



**ТЕМА 3. ЛЕКЦИЯ № 4.**

**ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ  
НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ В КЛЕТКЕ**

# ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Клеточный цикл: характеристика фаз, биологический смысл. Разновидности митоза.
2. Мейоз, характеристика 1-го и 2-го делений. Биологическое значение мейоза.
3. Основные этапы биосинтеза белка. Роль РНК.
4. Особенности реализации наследственной информации у про- и эукариот.

## СХЕМА МЕЙОЗА. ОСНОВНЫЕ ФАЗЫ.

- 1. МЕЙОЗ** – способ деления эукариотической клетки, при котором происходит редукция (уменьшение) числа хромосом и переход клеток из **диплоидного состояния в гаплоидное.**
- 2. МЕЙОЗ** сопровождает образование гамет у животных (п) и спор у высших растений (п).

## СХЕМА МЕЙОЗА

**МЕЙОЗ** СОСТОИТ ИЗ:

### ИНТЕРФАЗА

Пресинтетический период

Синтетический период

Постсинтетический период

### МЕЙОЗ 1

**профаза 1**

**метафаза 1**

**анафаза 1**

**телофаза 1**

*РЕДУКЦИОННОЕ  
ДЕЛЕНИЕ*

### МЕЙОЗ 2

**профаза 2**

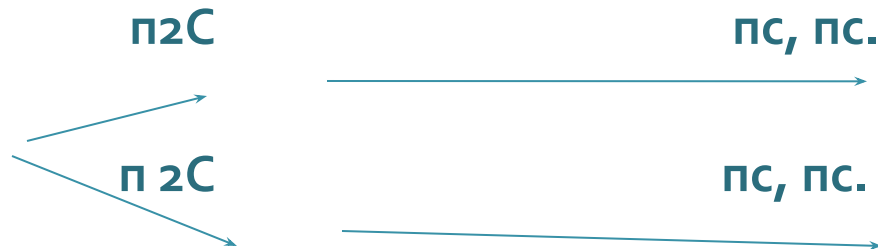
**метафаза 2**

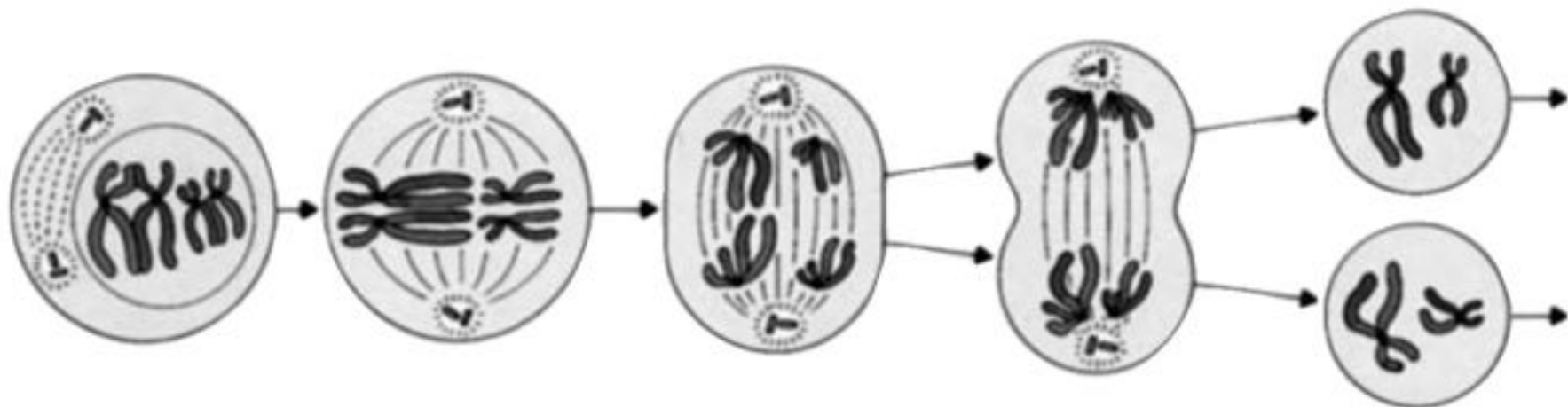
**анафаза 2**

**телофаза 2**

*ЭКВАЦИОННОЕ  
ДЕЛЕНИЕ*

2п 2С --2 п 4 С-





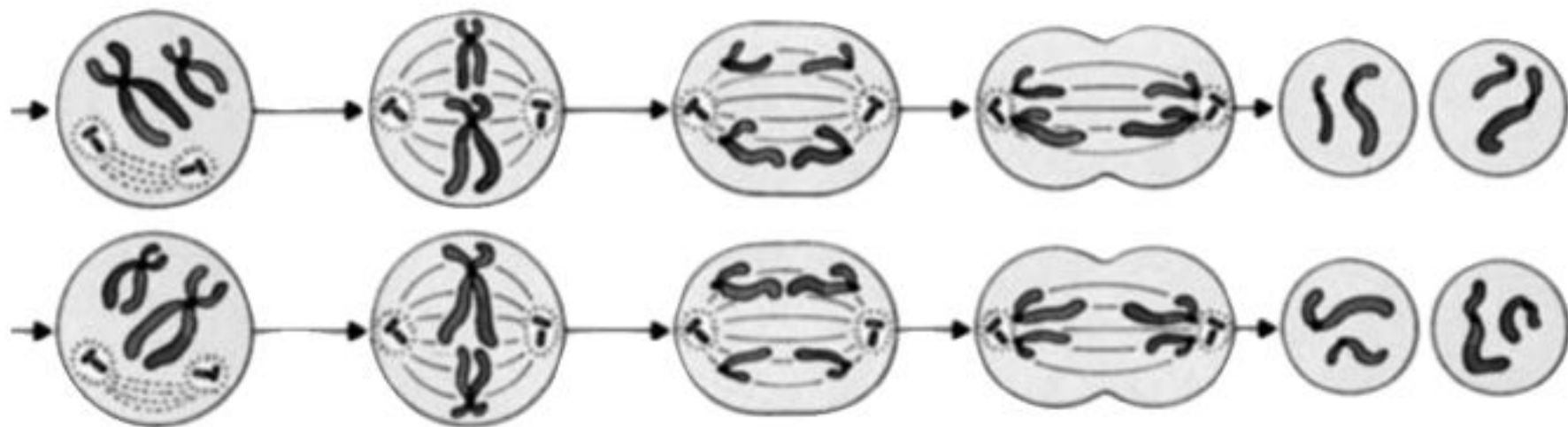
Профаза I

Метафаза I

Анафаза I

Телофаза I

Дочерние  
клетки



Профаза II

Метафаза II

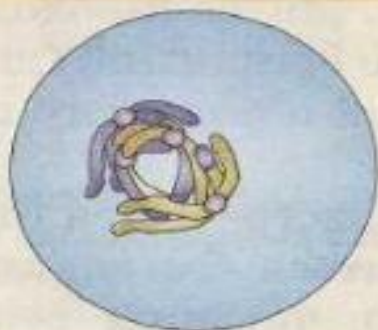
Анафаза II

Телофаза II

Дочерние  
клетки



### Профаза I



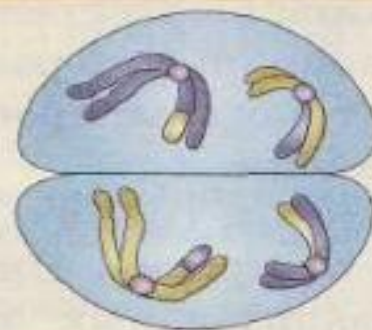
Попарное распределение гомологичных хромосом. Перекрест хромосом. Обмен гомологичными участками

### Метафаза I — анафаза I



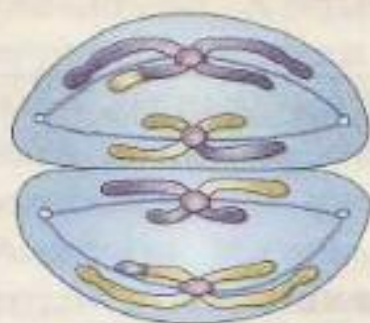
Попарное размещение и последующее разделение гомологичных хромосом, расхождение их к полюсам

### Телофаза I



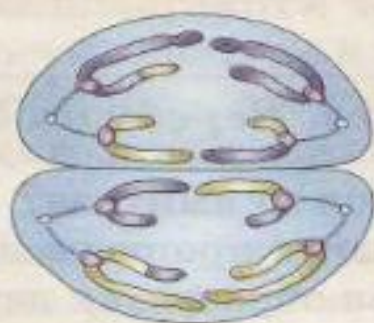
Образование клеток, имеющих гаплоидный набор удвоенных хромосом

### Профаза II — метафаза II



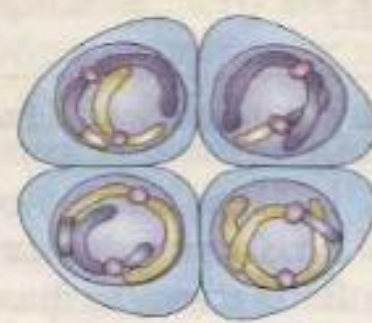
Расположение хромосом обеих клеток в экваториальных плоскостях

### Анафаза II



Разделение хроматид и их перемещение к полюсам

### Телофаза II



Образование новых ядерных мембран и ядер. Деление цитоплазмы

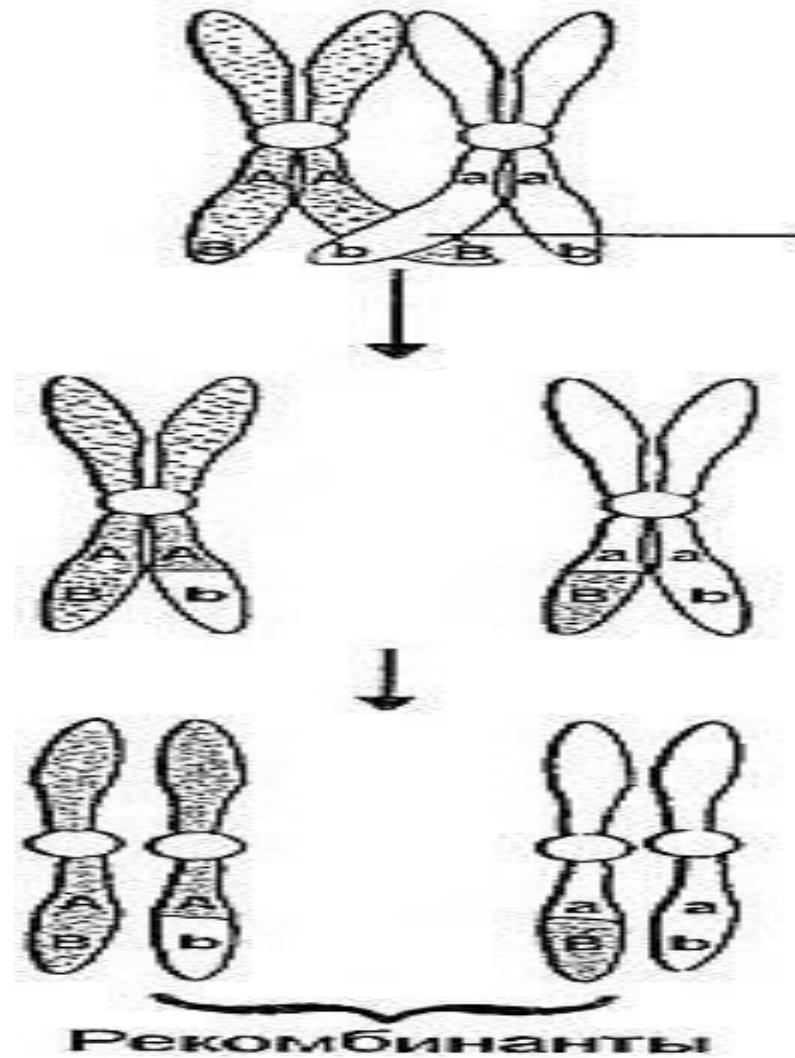
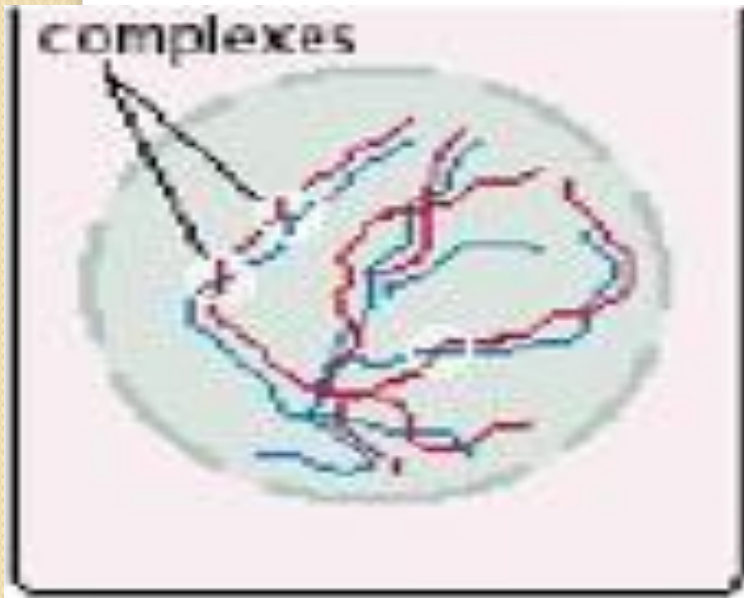
## ПРОФАЗА 1. ЛЕПТОТЕНА и ЗИГОТЕНА

1. Хромосомы спирализуются, утолщаются и укорачиваются.
2. Начало **конъюгации гомологичных хромосом**, которые объединяются в **бивалент (тетрада хроматид)**.
3. **2п2хр4с**



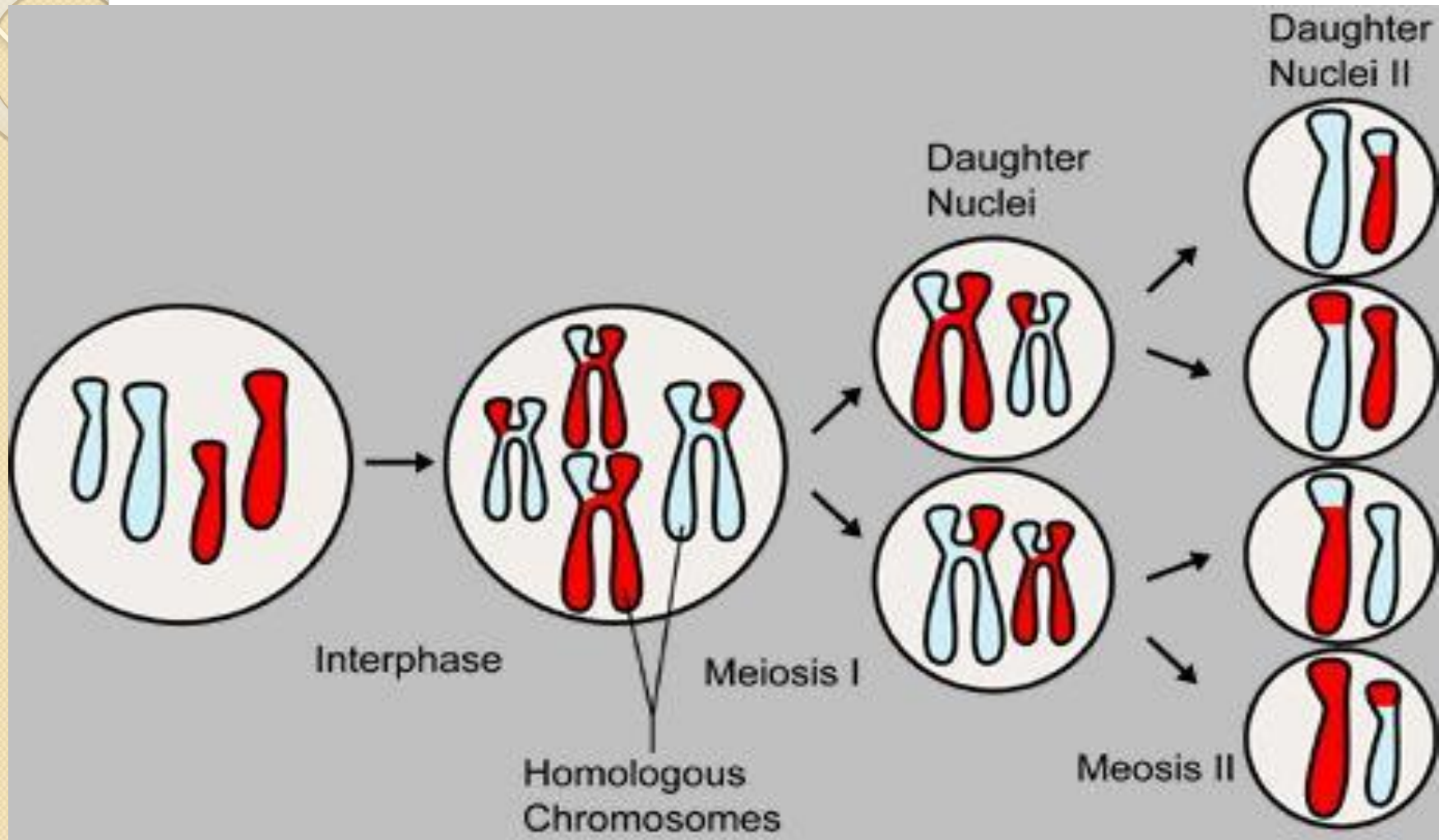
## ПРОФАЗА 1. ПАХИТЕНА.

1. Спирализация продолжается.
2. КРОССИНГОВЕР.
3. 1п бив 4хр4с.



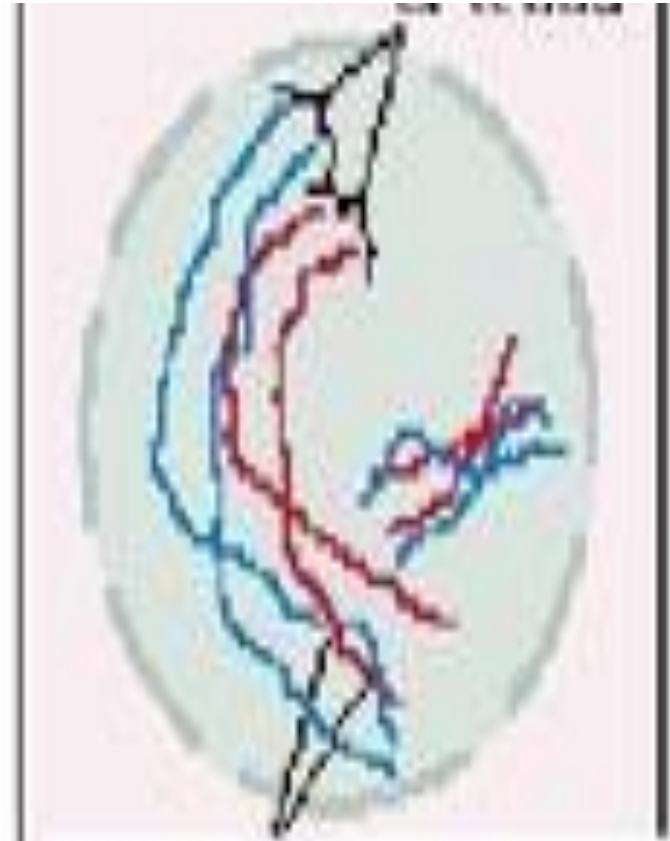


# ПРОФАЗА 1 МЕЙОЗА. КРОССИНГОВЕР.



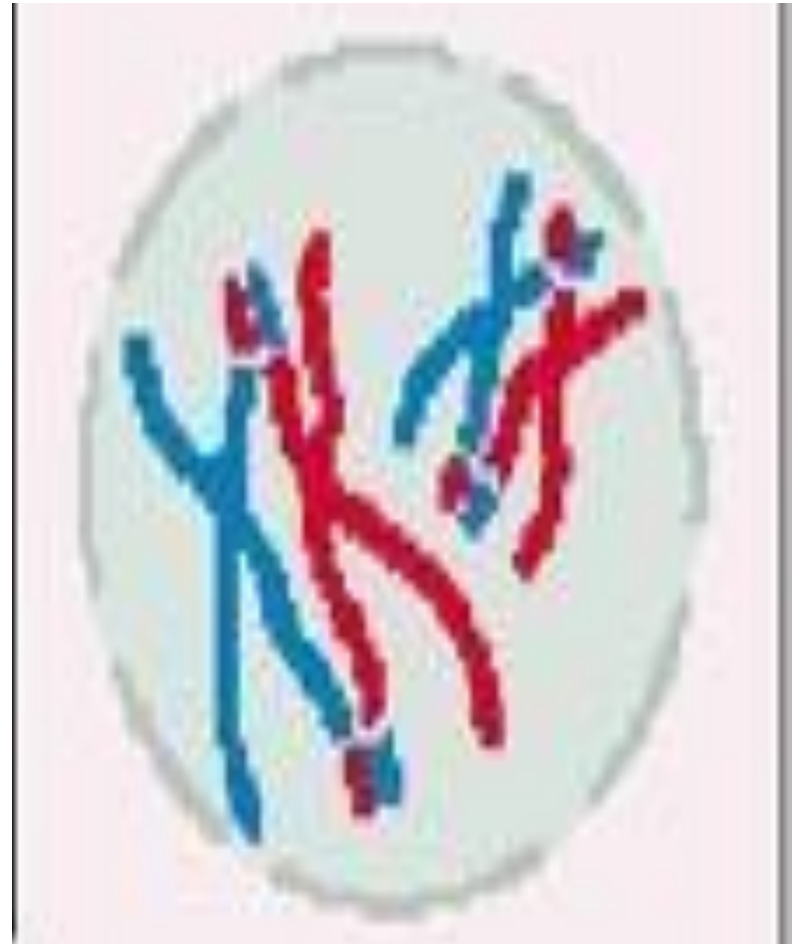
## ПРОФАЗА 1. ДИПЛОТЕНА.

1. Возникновение **сил отталкивания** между гомологами, которые начинают отделяться сначала в области центромер.
2. Образование **ХИАЗМ**.
3. **1п бив 4хр4с.**



## ПРОФАЗА 1. ДИАКИНЕЗ.

1. Хромосомы удерживаются в отдельных точках.
2. Окончательного разрушения бивалентов не происходит.
3. 1п бив 4хр4с.

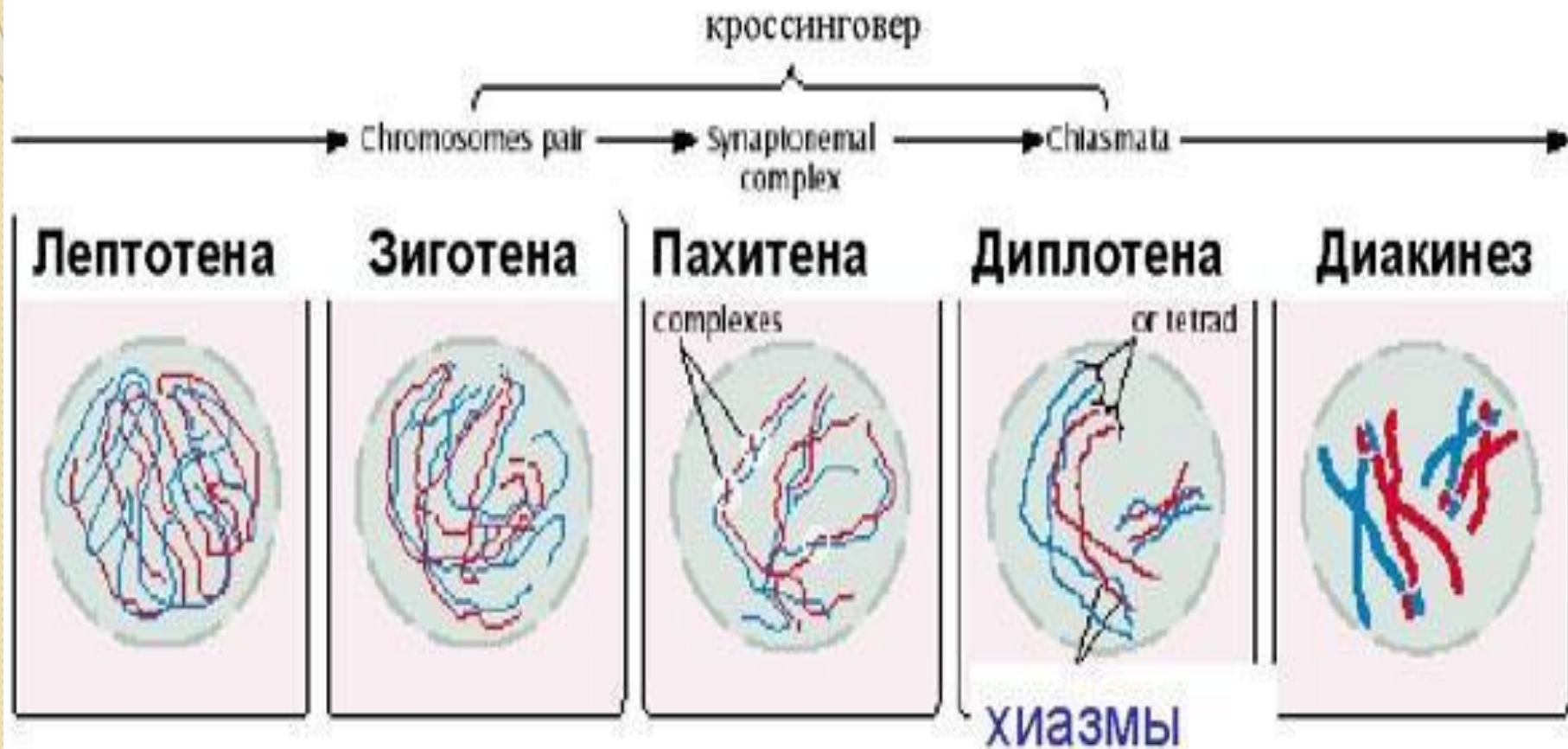


## ПРОФАЗА 1. ДИКТИОТЕНА.

1. Только в овогенезе.
2. Хромосомы принимают форму «ламповых щеток» и прекращают структурные изменения до полового созревания.
3. Один овоцит ежемесячно возобновляет мейоз.



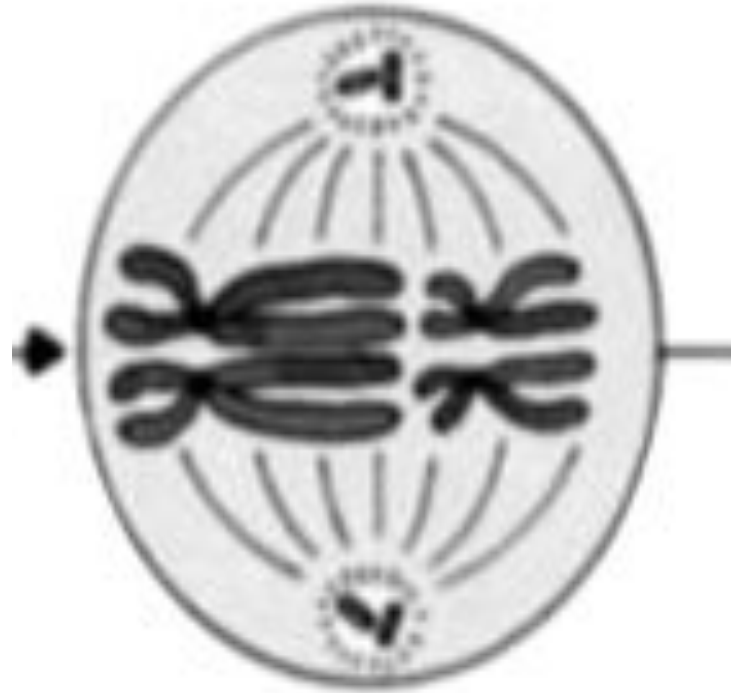
# МЕЙОЗ. ПРОФАЗА 1.



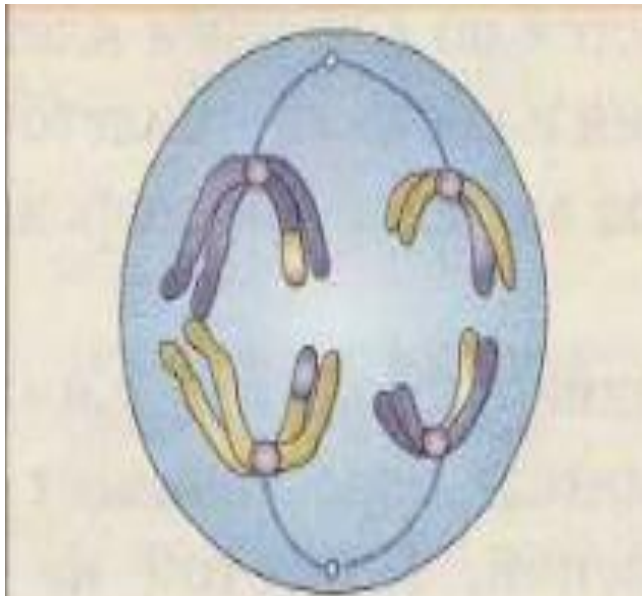
## МЕТАФАЗА 1.

**БИВАЛЕНТЫ В  
ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ  
ПЛОСКОСТИ.**

**$2n4C$**



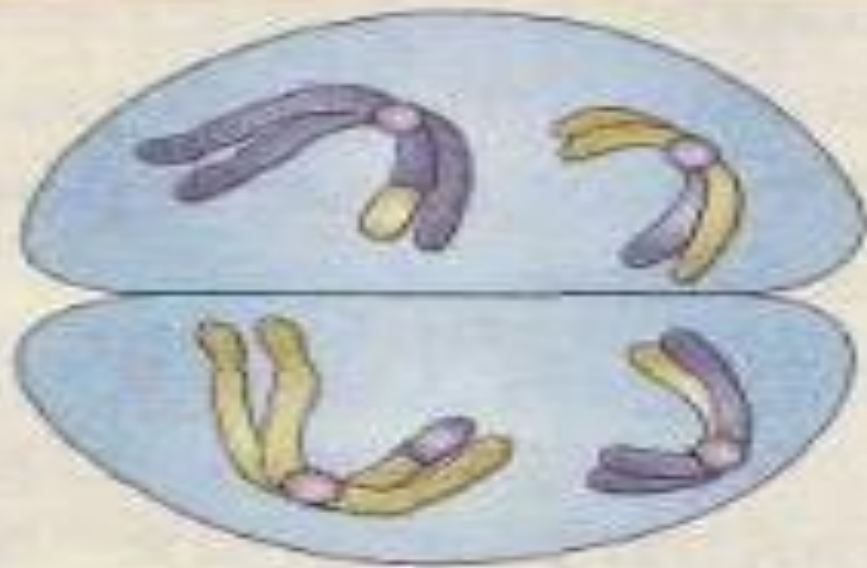
## АНАФАЗА 1.



Попарное размещение и последующее разделение гомологичных хромосом, расхождение их к полюсам

1. ГОМОЛОГИ РАСХОДЯТСЯ ПО ПОЛЮСАМ.
2. РАСХОЖДЕНИЕ ХРОМОСОМ НОСИТ **НЕЗАВИСИМЫЙ ХАРАКТЕР.**
3. **(1п2хр2с) x 2**

## Телофаза I

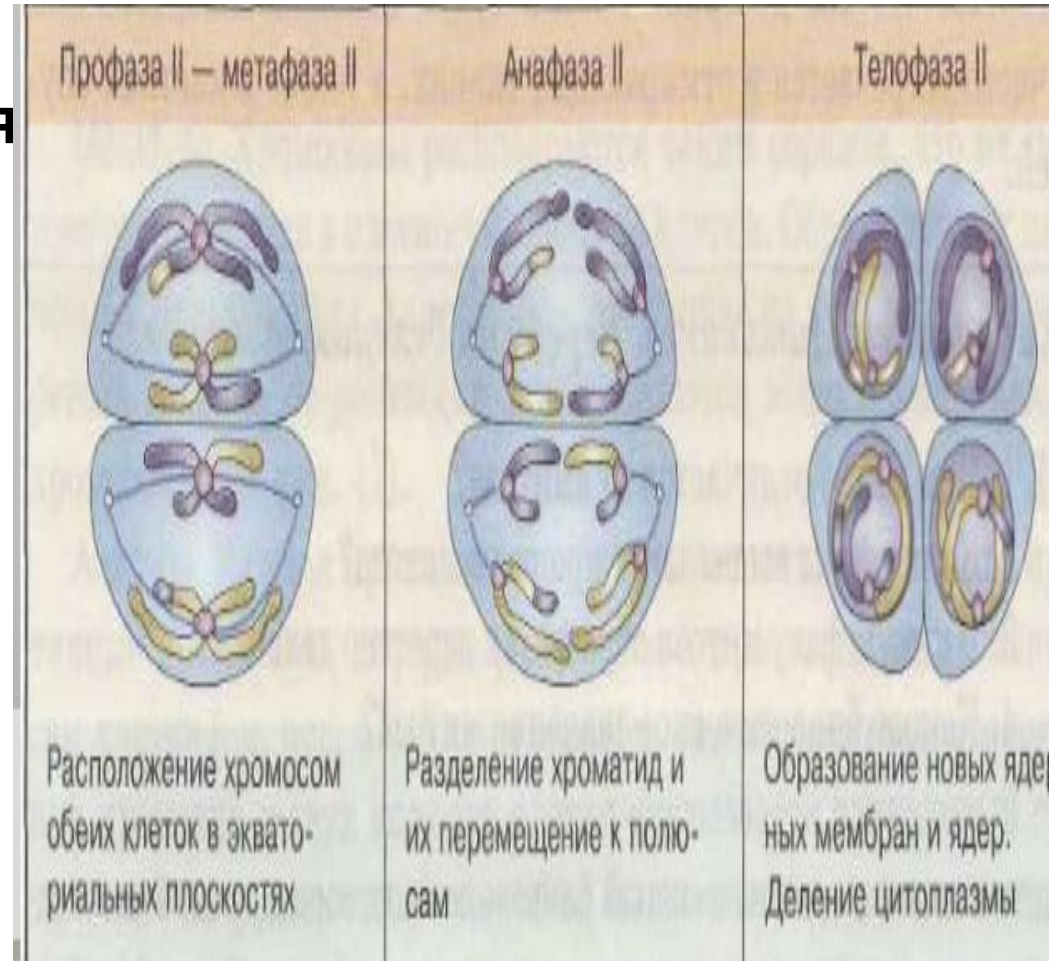


Образование клеток, имеющих гаплоидный набор удвоенных хромосом



## МЕЙОЗ 2. Эквационное деление.

1. По типу **МИТОЗА**.
2. Профаза 2 короткая
3. Метафаза 2 – на **экваторе** **двухроматидные хромосомы (1п2хр2с)**.
4. Анафаза 2 – расхождение **ХРОМАТИД (1п1хр1с)**.
5. Телофаза 2 – 4 клетки **(1п1хр1с) x4**



## Биологическое значение мейоза

1. **Рекомбинация** генетического материала (кроссинговер в **профазу 1** и независимое расхождение гомологичных хромосом по полюсам в **анафазу 1**).
2. Основное звено **гаметогенеза**, в результате – образование **гаплоидных** клеток.
3. Поддержание **постоянства кариотипа** в ряду поколений.
4. У **высших растений** – образование **спор**.

# Молекулярная биология

- **Экспрессия гена — процесс реализации информации, закодированной в гене. Состоит из двух основных стадий — транскрипции и трансляции.**

## 3. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ БИОСИНТЕЗА БЕЛКА. РОЛЬ РНК.

### СХЕМА БИОСИНТЕЗА:

1. ТРАНСКРИПЦИЯ (ЯДРО).
2. СОЗРЕВАНИЕ м-РНК.
3. ТРАНСЛЯЦИЯ (РИБОСОМА).

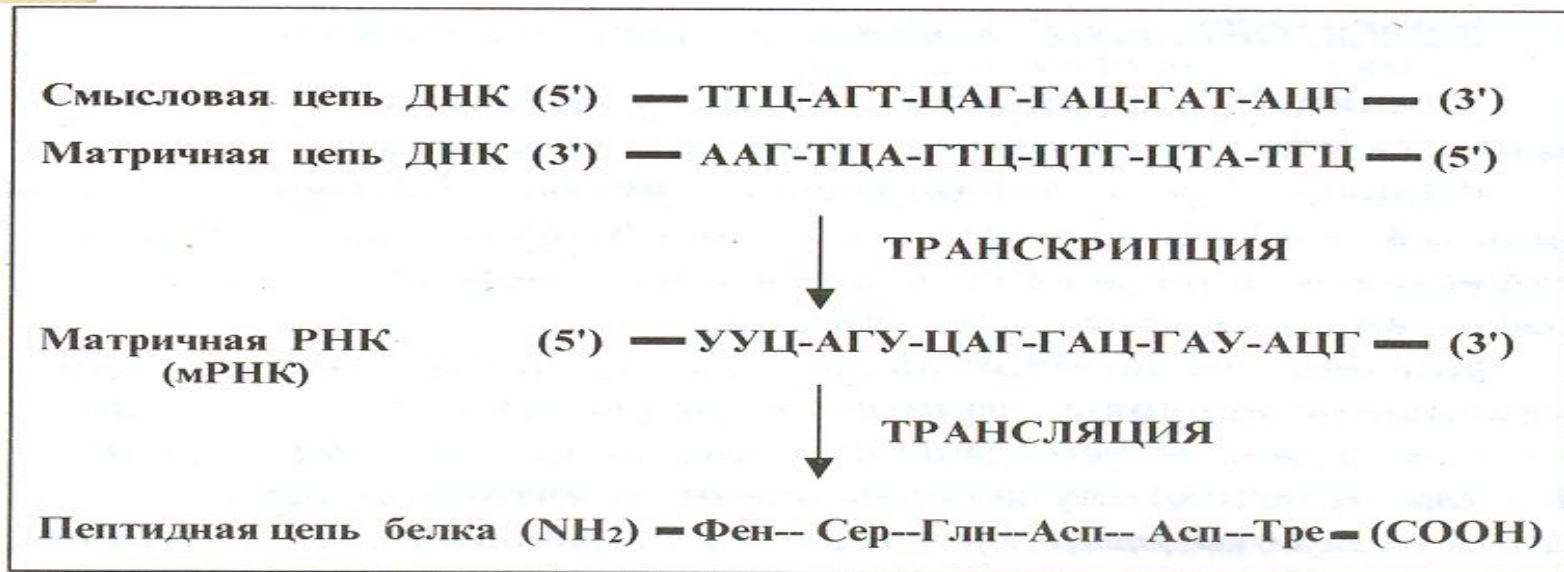


Рис. 2.6. Принцип записи и реализации генетической информации



# Центральная догма молекулярной биологии

**ДНК → РНК → белок**

# Транскрипционный аппарат клетки

- **Транскрипция** — синтез РНК на матрице ДНК.

**Транскрипт** — продукт транскрипции, т. е. РНК, синтезированная на данном участке ДНК-матрицы

# Транскрипционный аппарат клетки

## Этапы транскрипции:

1. Присоединение РНК-полимеразы
2. Инициация
3. Элонгация
4. Терминация

## Транскрипционный аппарат клетки

- **Промотор** — регуляторный участок гена, к которому присоединяется РНК-полимераза с тем, чтобы начать транскрипцию.



# Транскрипционный аппарат клетки

- **Элонгация** – удлинение цепи РНК за счет комплементарного присоединения новых нуклеотидов

## Транскрипционный аппарат клетки

- **Терминатор – это участок, где прекращается дальнейший рост цепи РНК и происходит ее освобождение от матрицы ДНК.**

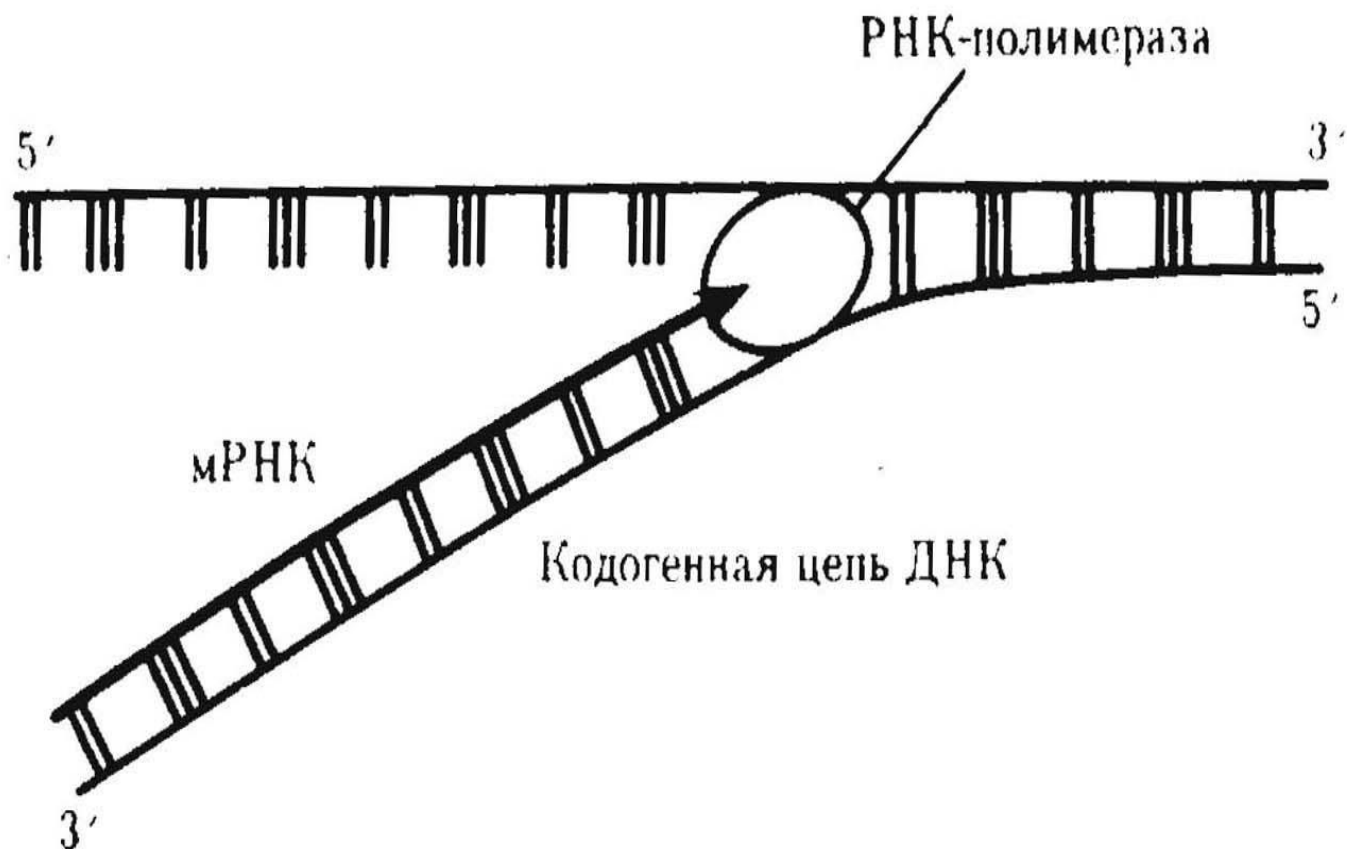
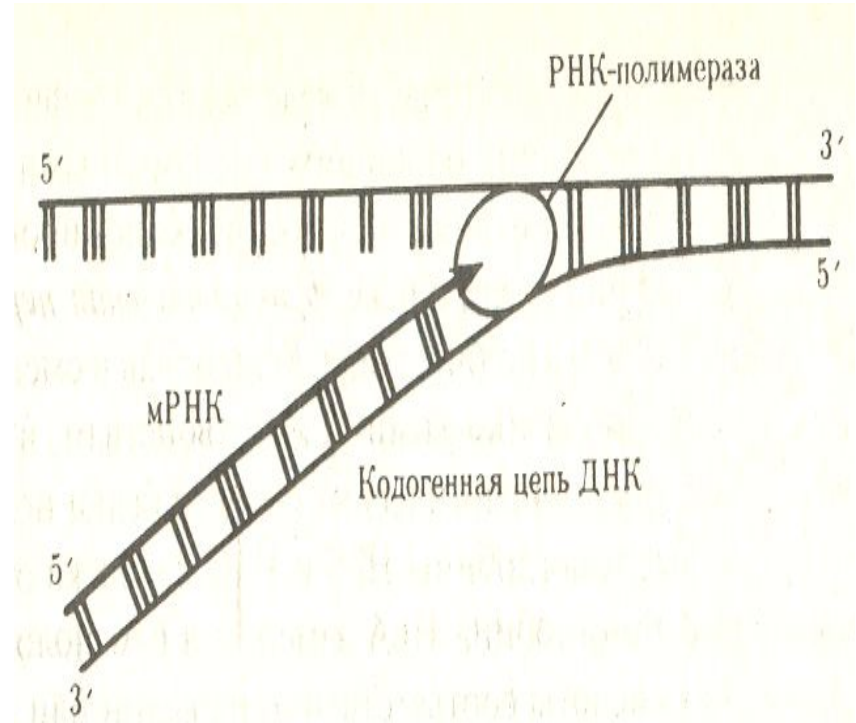


Рис. 3.24. Схема синтеза мРНК

Матрицей для транскрипции мРНК служит кодогенная цепь ДНК, обращенная к ферменту своим 3'-концом

# ТРАНСКРИПЦИЯ - процесс переписывания информации с ДНК на и-РНК (м-РНК).

1. Синтез начинается с обнаружения **РНК-полимеразой** в молекуле ДНК промотора.
2. РНК-полимераза раскручивает прилежащий виток спирали ДНК.
3. На **кодогенной цепи** – синтез и-РНК.





# ТРАНСКРИПЦИЯ

4. Синтез и-РНК по принципу комплементарности:
5. Синтез продолжается до *терминатора транскрипции.*
6. Фрагмент ДНК из промотора, транскрибируемой последовательности и терминатора – **ТРАНСКРИПТОН.**

ДНК	и-РНК
А	У
Т	А
Г	Ц
Ц	Г

# Транскрипционный аппарат клетки

- **Процессинг – совокупность событий, связанных с претрансляционным преобразованием первичного РНК-транскрипта**

## Транскрипционный аппарат клетки

- К 5'-концу РНК добавляется кэп (метилированный гуаниновый нуклеотид), защищающий транскрипт от дегградации.

## Транскрипционный аппарат клетки

К 3'-концу РНК присоединяется «поли-А-хвост» - последовательность из 100-200 остатков **адениловой кислоты**, которая участвует в транспорте РНК из ядра в цитоплазму



## Транскрипционный аппарат клетки

- **Экзон** — значащий участок гена, на котором записана информация о порядке аминокислот в молекуле белка. Сохраняется при сплайсинге.

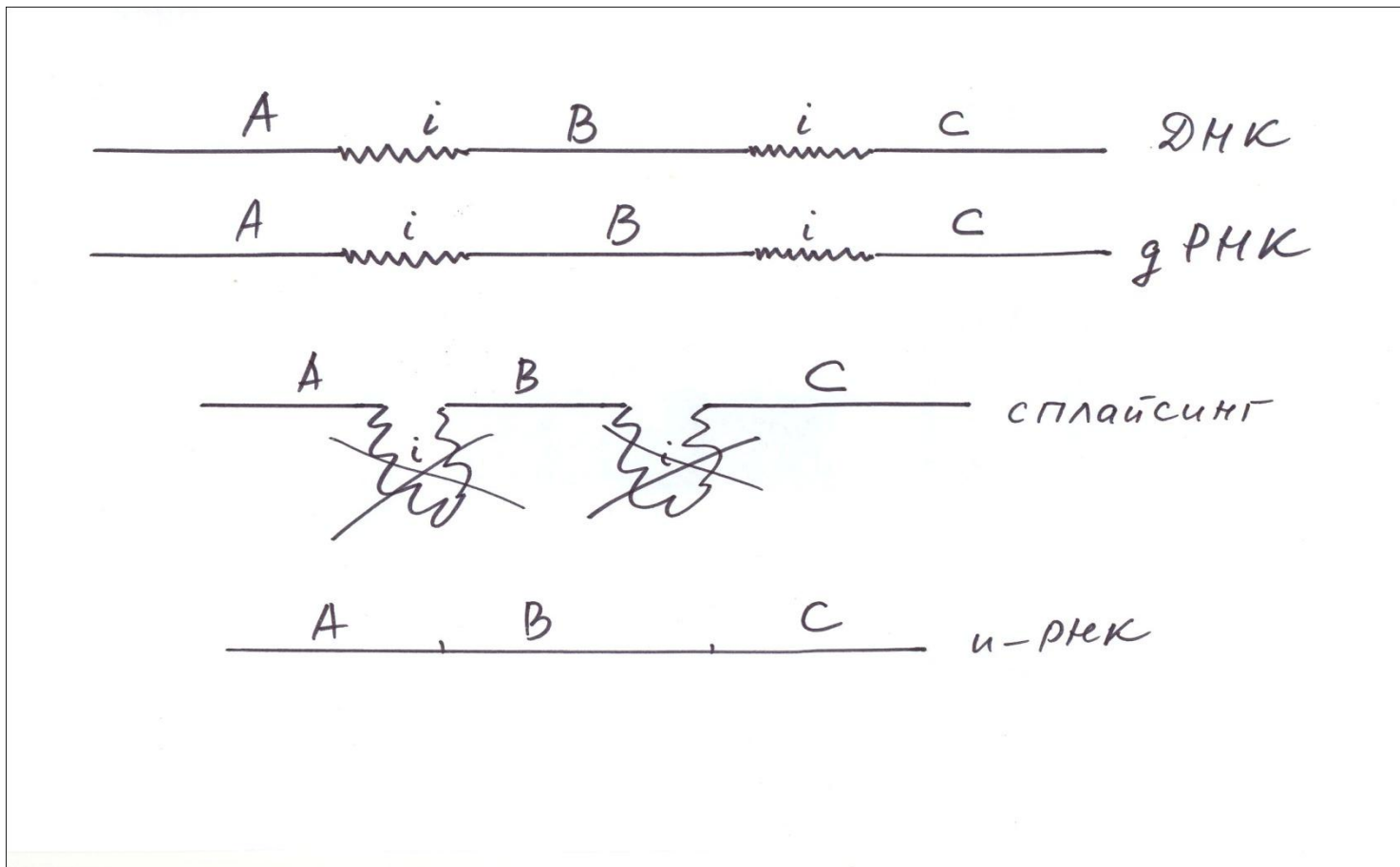
# Транскрипционный аппарат клетки

- **Интрон — некодирующий участок гена, который переписывается на иРНК, а затем удаляется из нее при сплайсинге**

# Транскрипционный аппарат клетки

- **Сплайсинг** — процесс формирования зрелой и-РНК путем удаления внутренних частей молекулы — интронов.

# Схема сплайсинга





# Схема сплайсинга

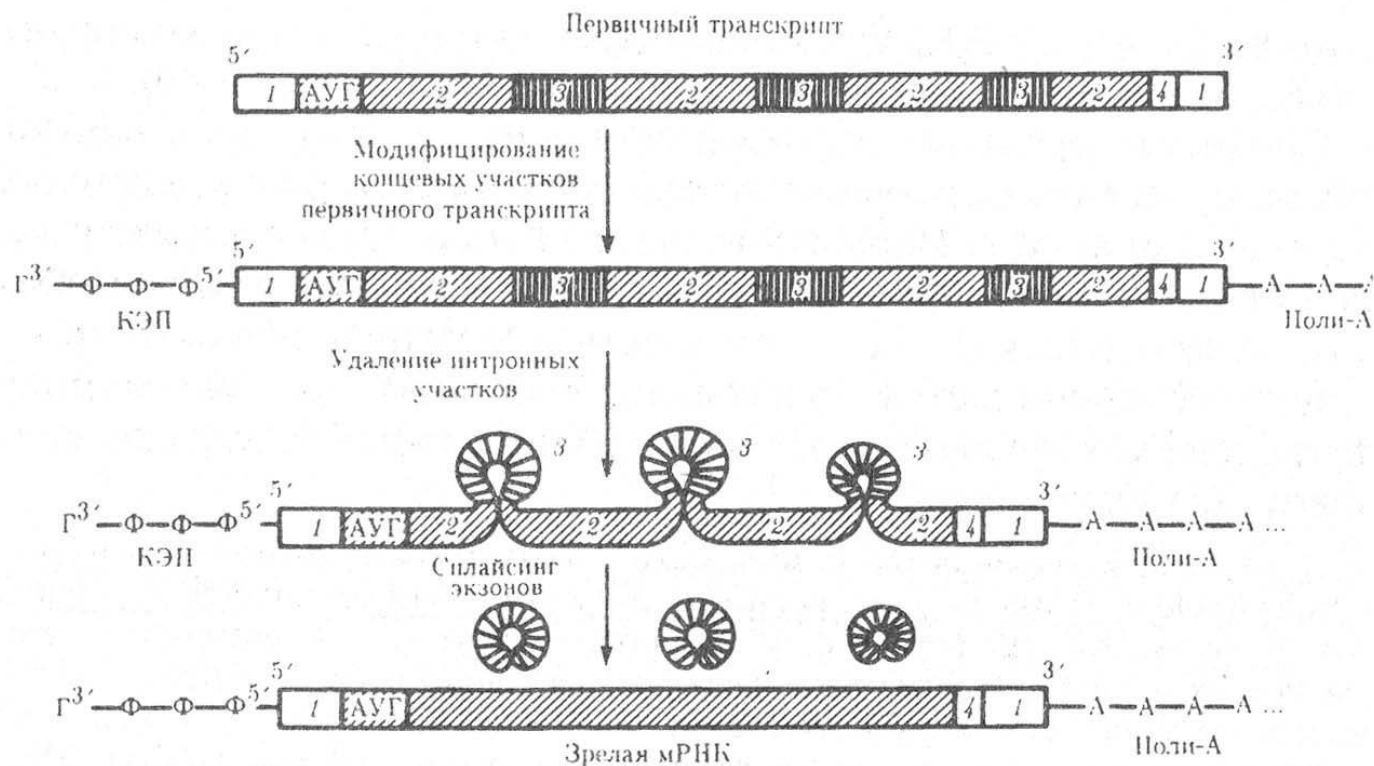


Рис. 3.40. Образование зрелой мРНК эукариот в ходе процессинга:

1 — некодирующие последовательности, 2 — экзоны, 3 — интроны, 4 — кодон-терминатор

# Общая схема транскрипции, процессинга мРНК и трансляции

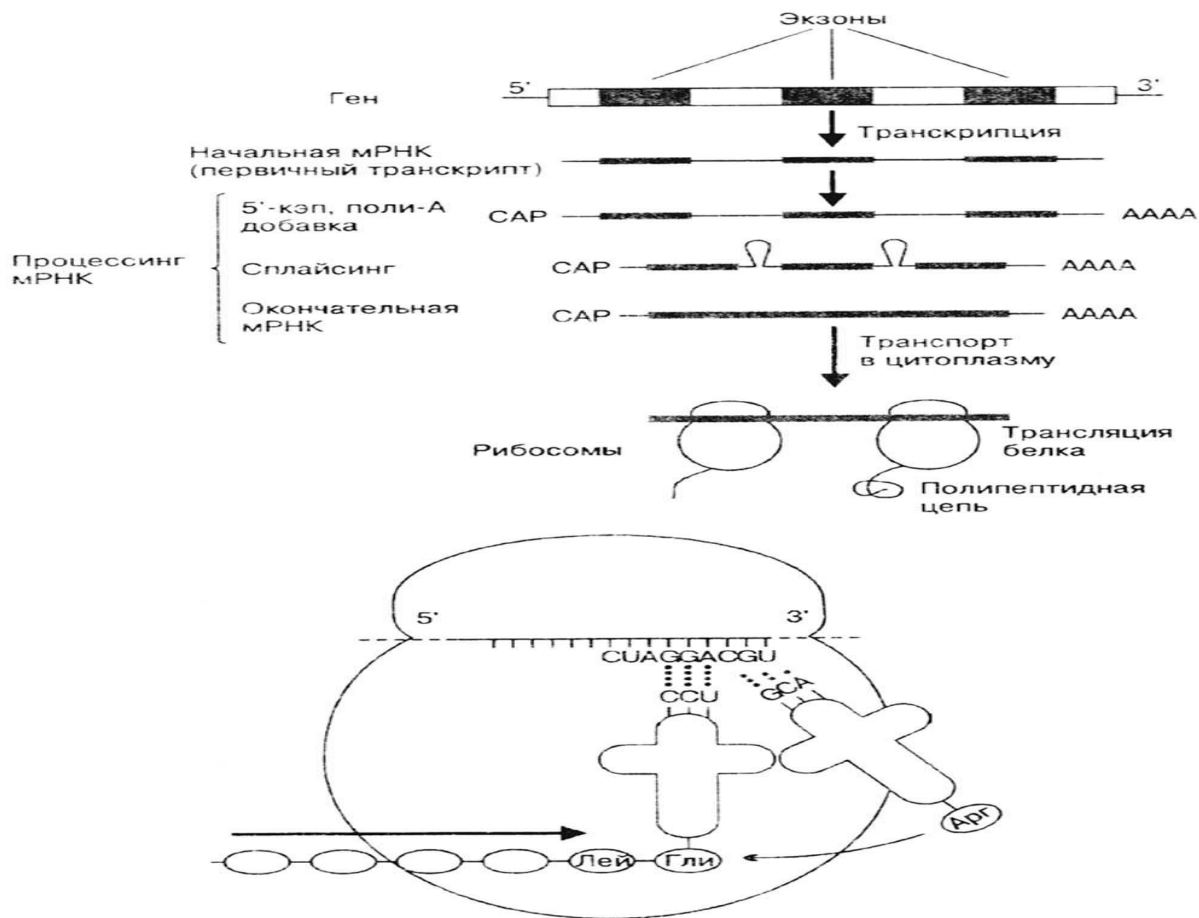
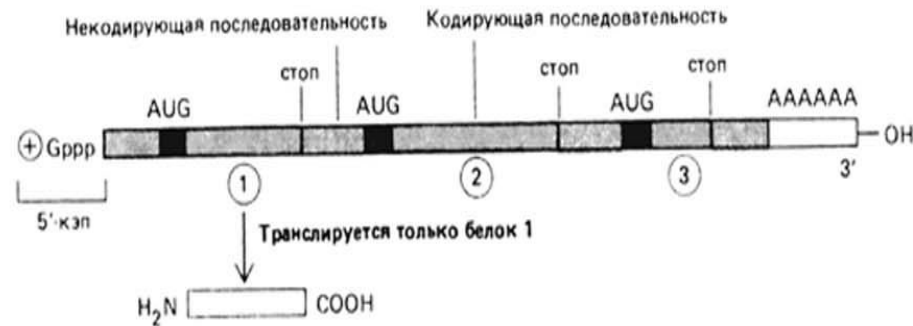


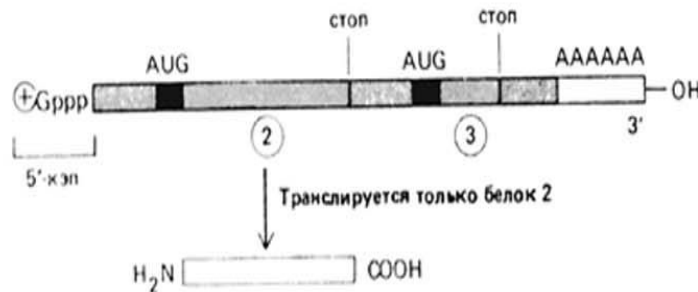
Рис. 2.2. Схема транскрипции, процессинга мРНК и ее трансляции.

# Альтернативный сплайсинг дает возможность синтеза различных молекул белка на базе одной нуклеотидной последовательности

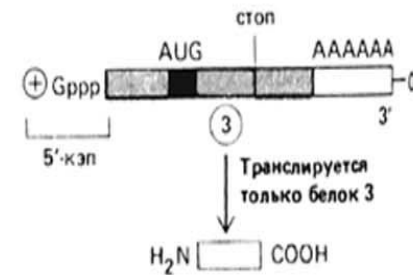
## Полноразмерные молекулы мРНК



## Фракция молекул мРНК, содержащих кэп, примыкающий к кодирующей последовательности 2



## Фракция молекул мРНК, содержащих кэп, примыкающий к кодирующей последовательности 3



# Транскрипционный аппарат клетки

- Неактивное состояние гена может быть обусловлено компактизацией хроматина. Иногда компактизацию хроматина объясняют метилированием ДНК и, напротив, деметилирование ДНК может сопровождаться активацией гена.



Молекулярно-генетический  
уровень организации жизни

# **Трансляционный аппарат клетки**



# Трансляционный аппарат клетки

- **Трансляция** — процесс биосинтеза белка, определяемый матричной РНК.

# Трансляционный аппарат клетки

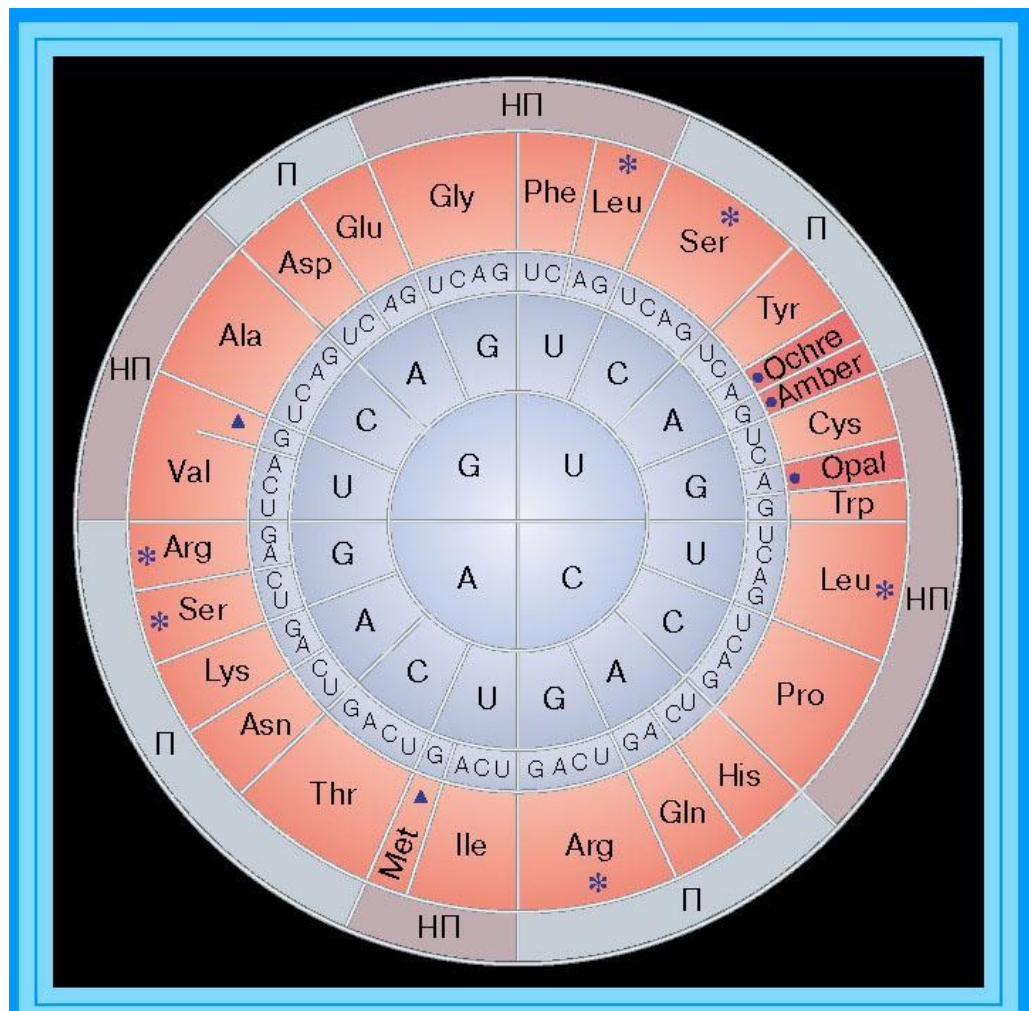
- В 1968 г. За открытие генетического кода Р.Хорана, Р.Холли и М. Ниренберг получили Нобелевскую премию



Courtesy of the University of Wisconsin.  
Noncommercial, educational use only.

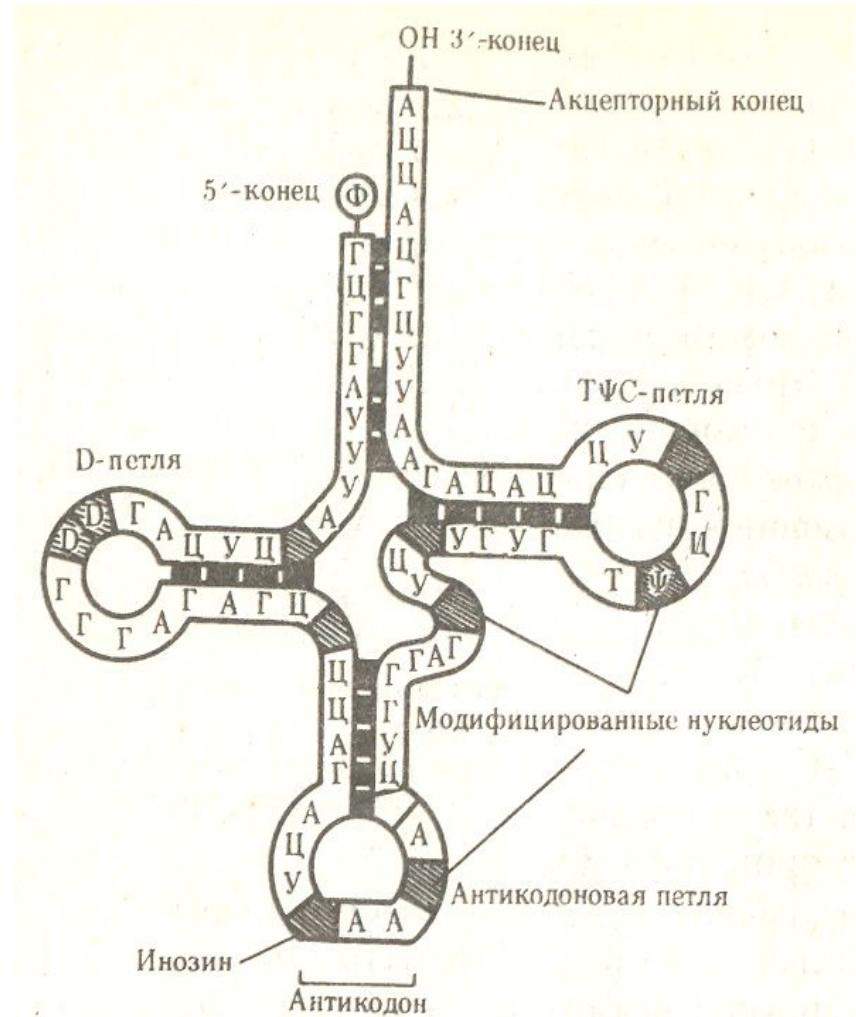
# Трансляционный аппарат клетки

- Генетический код – это способ записи информации об аминокислотном составе белка с помощью нуклеотидов



## ТРАНСЛЯЦИЯ. т-РНК.

1. Синтезируется на матрице ДНК.
2. Число нуклеотидов – 75-95.
3. Лист клевера, в котором выделяют 4 части:  
акцепторный стебель,  
антикодонная ветвь, 2 боковые ветви с модифицированными основаниями.
4. Дополнительная петля (от 3-5 до 13-21 нуклеотидов)





## ТРАНСЛЯЦИЯ. т-РНК.

5. **ИНОЗИН** в составе антикодона способен комплементарно соединяться с **У, Ц и А м-РНК** (одна т-РНК узнает несколько кодонов-синонимов).
6. Известно **несколько видов т-РНК**, способных соединяться с одним и тем же кодоном, поэтому **т-РНК 40 видов.**

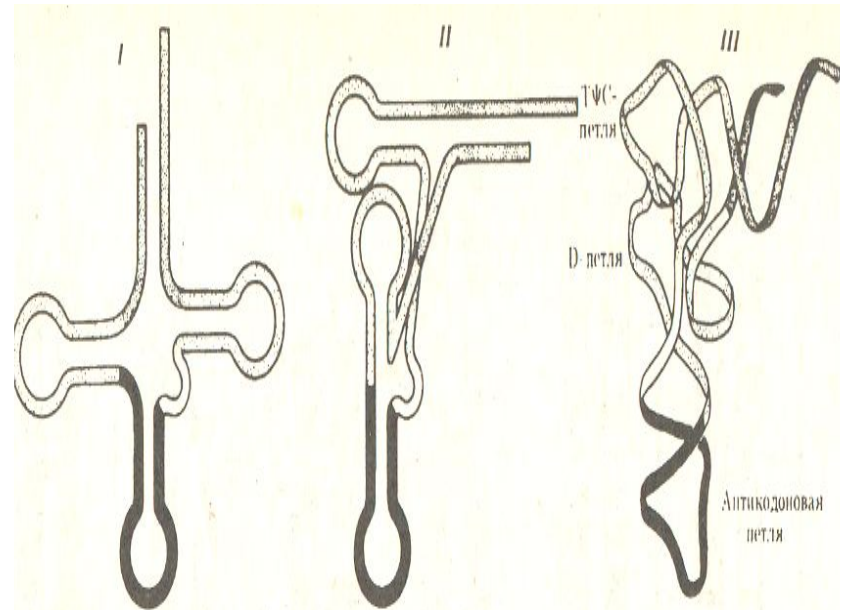
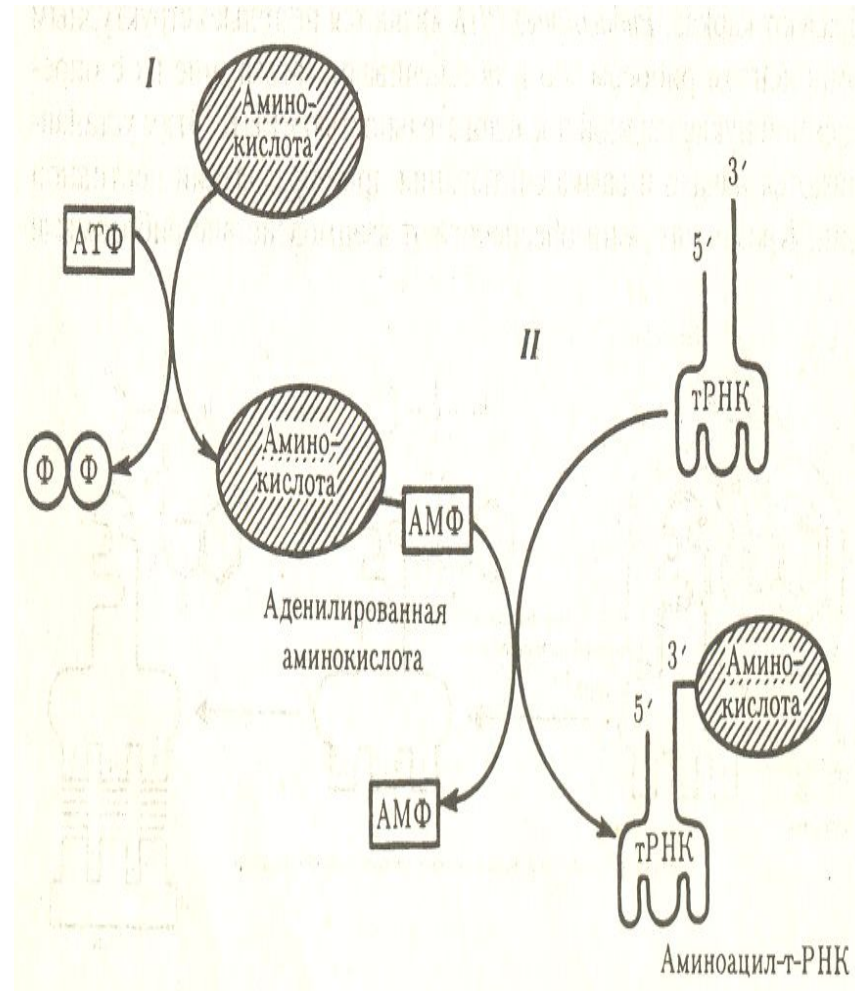


рис. 3.27. Пространственная организация тРНК:

— вторичная структура тРНК в виде «клеверного листа», определяемая ее первичной структурой (последовательностью нуклеотидов в цепи); *II*— двумерная проекция третичной структуры тРНК; *III*— схема укладки молекулы тРНК в пространстве

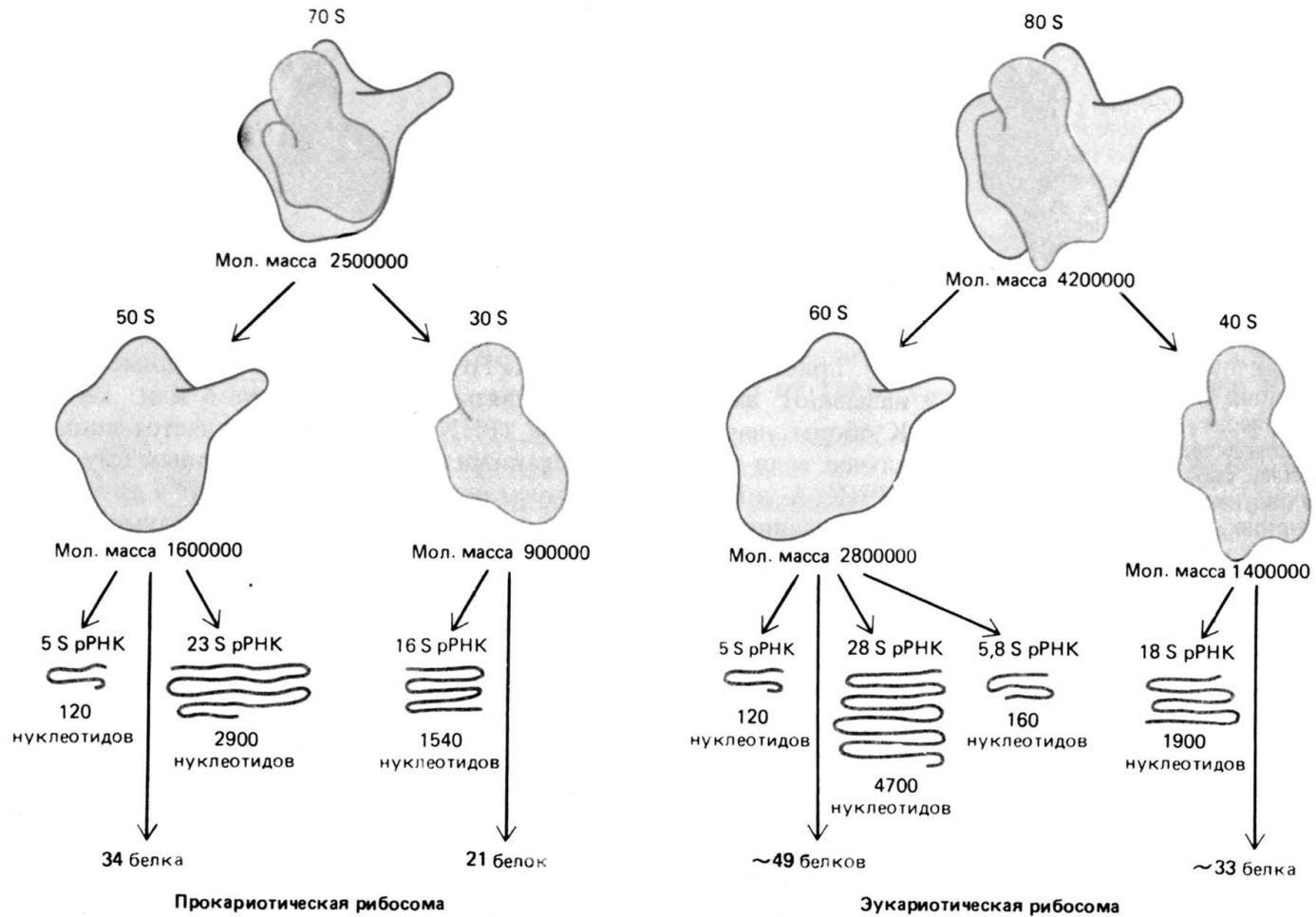
# СОЕДИНЕНИЕ т-РНК С АМИНОКИСЛОТОЙ

1. А\к-та взаимодействует с АТФ, активация ее и образование **аденилированной аминокислоты**.
2. Аденилированная аминокислота взаимодействует с ОН-группой на 3' конце т-РНК. **Высвобождение АМФ**.
3. **АМИНОАЦИЛ-т-РНК-СИНТЕТАЗЫ**.





# Строение рибосом



# Трансляционный аппарат клетки

В рибосоме имеются три различных участка, с которыми связывается РНК: **один для мРНК и два – для тРНК.**

Трансляционный аппарат клетки

**Участки для т-РНК**

**называются Р**

**-(пептидильный)**

**и**

**А- (акцепторный или**

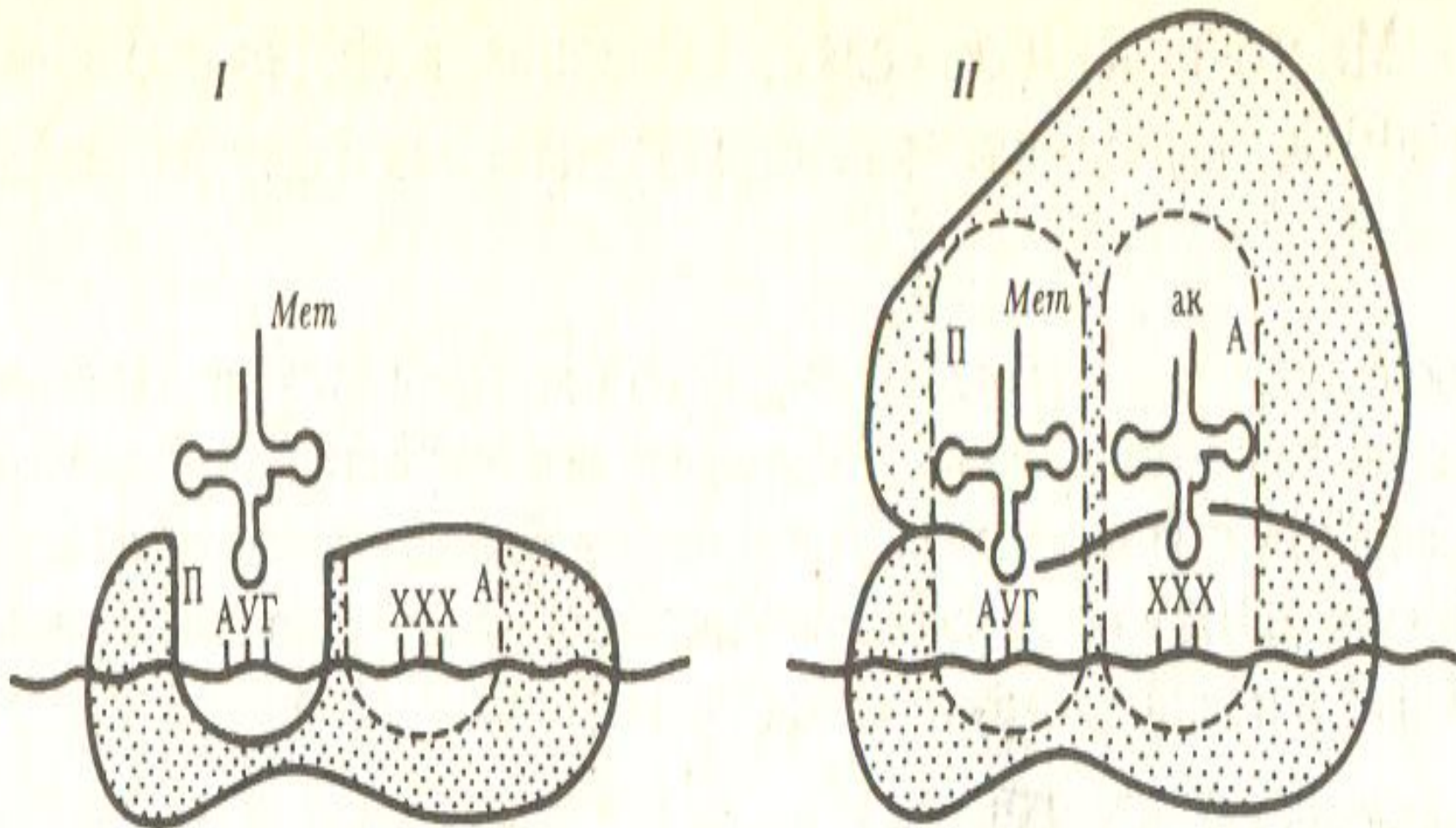
**аминоацильный) участки**

# Трансляционный аппарат клетки

В фазе инициации субъединицы рибосомы объединяются с мРНК и в систему поступает первая т-РНК.

Старт-кодон для синтеза любого белка – **АУГ**.

# ИНИЦИАЦИЯ БЕЛКОВОГО СИНТЕЗА



# Рибосомы



**Рис. 5-19.** Три главных участка связывания, в которых молекулы РНК присоединяются к рибосоме. Слева представлена ненагруженная рибосома, справа – нагруженная. На этом рисунке так же, как и на трех следующих, рибосомы изображены схематично, более точное представление об их форме дают рис. 5-16 и 5-23.



# Трансляционный аппарат клетки

**Элонгация (удлинение) –**

**циклически повторяющиеся события, связанные с включением аминокислот в белковую цепочку.**

## ФАЗА ЭЛОНГАЦИИ

1. При соединении антикодона т-РНК с кодоном м-РНК транспортируемая аминокислота располагается на А-участке.
2. Шаг рибосомы на м-РНК = 1 кодону.
3. Скорость сборки большая: у бактерий в 1 сек. присоединяется от 12 до 17 аминокислот.

# Элонгация

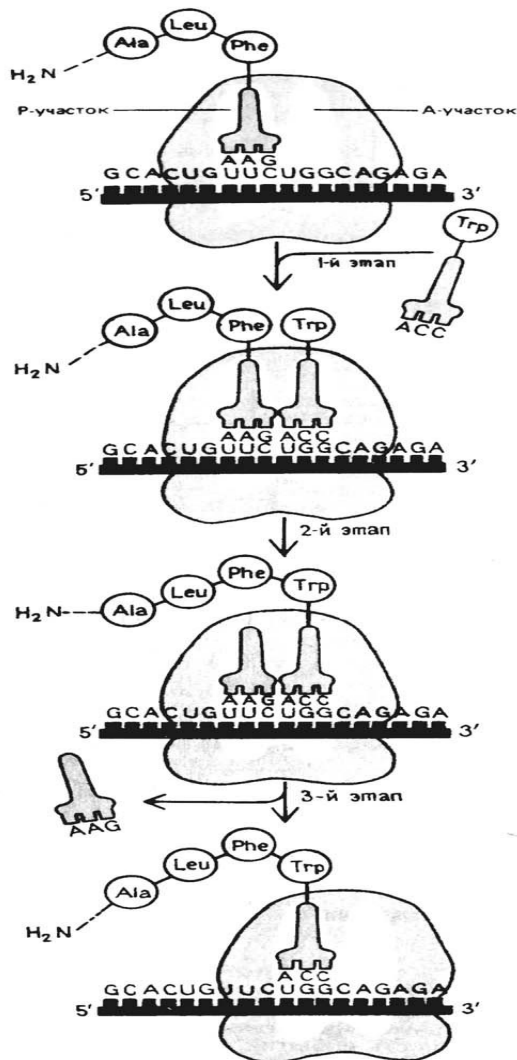


Рис. 5-20. Фаза элонгации в синтезе белка, протекающая на рибосоме. Представленный здесь трехэтапный цикл многократно повторяется во время синтеза белковой цепи. На первом этапе молекула аминоксил-тРНК присоединяется к А-участку рибосомы, второй этап характеризуется образованием новой пептидной связи, на третьем этапе рибосома продвигается вдоль цепи мРНК на расстояние, соответствующее трем нуклеотидам, высвобождая предыдущую молекулу тРНК, т.е. устанавливается в таком положении, чтобы цикл мог повториться сначала.

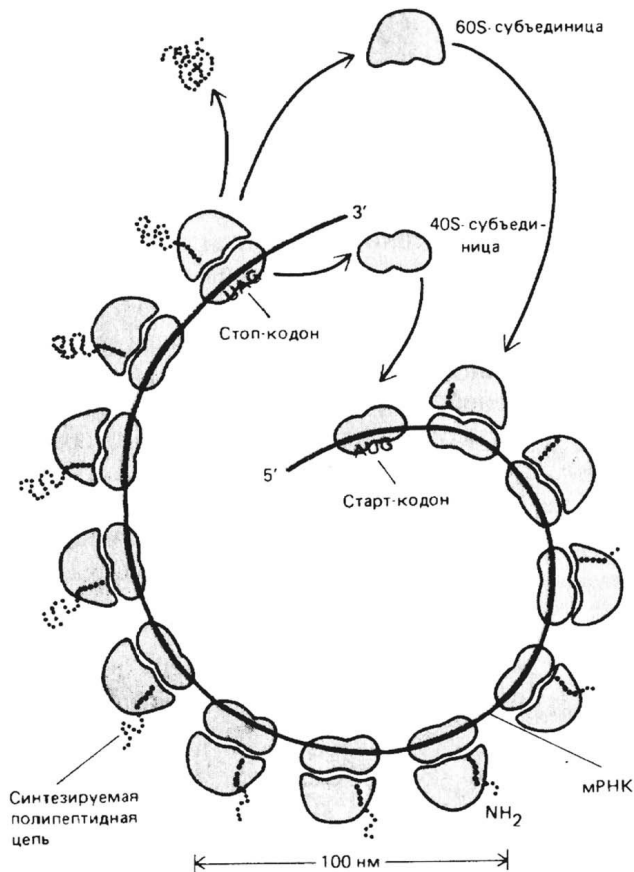
5-5  
5-8

# Трансляционный аппарат клетки

Терминация (окончание биосинтеза) связана с поступлением в рибосому одного из нонсенс-кодонов: **УАА, УАГ или УГА.**

# Полирибосома (полисома)

**Рис. 5-26.** Схематическое изображение полирибосомы, показывающее, как ряд рибосом одновременно осуществляет трансляцию на одной и той же молекуле мРНК. В эукариотических клетках синтез каждой полипептидной цепи начинается с присоединения малой рибосомной субъединицы к единственному подходящему для этого участку на молекуле мРНК и трансляция идет вдоль этой молекулы в направлении  $5' \rightarrow 3'$ . По завершении данной полипептидной цепи обе субъединицы рибосомы отделяются от молекулы мРНК.



# ФАЗЫ ТРАНСЛЯЦИОННОГО СИНТЕЗА: инициации, элонгации, терминации

## Фаза инициации:

1. Рибосомные РНК обеспечивают взаимосвязь с м-РНК (рамка считывания).
2. Формирование сайтов: **А** (аминоцильного) и **П** (пептидильного).
3. Экранируется 30 нуклеотидов, но при этом «читается» 2 антикодона.
4. На начало синтеза – стартовый кодон **АУГ**.
5. Описанные процессы - **факторы инициации**.

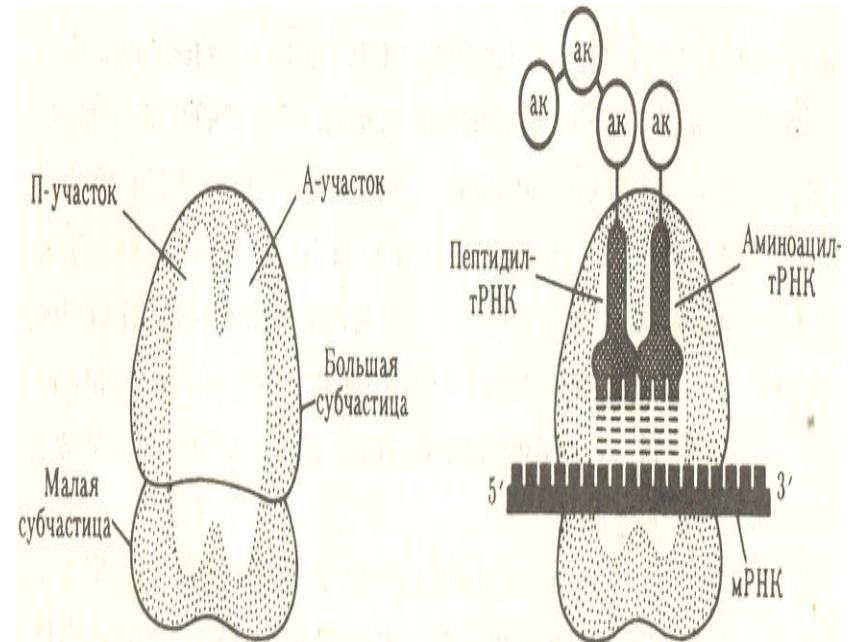


Рис. 3.31. Участки связывания молекул тРНК и рибосомы:

/— ненагруженная рибосома, //— нагруженная рибосома; ак — аминокислота



## Белки в эволюции и онтогенезе

- **Бактериальные и-РНК полицистронны, т.е. кодируют несколько белков по одной и-РНК, а эукариотические – моноцистронны.**

# Трансляционный аппарат клетки

- Действие многих эффективных антибиотиков основано на подавлении биосинтеза белков.

# Трансляционный аппарат клетки

- Посттрансляционная модификация заключается в укладке первичной структуры белка в структуры высшего порядка.

## 4. Особенности организации и экспрессии у эукариот и прокариот

### ЕДИНСТВО ПРОИСХОЖДЕНИЯ:

1. Генетический материал у прокариот и эукариот представлен **ДНК**.
2. Общее – **генетический код** и система записи наследственной информации.
3. Одни и те же **аминокислоты** шифруются одними **кодонами**.
4. Процессы экспрессии генов сходны: **ДНК – транскрипция – и-РНК – полипептид (с участием т-РНК)**.

# ОТЛИЧИЯ В ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ У ПРО- и ЭУКАРИОТ

ПРОКАРИОТЫ	ЭУКАРИОТЫ
Синтез трех видов РНК – один сложный белковый комплекс РНК-полимераза	Участие 3-х ядерных РНК-полимераз (ядерная, мит., пласт., и-РНК-полимераза, т-РНК-полимераза, р-РНК-полимераза.)
РНК сразу выполняет роль матрицы	<b>Процессинг</b> м-РНК
Процесс трансляции сопряжен с синтезом м-РНК.	Разобщение этапов
Экзоны	Интрон-экзонная организация, наследственный материал по объему больше, расположен в хромосомах



## РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ У ПРОКАРИОТ МОДЕЛЬ ОПЕРОНА.

1. Начало 60-х годов 20-го века: **Ф. ЖАКОБ, А. ЛЬВОВ, Ж. МОНО** предложили гипотезу, объясняющую работу автоматической системы контроля за производством ферментов в **бактериальной клетке**.
2. При таком типе регуляции генов контроль осуществляется **ОПЕРОНОМ**, который состоит из генов: структурных, гена-промотора (присоединяется РНК-полимеразы), гена-оператора (контролирует производство м-РНК).
3. Вне оперона – **ген-регулятор**, производящий молекулу **репрессора**, который препятствует действию гена-оператора.

# ИНДУКЦИЯ

4. Процесс индукции включает следующие фазы:

**А) ПРОИЗВОДСТВО МОЛЕКУЛЫ-РЕПРЕССОРА:**

- ген-регулятор синтезирует **репрессор**;
- при отсутствии субстрата репрессор может блокировать РНК-полимеразу;
- **транскрипция генов не осуществляется.**

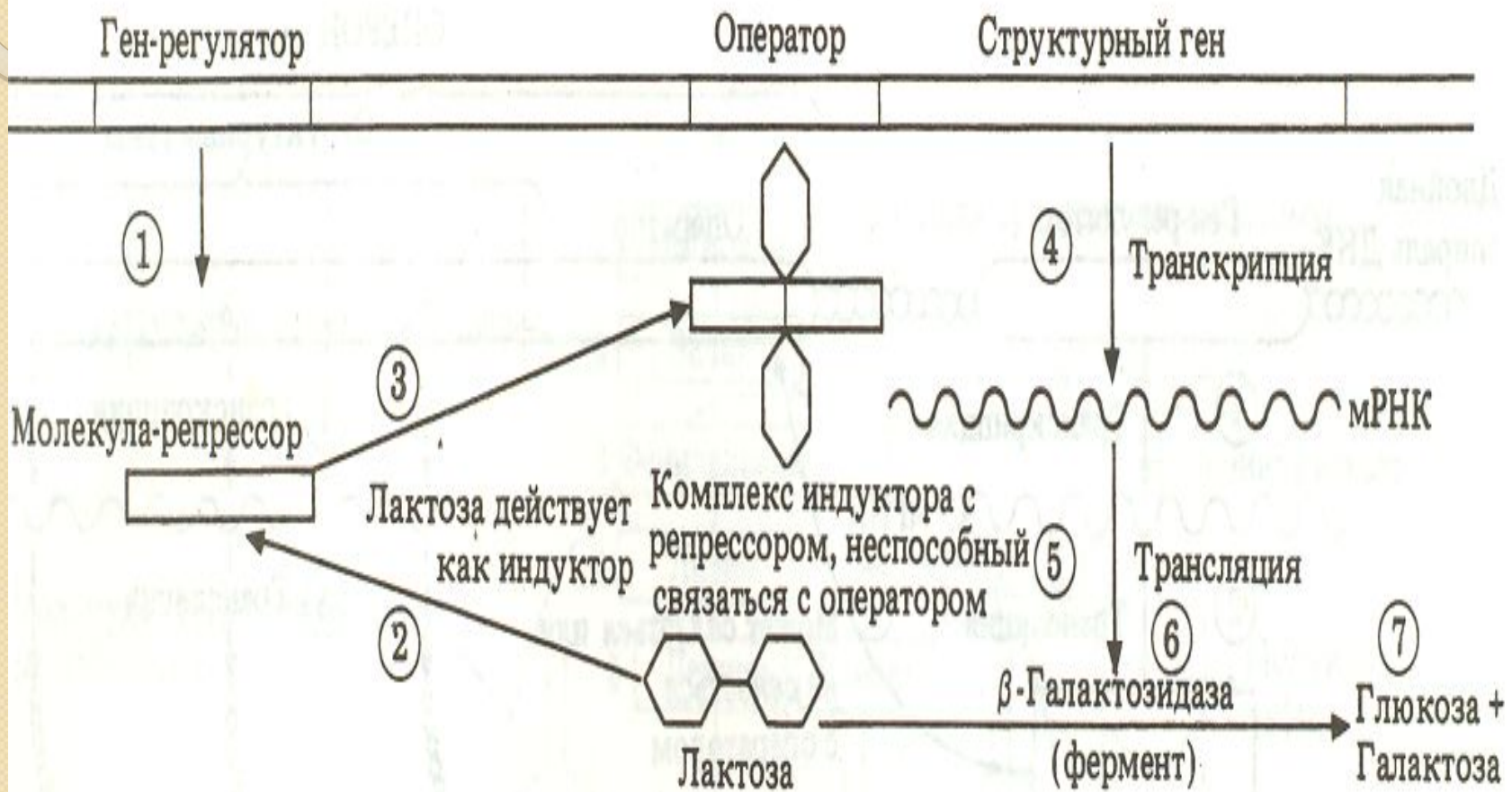
**Б) ПРИСОЕДИНЕНИЕ СУБСТРАТА (ИНДУКТОРА) К БЕЛКУ-РЕПРЕССОРУ:**

- это обратимая реакция, происходящая только при высокой концентрации фермента;
- индуктор соединяется с репрессором;
- м-РНК выполняет свои функции.

# ИНДУКЦИЯ

- В) Транскрипция генов и производство ферментов:
- РНК-полимераза получает доступ к оператору:
  - синтез фермента.

# ИНДУКЦИЯ. РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ГЕНОВ.



## РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ У ЭУКАРИОТ

1. НЕ установлено оперонной организации.
2. Активность каждого гена регулируется большим количеством генов-регуляторов.
3. Присоединение РНК-полимеразы обеспечивается специфической нуклеотидной последовательностью (элемент, расположенный перед промотором – 100 п.н.).
4. Белки-регуляторы обладают **плейотропным эффектом**.
5. Подчиненность транскрипции ГОРМОНАМ (**синдром Морриса**).
6. Комплексы ДНК с белками (гистоновые и негистоновые).