплазму для выполнения своей функции.

**Скорость синтеза велика и зависит от длины полипептида. Белок из 200-300 АК синтезируется за 1-2 мин.**

**P.S.** Все виды передачи генетической информации основаны на так называемом **матричном механизме**, который в клетке обеспечивает:

- Высокую скорость передачи генетической информации
- Высокую точность (ошибка не превышает 1 на  $10^3 - 10^{10}$  нуклеотидов)
- Экономичность (как времени передачи информации, так и энергии).



## Генома

Вся масса ДНК гаплоидной клетки – называется **геномом**. Структуру и функции генома изучает , специальная наука – геномика.

### Характеристика генома

- 1. Видоспецифичность** - Особенности генома у каждого вида организмов.
- 2. Дискретность** – прерывистость, т.е. геном состоит из отдельных взаимосвязанных частей. Наличие в геноме дискретных единиц: промотор, структурные гены, терминатор; экзоны и интроны.
- 3. Избыточность** – масса генома избыточна за счет:
  1. Наличия интронов
  2. Умеренно-повторяющихся генов
  3. Многократно-повторяющихся генов (тандемов)
  4. Диплоидности ДНК
- 5. Мобильные элементы** – это короткие нуклеотидные последовательности, которые активно перемещаются внутри генома :

Транспозоны и Ретротранспозоны

  - **Транспозоны** – перенос информации внутри одного генома, вертикальный, из поколения в поколение при участии фермента транспозазы
  - **Ретротранспозоны** – обеспечивает передачу по горизонтали. Это онкогены, ретровирусы, фаги, эписомы – которые активно перемещаются и переносят участки ДНК от разных видов, от эукариот к прокариотам. Способны к самовоспроизведению, используя механизмы обратной транскрипции.

В 1988 г. по инициативе американских ученых У.Гилберта и Дж. Уотсона была создана международная организация «**Геном человека**» для координации работ по определению полной нуклеотидной последовательности всей ДНК человека.

**Цель** этой международной программы – создать подробную карту человеческого генома, то есть изучить полный набор генов отдельного человека на основе **секвенирования** генома - метод определения нуклеотидной последовательности молекул ДНК.

Геном человека – это около 3,3 млрд. нуклеотидных пар распределенных в 23 парах хромосом, около 2 метров ДНК в каждой клетке. 1 ДНК = 1 хромосома.

Одномоментно в клетке работает не весь геном (ДНК), а лишь 3-5-7%.

### Значение и возможности

1. диагностика и лечение наследственных заболеваний по результатам секвенирования генов;
2. идентификация генов и выявление предрасположенности к заболеваниям;
3. предотвращение отрицательных последствий людей на лекарства (геномная фармакогенетика);
4. геномная дактилоскопия и этногенетика, установление родственных связей.

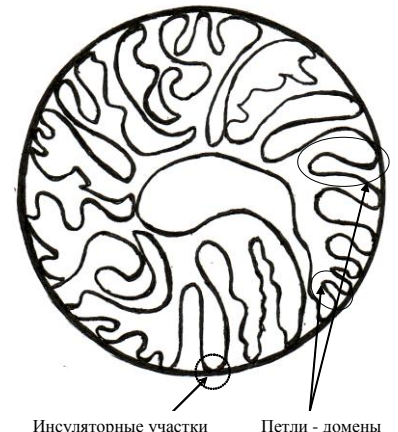
Ядерный геном (ДНК) может быть в двух состояниях – хроматина (вне деления) и хромосом (во время деления).

Хроматин образует в ядре в строго упорядоченные структуры – петли-«домены». Петли образуются за счет прикрепления нитей хроматина к внутренней ядерной мембране в определенных – инсуляторных точках.

#### Структура домена:

- 1 домен – может содержать 1 ген,
- 1 домен – может содержать тандем генов - многократные повторы одинаковых генов,
- 1 домен - может содержать кластер генов - разные гены, которые обеспечивают выполнение одной и той же функцию.

Гены одной петли «включаются» в работу одновременно.



Инсуляторные участки

Петли - домены

## Регуляция активности генов

Регуляция активности генов – это сложный процесс. У прокариот и эукариот происходит по-разному: у эукариот значительно сложнее.

Рассмотрим регуляцию «**лактозного оперона**», на примере относительно просто устроенной – бактерии – кишечной палочки.

Данный механизм был изучен французскими учеными в 1961г. **Ф.Жакобом, Ж.Моно** и А.Львовым.

У кишечной палочки есть **три белка-фермента**, ответственных за расщепление дисахарида лактозы:

- один из них транспортирует его в клетку,
- другой (трансацетилаза) присоединяет к нему ацетильную группу,
- третий расщепляет дисахарид на глюкозу и галактозу.

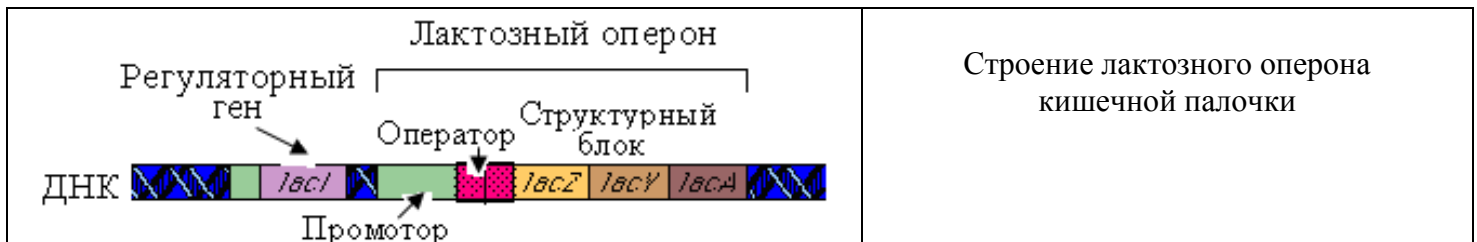
Информация о первичной структуре всех трех белков находится в одном опероне.

Они кодируются определенными отрезками ДНК, идущими друг за другом – «лактозным опероном». Все три участка транскрибируются и транслируются в виде единой м-РНК, так что все три соответствующих белка появляются в клетке вместе.

Следовательно, на все три участка имеется один общий промотор (участок ДНК, характеризующийся особой последовательностью нуклеотидов, с которого начинается транскрипция).

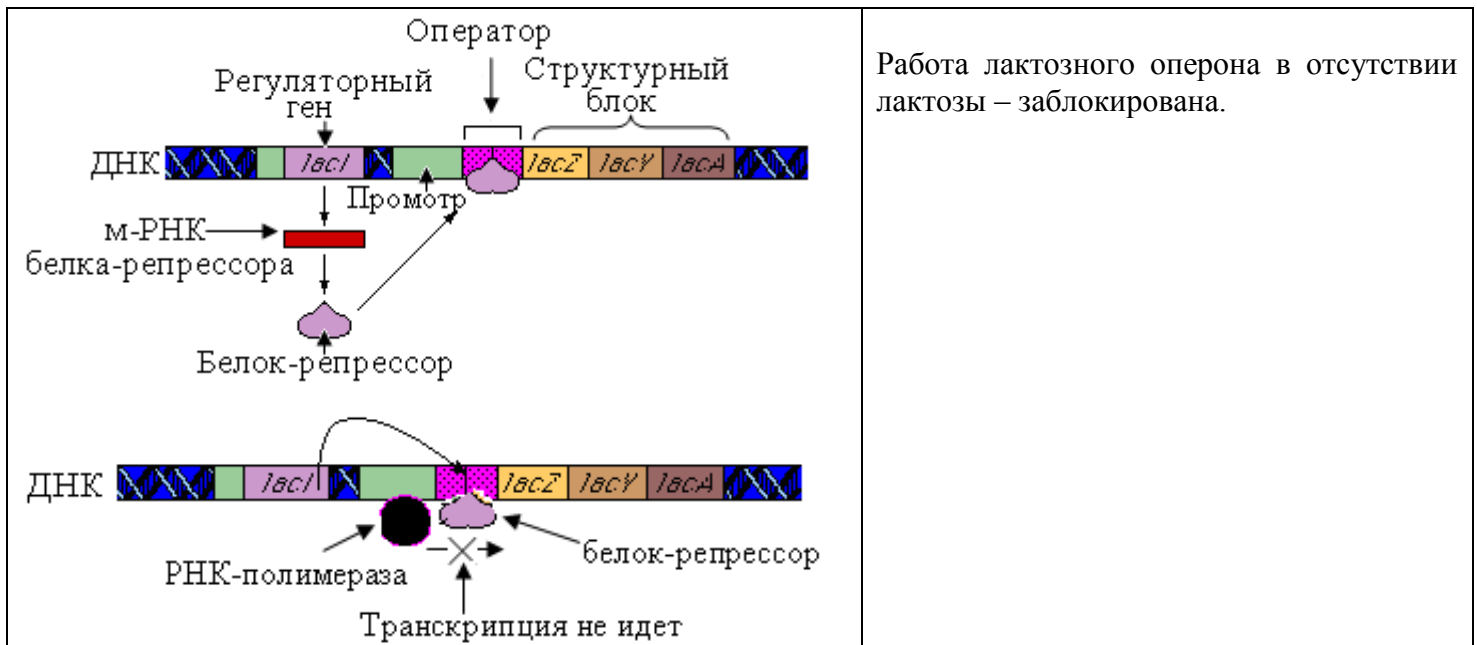
Между промотором и первым геном имеется короткий участок ДНК – оператор, который опознается определенным белком-репрессором, что блокирует прохождение транскрипции с данного участка ДНК.

На некотором расстоянии перед «лактозным опероном» находится регуляторный ген, кодирующий синтез белка-фермента – РНК-полимеразы, который строит последовательность нуклеотидов РНК, на основе определенного участка ДНК- матрицы.



### Работа лактозного оперона

- I. Кишечная палочка, находясь в питательной среде без лактозы. Белок-репрессор взаимодействуя с оператором, не дает ферменту РНК-полимеразе осуществлять транскрипцию, поэтому белки-ферменты участвующие в расщеплении лактозы – не синтезируются. Бактерии не тратит энергии на синтез не нужных ей в данный момент белков.



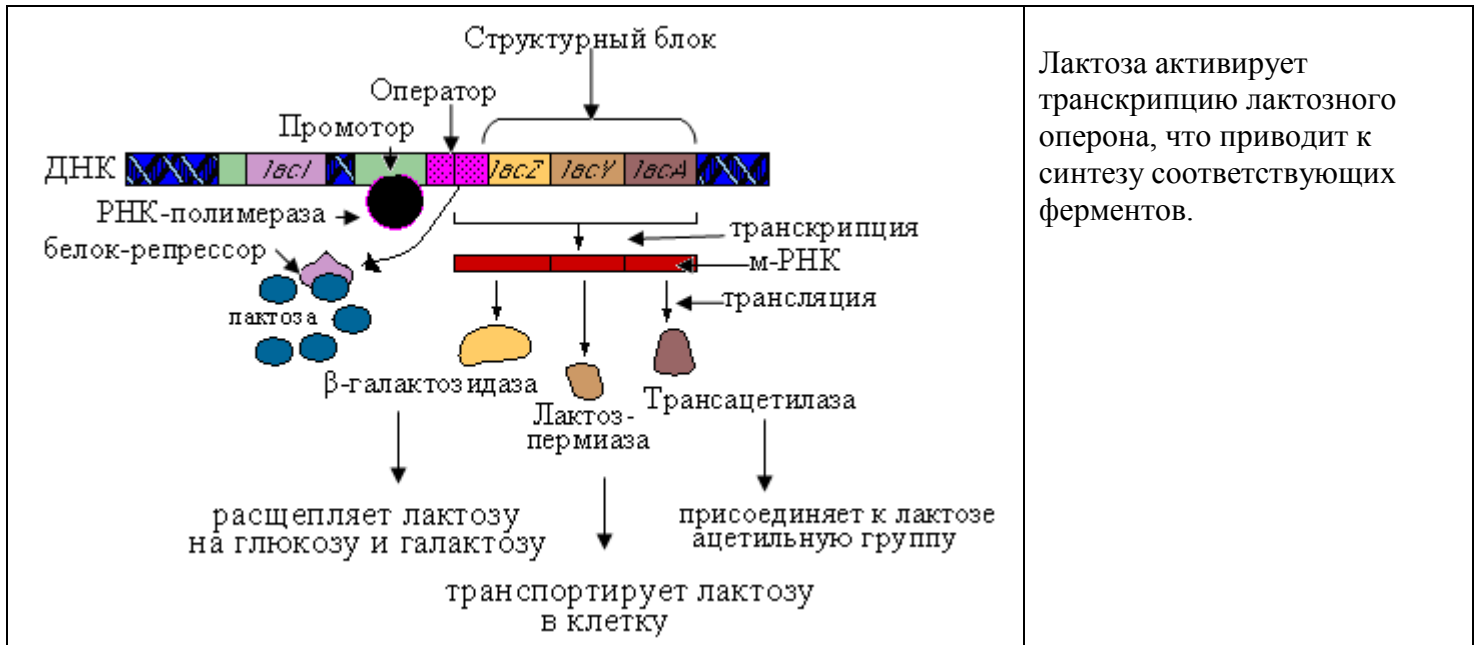
II. Затем в питательную среду добавляют лактозу и через несколько секунд синтезируются ферменты необходимые для ее расщепления.

Это связано с тем, что у белка-репрессора есть два центр связывания: один для оператора, а другой для лактозы. Сродство с лактозой у белка-репрессора больше чем с оператором, поэтому при появлении в клетке лактозы он соответствующим центром связывается с ней и теряет способность связываться с оператором.

При появлении в клетке лактозы она связывается этим центром и меняет конформацию репрессора таким образом, что тот теряет способность связываться с оператором и отходит от него.

Ничто более не сдерживает продвижение РНК-полимеразы и она начинает транскрибировать соответствующую м-РНК. Затем, в ходе трансляции образуется три белка необходимых для расщепления лактозы до глюкозы и галактозы.

Ничто более не сдерживает продвижение РНК-полимеразы, мРНК транскрибируется, а затем транслируется.



Таким образом, появление в среде субстрата – лактозы – индуцирует синтез ферментов, которые могут ее утилизировать.

В результате расщепления лактозы ее концентрация в среде постепенной снижается и ее в конечном итоге не остается. Белку-репрессору «не с чем связываться» и он вновь взаимодействует с оператором, блокируя транскрипцию.

В этом примере все три белка кодируются генами, которые расположены вместе и регулируются, транскрибируются и транслируются также вместе.

Оперонная организация генов обеспечивает:

- во-первых, слаженность синтеза функционально связанных белков,
- во-вторых, общую регуляцию их синтеза в зависимости от наличия / отсутствия субстрата.

Такая система, включающая промотор, оператор (или несколько операторов) и обслуживаемые ими гены белков, называется *опероном*. Оперонная организация генов обеспечивает, во-первых, слаженность синтеза функционально связанных белков, во-вторых, общую регуляцию их синтеза в зависимости от наличия / отсутствия субстрата.

В различных оперонах применяется четыре способа регуляции. Рассмотренный нами способ – это негативная индукция. Негативная – потому что имеется белок-репрессор, выключающий работу гена; индукция – потому что некое вещество, в данном случае субстрат, включает работу гена. Кроме индукции бывает репрессия – когда появление внешнего вещества, наоборот, выключает ген. Допустим, это продукт реакции, при избытке которого нужно ее остановить. И кроме негативных индукции и репрессии бывает и позитивная индукция и репрессия – когда регуляторный белок является не репрессором, а активатором. Активатор также связывается со специфичной регуляторной последовательностью ДНК, но это не препятствует, а, наоборот, способствует транскрипции гена – к примеру, помогает РНК-полимеразе связаться с ДНК.