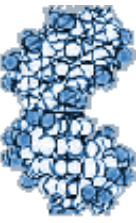
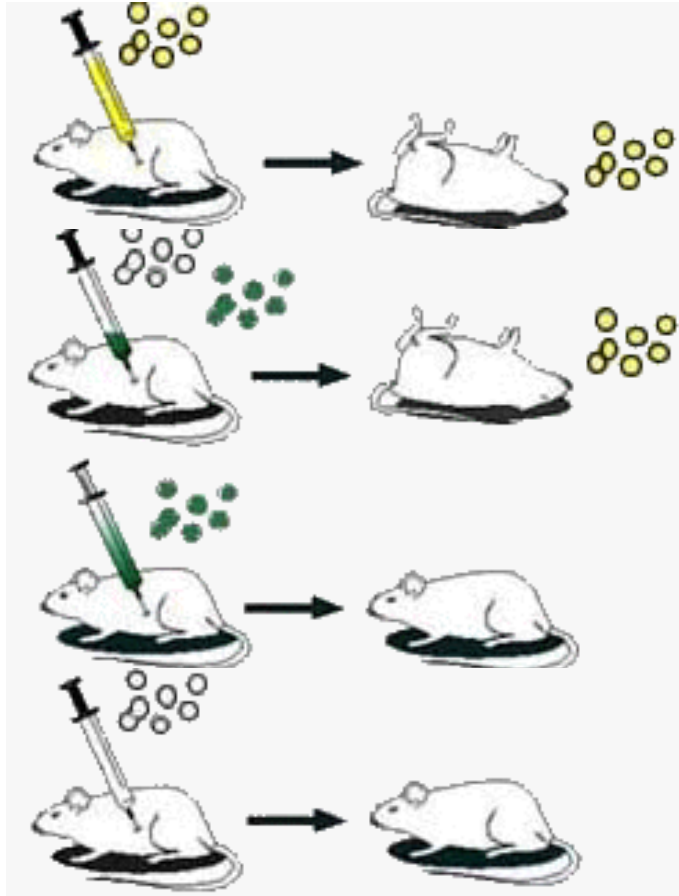


Доказательства генетической роли нуклеиновых кислот



1. 1928 г. Опыты Фредерика Гриффита.

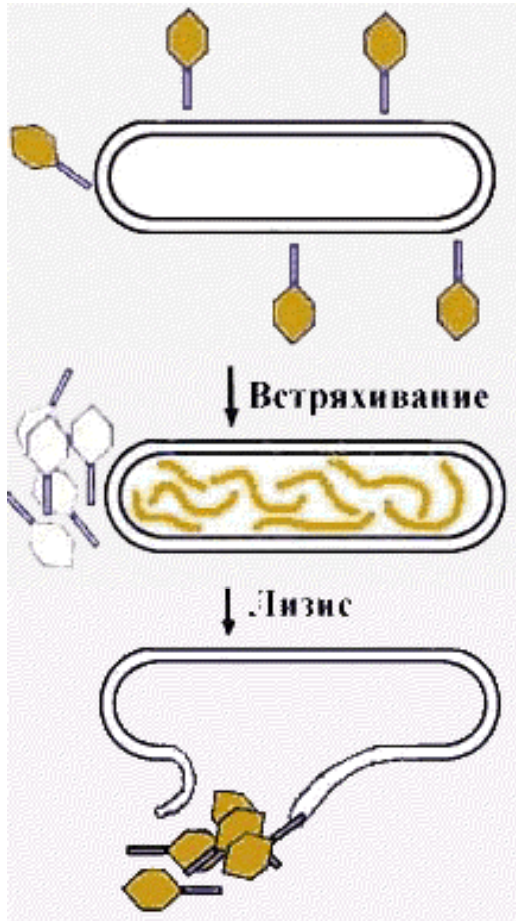
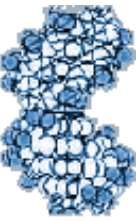


Гриффит работал с пневмококками. Он брал два штамма пневмококков: капсульный и бескапсульный. Капсульный - патогенный, при инфицировании таким штаммом мыши погибают, бескапсульный - непатогенный. При введении мышам смеси убитых нагреванием (и, следовательно, потерявших вирулентность) капсульных пневмококков и живых бескапсульных неvirulentных бактерий, животные погибали в результате размножения капсульных вирулентных форм.

Трансформация - это приобретение одним организмом некоторых признаков другого организма за счет захвата части его генетической информации.

Доказательства генетической роли нуклеиновых кислот

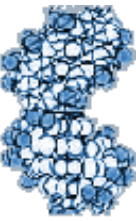
2. 1952 г. Эксперимент Альфреда Херши и Марты Чейз



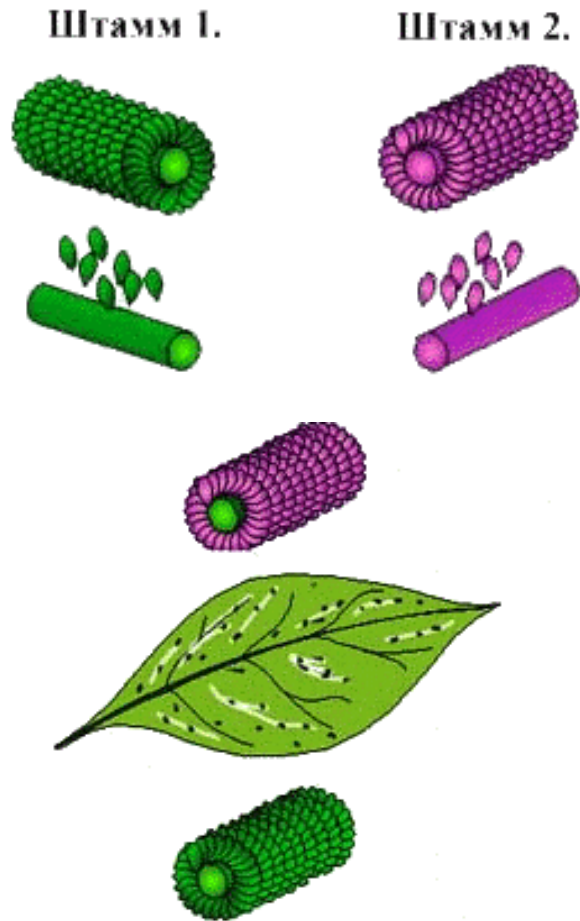
Суть опыта: фаги, у которых белковая оболочка была мечена радиоактивной серой (S35), а ДНК - радиоактивным фосфором (P32), инкубировали с бактериями. Затем бактерии отмывали. В смывных водах не обнаруживали P32, а в бактериях - S35 Следовательно, *внутри* попала только ДНК. Через несколько минут из бактерии выходили десятки полноценных фагов, содержащих и белковую оболочку, и ДНК.

**Фаги (бактериофаги) - это вирусы, размножающиеся в бактериях.
E. coli - кишечная палочка.**

Доказательства генетической роли нуклеиновых кислот



3. 1957 г. Опыты Френкеля и Конрата

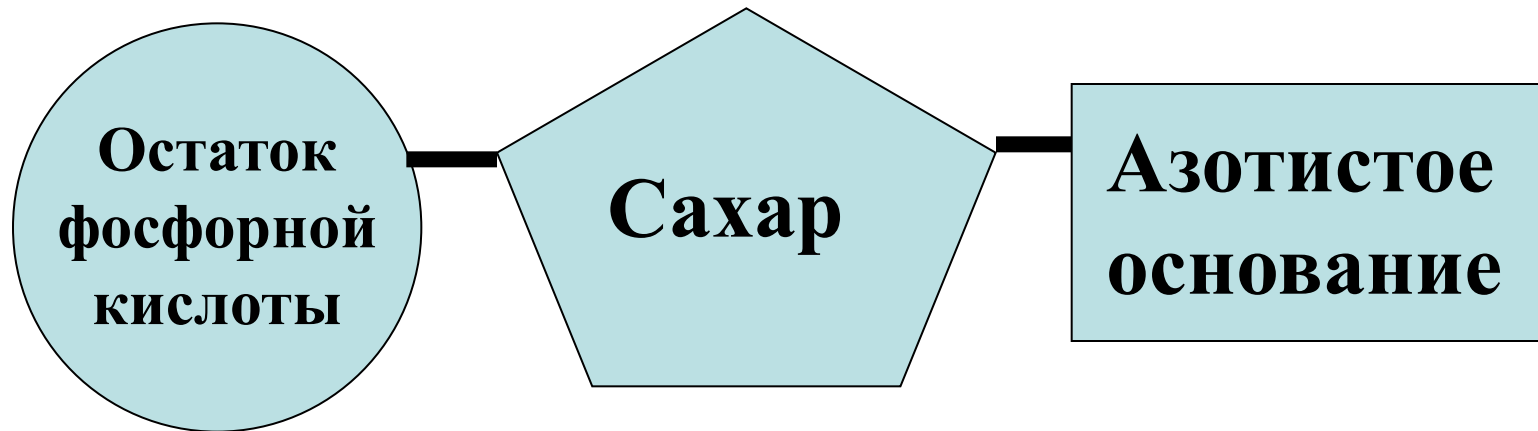


Френкель и Конрат работали с вирусом табачной мозаики (ВТМ). В этом вирусе содержится РНК, а не ДНК. Было известно, что разные штаммы вируса вызывают разную картину поражения листьев табака. После смены белковой оболочки "переодетые" вирусы вызывали картину поражения, характерную для того штамма, чья РНК была покрыта чужим белком.

Следовательно, не только ДНК, но и РНК может служить носителем генетической информации.

Строение нуклеиновых кислот

Нуклеиновые кислоты – полимеры, мономерами которых являются нуклеотиды



Нуклеотиды: аденин, гуанин, тимин, цитозин, урацил

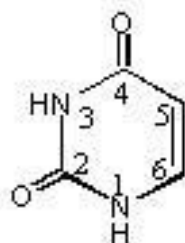
Сахара вместе с азотистым основанием называются **нуклеозидами** (аденозин, гуанозин, тимидин, цитидин).

Если к ним присоединены 1-, 2-, или 3-фосфорных остатка, то вся эта структура называется соответственно, **нуклеотизид монофосфатом**, дифосфатом или трифосфатом или нуклеотидом (аденин, гуанин, тимин, цитозин).

Азотистые основания

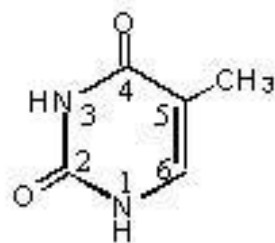
АЗОТИСТЫЕ ОСНОВАНИЯ

ПИРИМИДИНОВЫЕ



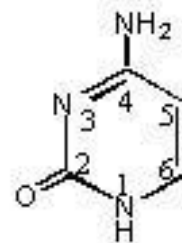
Урацил

U



Тимин

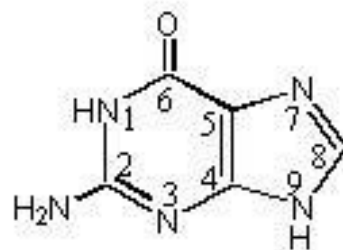
T



Цитозин

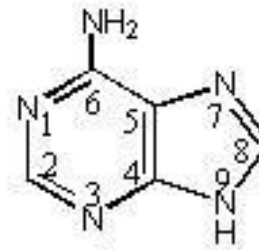
C

ПУРИНОВЫЕ



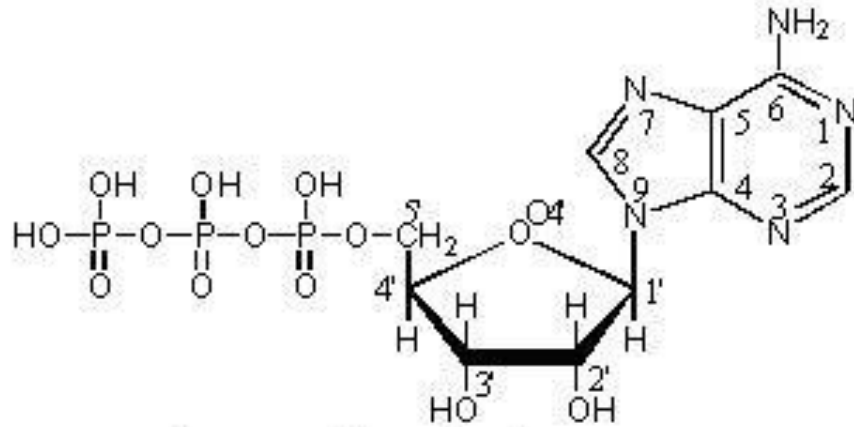
Гуанин

G

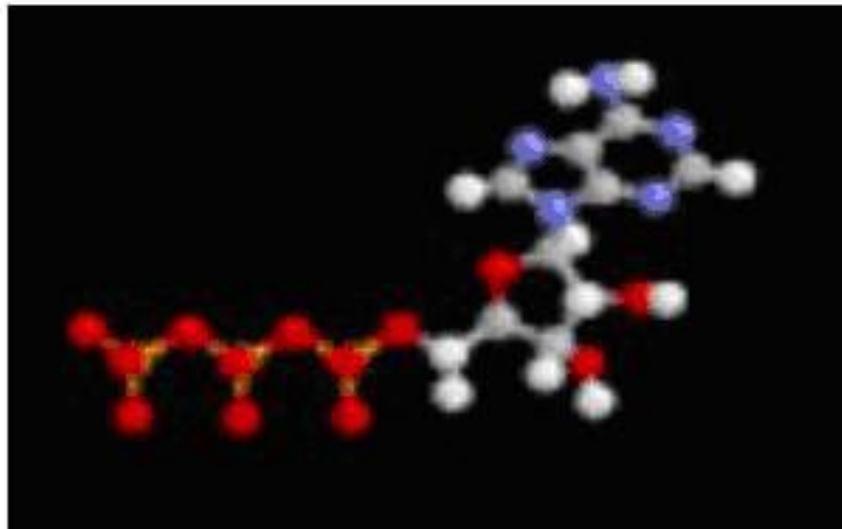


Аденин

A



Аденозин-5'-трифосфат
5'-АТФ



основание - аденин

нуклеозид - аденозин

нуклеотид - АТФ

АДФ

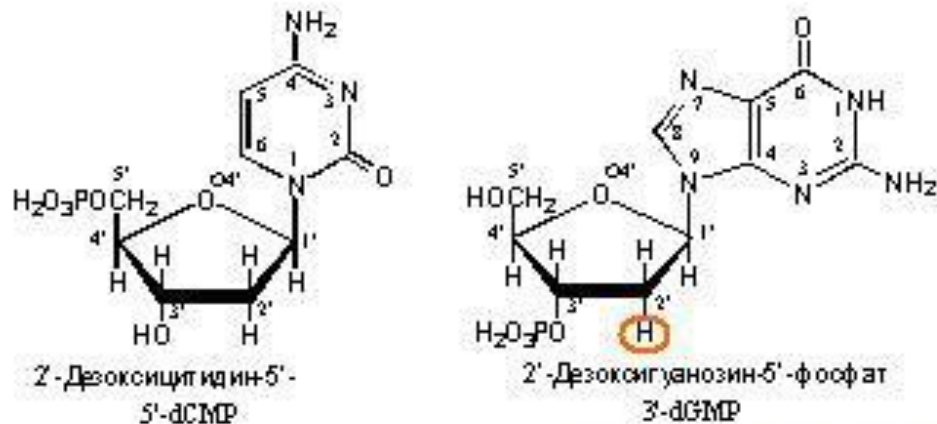
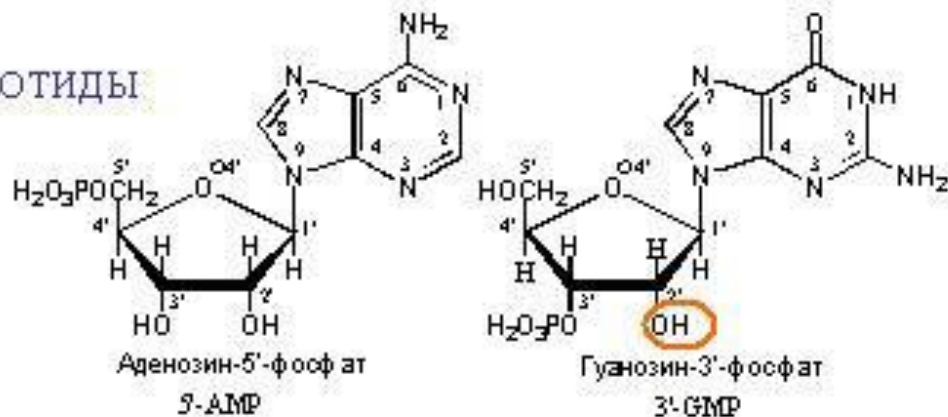
АМФ

В состав **ДНК** входит сахар дезоксирибоза, **РНК** – рибоза.

В состав **ДНК** входят азотистые основания: аденин, гуанин, цитозин, **тимин**.

В состав **РНК** входят азотистые основания: аденин, гуанин, цитозин, **урацил**

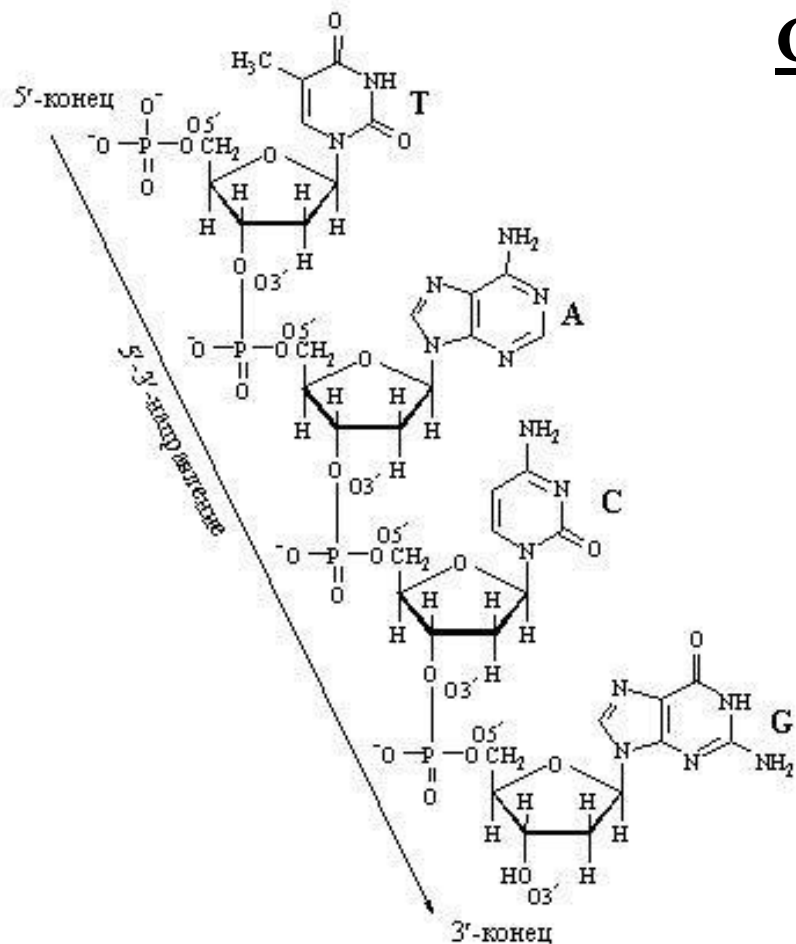
РИБОНУКЛЕОТИДЫ



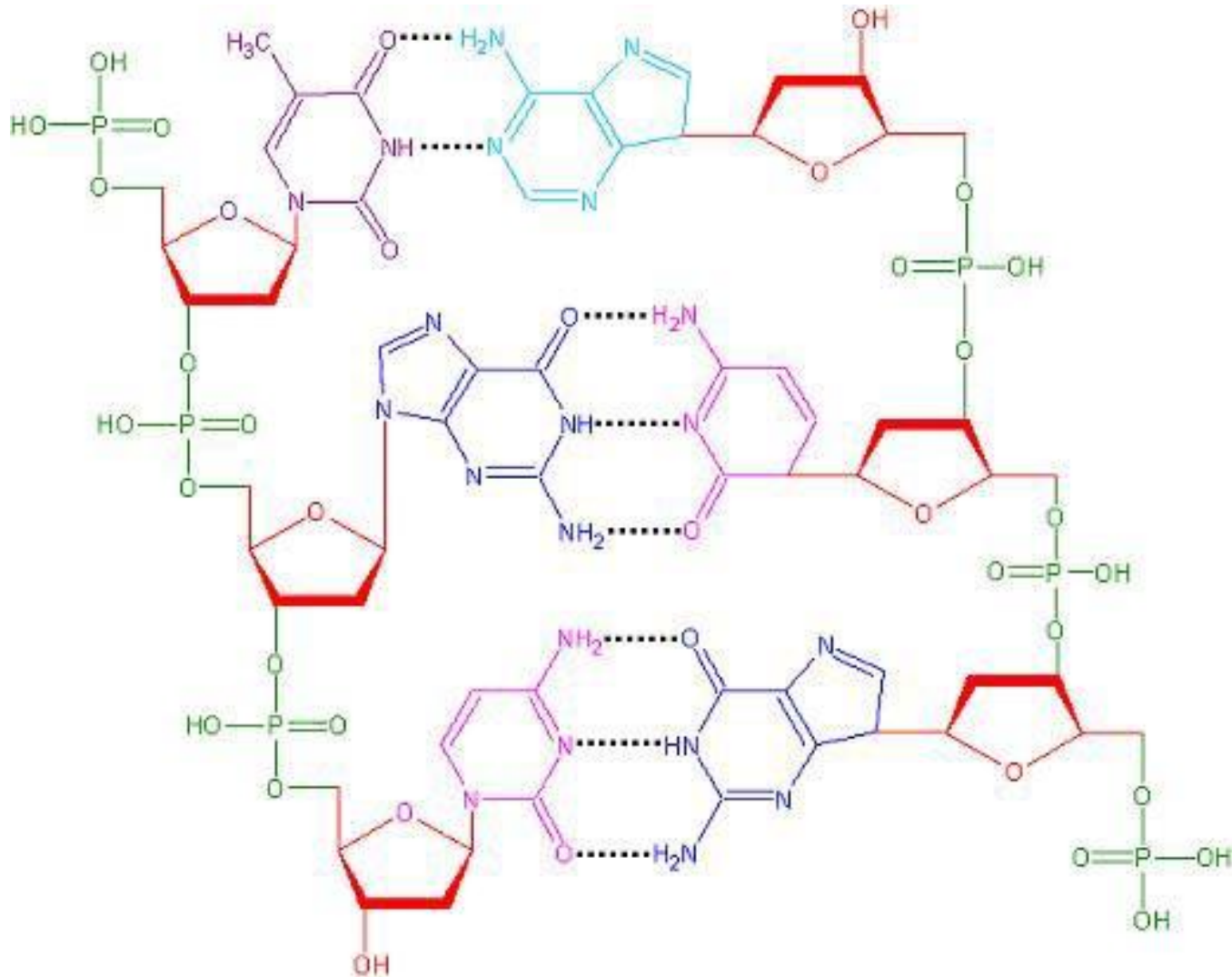
ДЕЗОКИРИБОНУКЛЕОТИДЫ

Нуклеотиды способны взаимодействовать друг с другом за счет ковалентной связи между соседними нуклеотидами: связь образуется между пятым углеродом одной дезоксирибозы и третьим углеродом другой дезоксирибозы (фосфодиэфирные связи). Поэтому в цепочке нуклеиновых кислот выделяют разные неравнозначные концы, относительно которых молекула не симметрична.

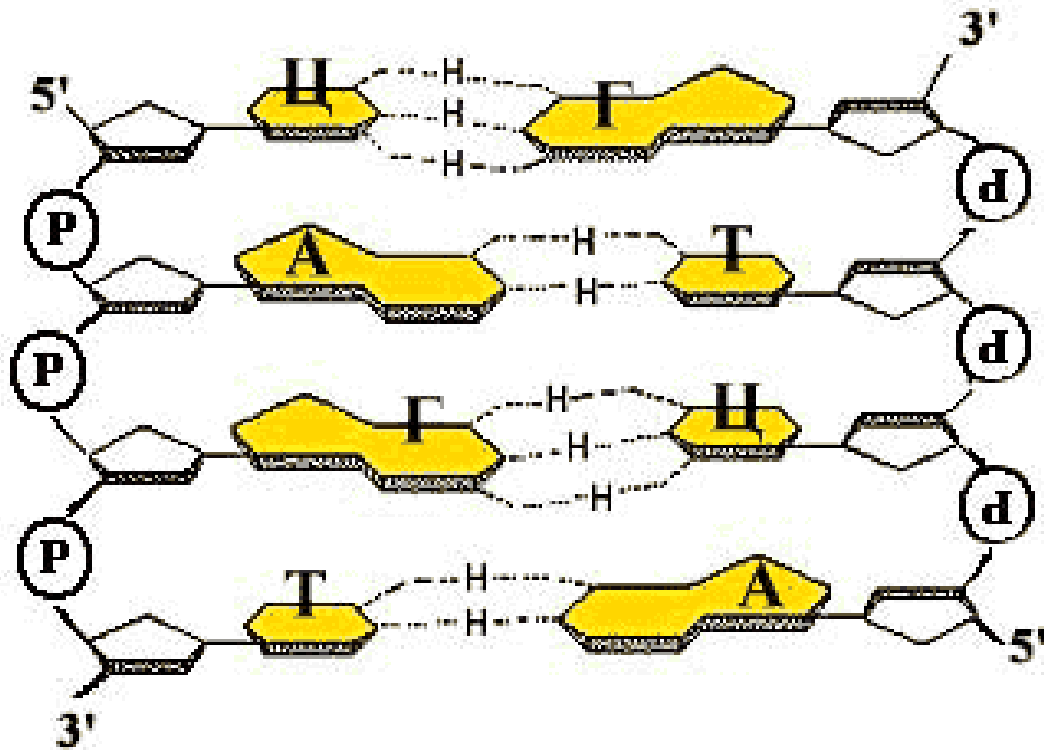
Сахарофосфатный ОСТОВ



Комплементарные друг другу одноцепочечные молекулы нуклеиновой кислоты способны образовывать двуцепочечную структуру. Внутри этой спирали аденин образует пару с тимином, а гуанин - с цитозином (принцип комплементарности).

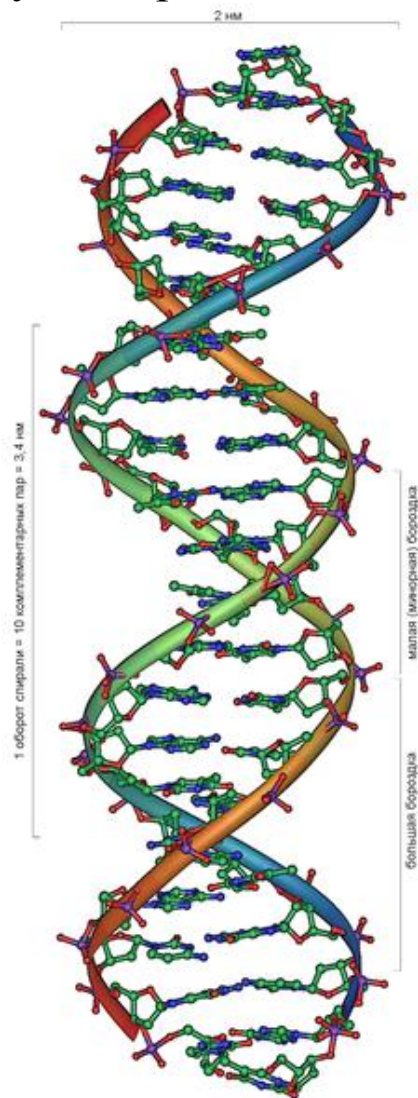


Принципы строения ДНК

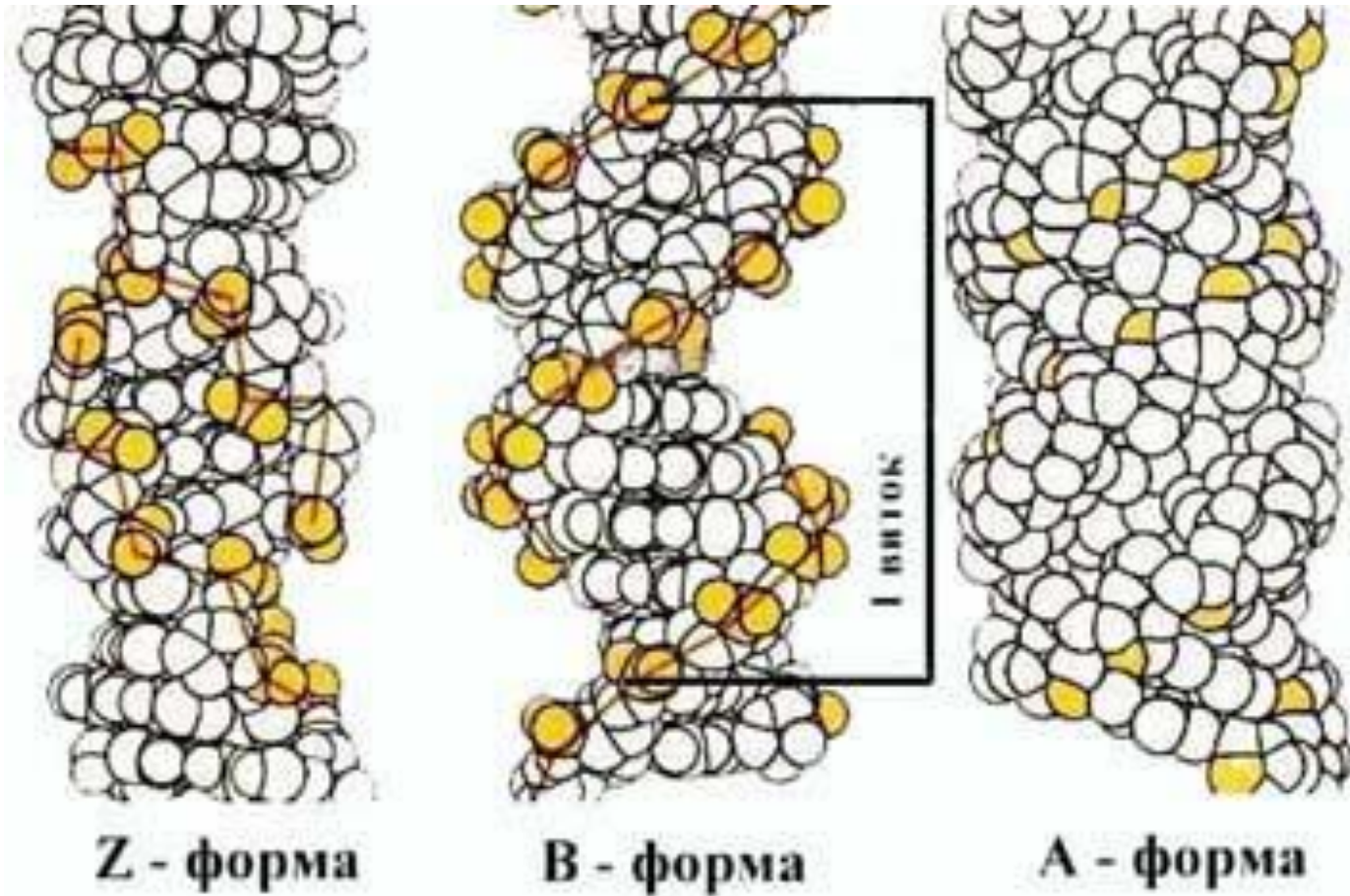


1. Нерегулярность.
2. Антипараллельность.
3. Комплементарность (дополнительность).
4. Наличие регулярной вторичной структуры.

В силу пространственного расположения сахаро-фосфатного остова и нуклеотидов, когда нуклеотиды накладывают один на другой и «сшивают» через сахаро-фосфатный остов, цепочка начинает заворачиваться, тем самым образуя знаменитую двойную спираль.



Существуют несколько форм двойной спирали ДНК



Функции ДНК

1. ДНК является носителем генетической информации.

Функция обеспечивается фактом существования генетического кода.

2. Воспроизведение и передача генетической информации в поколениях клеток и организмов.

Функция обеспечивается процессом репликации.

3. Реализация генетической информации в виде белков, а также любых других соединений, образующихся с помощью белков-ферментов.

Функция обеспечивается процессами транскрипции и трансляции.

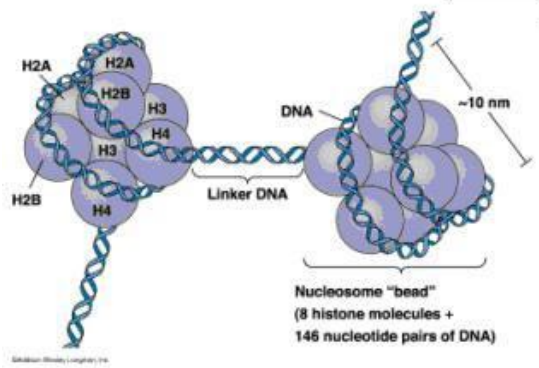
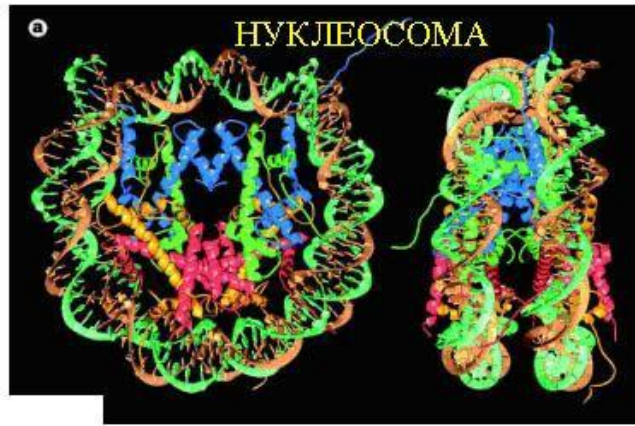
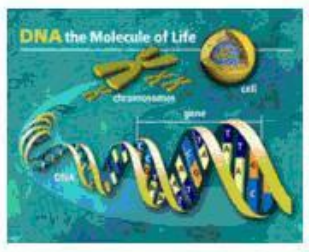
Виды РНК

Виды РНК	Размер в нуклеотидах
gРНК - геномные РНК	10000-100000
mРНК - информационные (матричные) РНК	100-100000
tРНК - транспортные РНК	70-90
rРНК - рибосомные РНК	несколько дискретных классов от 100 до 500000
sРНК - малые РНК	100-300

Различия в структуре ДНК и РНК

	ДНК	РНК
Сахар	Дезоксирибоза	Рибоза
Азотистые основания	А, Т, Г, Ц	А, У, Г, Ц
Количество цепей в молекуле	99.99% двойная спираль 0.01% одноцепочечная.	99.99% одноцепочечная 0.01% двухцепочечная
Форма молекулы	Все одноцепочечные-кольцевые. Большинство двухцепочечных - линейные, часть-кольцевые.	Линейные молекулы

Компактизация ДНК

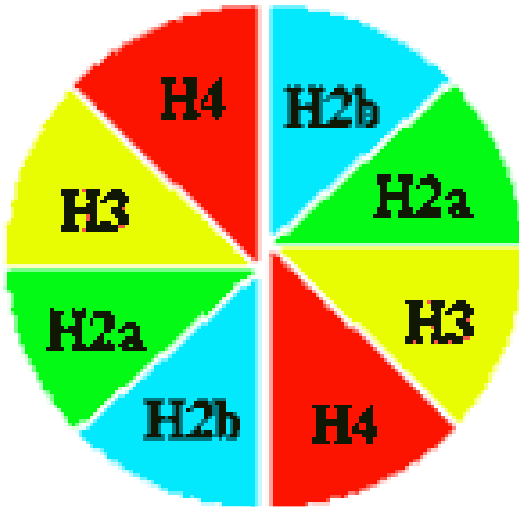


У человека в гаплоидном геноме, то есть единичном наборе хромосом, 3 млрд. пар нуклеотидов, и их длина составляет 1,7 м, а клетка гораздо меньше. Для того, чтобы ДНК смогла в ней поместиться, она достаточно плотно свернута, и в эукариотической клетке свернуться ей помогают белки – гистоны.

Уровни компактизации ДНК

1. Нуклеосомный

В основе нуклеосомы лежит гистоновый октамер.



Выделяют 5 фракций гистонов.

H1 (очень богатая лизином)

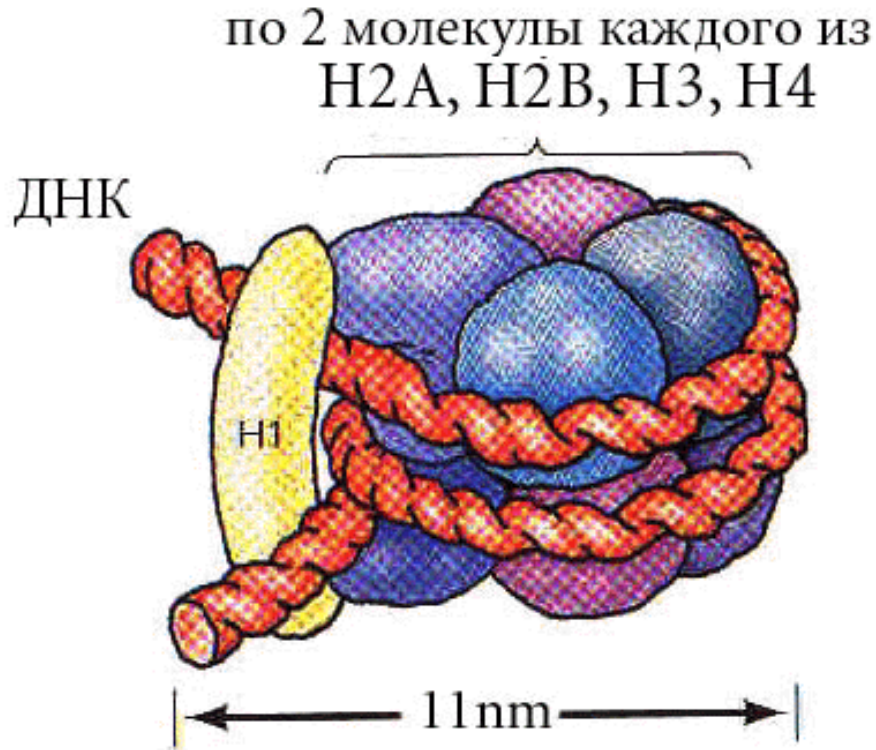
H2В (умеренно богатая лизином)

H2А (умеренно богатая лизином и аргинином)

H4 (богатая аргинином и глицином)

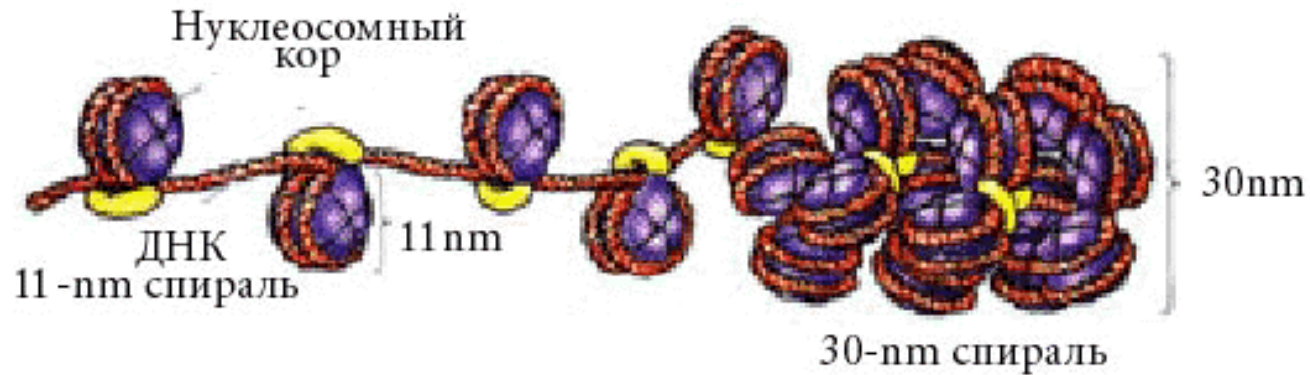
H3 (очень богатая аргинином); в ней есть цистеин, а в других - нет

Уровни компактизации ДНК



Нуклеосомой называется повторяющийся структурный элемент хроматина, содержащий гистоновый октамер и ~180 п.н. ДНК.

2. Супербидный, или соленоидный



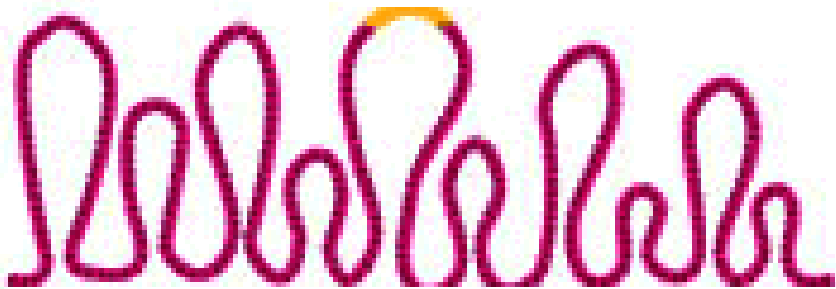
Фактически обеспечивается Н1 гистоном.

Н1 взаимодействует с октамерами, сближает их, и еще на него наматывается ДНК. Образуется супербид.

3. Петлевой уровень

Обеспечивается негистоновыми белками.

Они узнают определенные последовательности ДНК и связываются с ними и друг другом, образуя петли по 20-80 тыс. п.н.



4. Метафазная хромосома.



Сюда входят белки ядерной ламины, серия белковых нитей, сопряженных с ядерной оболочкой и пронизывающих все ядро.

Половину белков хроматина составляют негистоновые белки, например, НМГ - белки (High Mobility Group)

Ацетилирование гистонов

Гистонацетилтрансферазы (НАС)

Гистондеацетилтрансферазы (HDAC)

и др.

Генетический код

Генетический код - это система записи информации о последовательности расположения аминокислот в белках с помощью последовательности расположения нуклеотидов в ДНК.

Поскольку ДНК непосредственного участия в синтезе белка не принимает, то код записывается на языке РНК. В РНК вместо тимина входит урацил.

Свойства генетического кода

1. Триплетность

Каждая аминокислота кодируется последовательностью из 3-х нуклеотидов.

Триплет или кодон - последовательность из трех нуклеотидов, кодирующая одну аминокислоту.

Таблица генетического кода

Вторая позиция кодона

Первая позиция кодона

	U	C	A	G	
U	Phe Phe Leu Leu	Ser Ser Ser Ser	Tyr Tyr STOP STOP	Cys Cys STOP Trp	U C A G
C	Leu Leu Leu Leu	Pro Pro Pro Pro	His His Gln Gln	Arg Arg Arg Arg	U C A G
A	Ile Ile Ile Met	Thr Thr Thr Thr	Asn Asn Lys Lys	Ser Ser Arg Arg	U C A G
G	Val Val Val Val	Ala Ala Ala Ala	Asp Asp Glu Glu	Gly Gly Gly Gly	U C A G

Третья позиция кодона

2. Вырожденность.

Все аминокислоты, за исключением метионина и триптофана, кодируются более чем одним триплетом:

2 АК по 1 триплету = 2

9 АК по 2 триплета = 18

1 АК 3 триплета = 3

5 АК по 4 триплета = 20

3 АК по 6 триплетов = 18

Всего 61 триплет кодирует 20 аминокислот.

3. Наличие межгенных знаков препинания.

Таблица генетического кода

Вторая позиция кодона

Первая позиция кодона

	U	C	A	G	
U	Phe Phe Leu Leu	Ser Ser Ser Ser	Tyr Tyr STOP STOP	Cys Cys STOP Trp	U C A G
C	Leu Leu Leu Leu	Pro Pro Pro Pro	His His Gln Gln	Arg Arg Arg Arg	U C A G
A	Ile Ile Ile Met	Thr Thr Thr Thr	Asn Asn Lys Lys	Ser Ser Arg Arg	U C A G
G	Val Val Val Val	Ala Ala Ala Ala	Asp Asp Glu Glu	Gly Gly Gly Gly	U C A G

Третья позиция кодона

4. Однозначность.

Каждый триплет кодирует лишь одну аминокислоту или является терминатором трансляции.

Исключение составляет кодон AUG. У прокариот в первой позиции (заглавная буква) он кодирует формилметионин, а в любой другой - метионин.

5. Компактность, или отсутствие внутригенных знаков препинания.

6. Универсальность.

Генетический код един для всех живущих на Земле существ.

Это является сильнейшим свидетельством в пользу единства

7. Неперекрываемость.

* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *



Функции ДНК

1. ДНК является носителем генетической информации.

Функция обеспечивается фактом существования генетического кода.

2. Воспроизведение и передача генетической информации в поколениях клеток и организмов.

Функция обеспечивается процессом репликации.

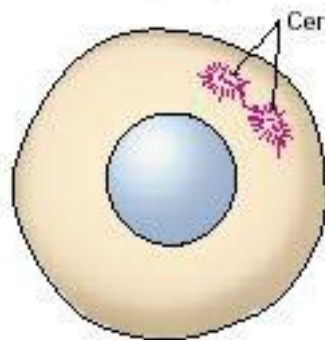
3. Реализация генетической информации в виде белков, а также любых других соединений, образующихся с помощью белков-ферментов.

Функция обеспечивается процессами транскрипции и трансляции.

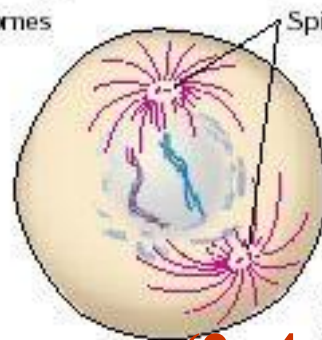
Репликация ДНК

- процесс, осуществляемый комплексом ферментов и белков, суть которого в образовании идентичных копий ДНК для передачи генетической информации в поколениях клеток и организмов.

Интерфаза (G_2)

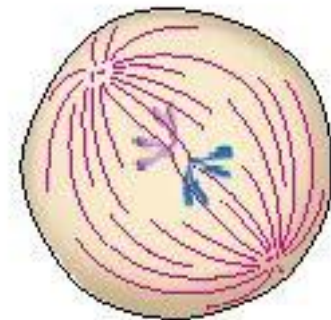
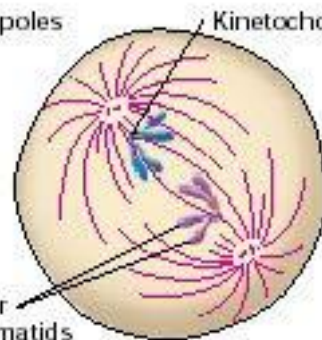


Профаза

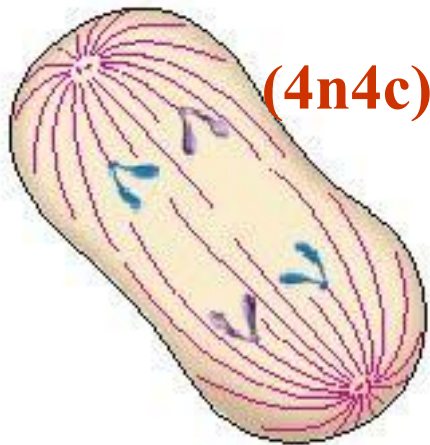


$(2n4c)$

Метафаза

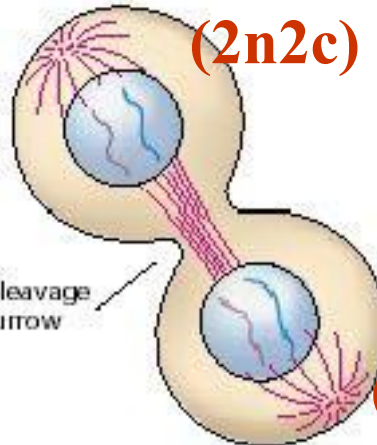


Анафаза



$(4n4c)$

Телофаза

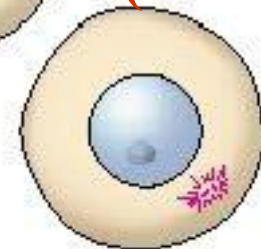


$(2n2c)$

Интерфаза (G_2)



$(2n2c)$



$(2n2c)$

Принципы репликации

1. *Комплементарность.*
2. *Антипараллельность.*
3. *Униполярность.*
4. *Потребность в заправке.*
5. *Прерывистость.*
6. *Полуконсервативность.*

Синтез каждой дочерней цепи ДНК идет комплементарно и антипараллельно матричной цепи и всегда в направлении 5' → 3'.

Модели репликации ДНК

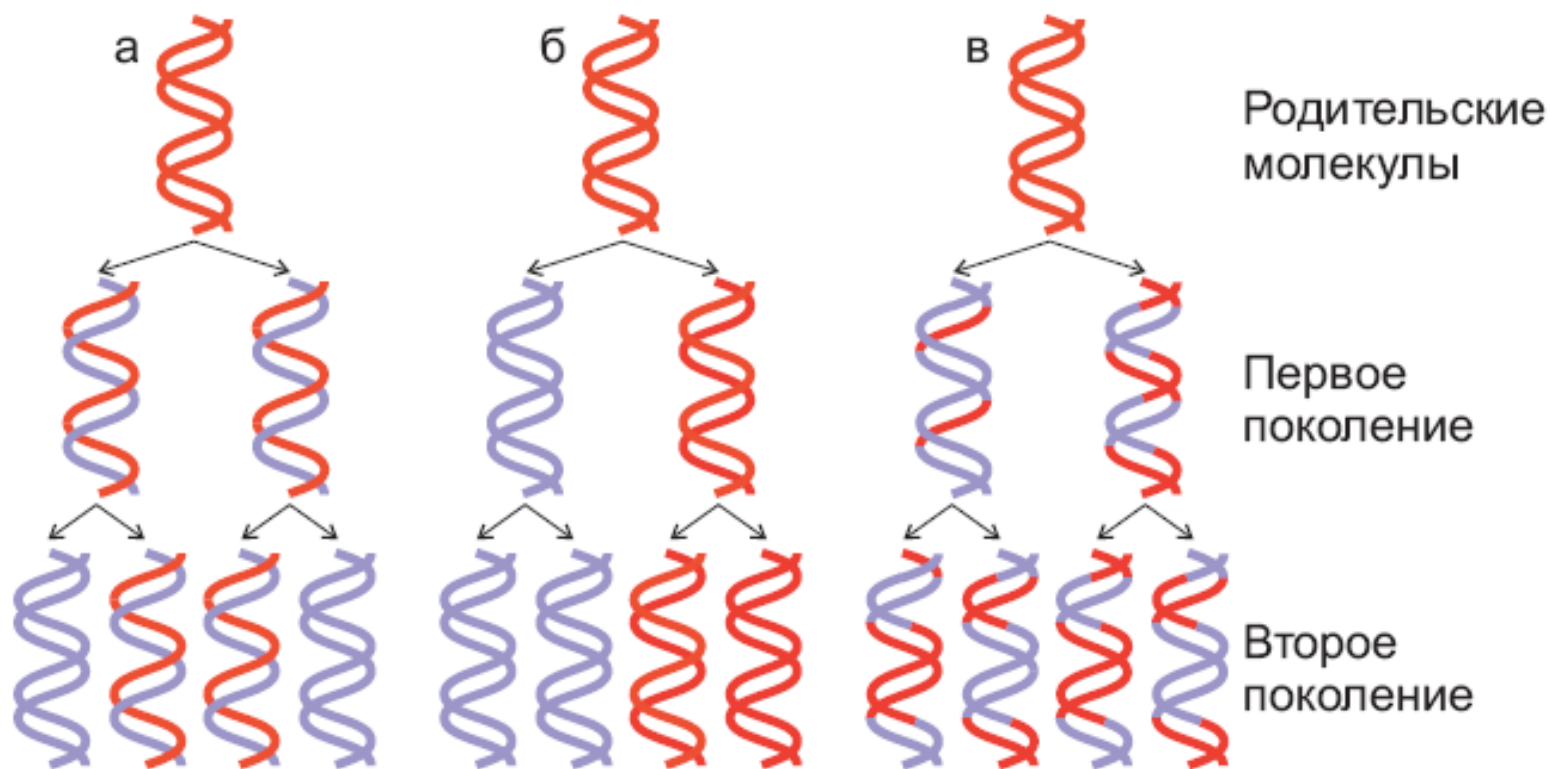


Рис. 6.6. Модели репликации ДНК:

а - полуконсервативная,

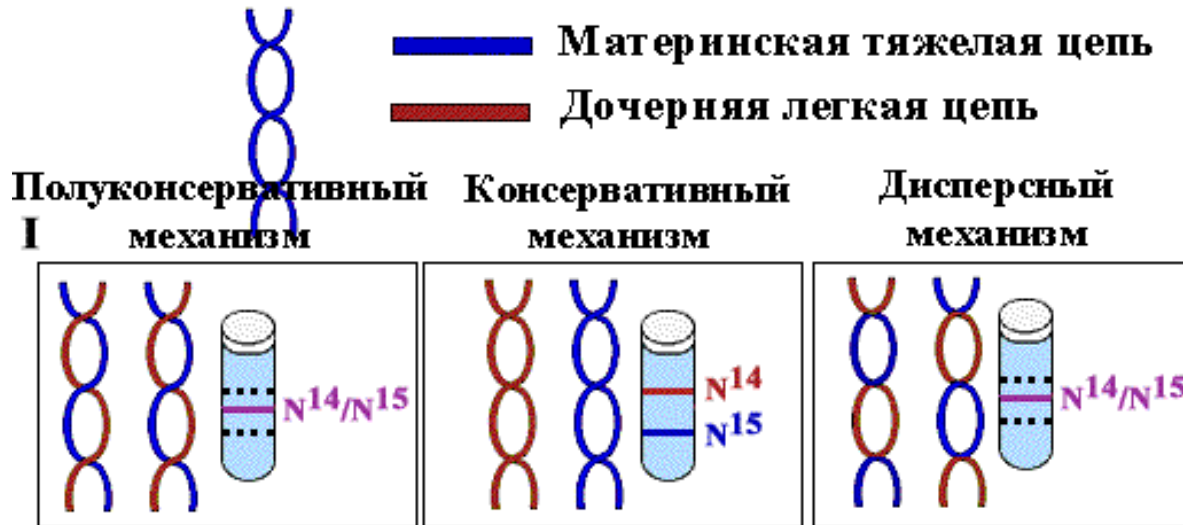
б - консервативная,

в - дисперсионная.

Родительские цепи изображены в виде красных лент, вновь синтезированные показаны синим цветом. (Из: Russell, 1998, p.345).

Доказательство полуконсервативного характера репликации

Мэтт Мезельсон и Фрэнк Сталь в 1958г. разработали метод равновесного центрифугирования в градиенте плотности CsCl.



Полуконсервативность означает, что каждая дочерняя ДНК состоит из одной матричной цепи и одной вновь синтезированной.



Ферментативная система синтеза ДНК *in vitro*

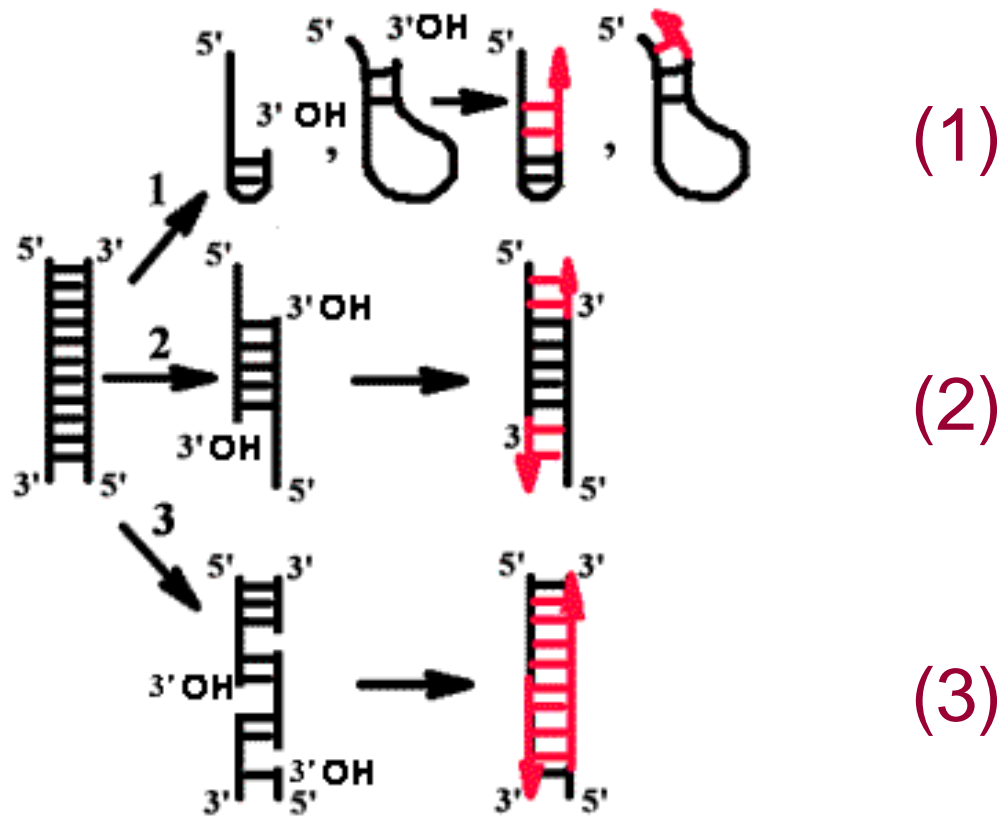
В 1956 г. Артур Корнберг наработал 100 кг биомассы *E. coli* и выделил 0.5 г фермента ДНК-полимеразы.

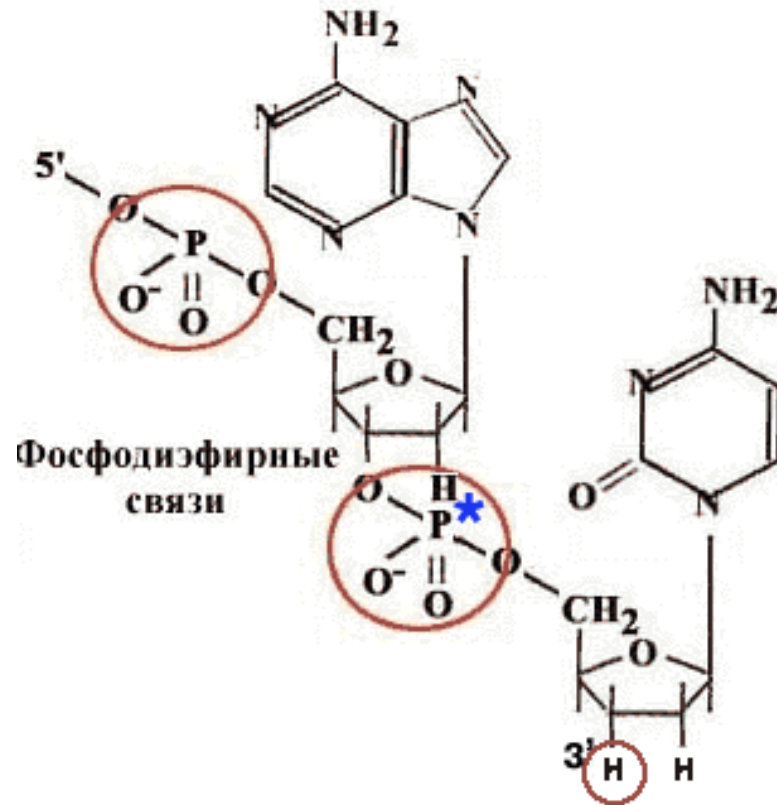
Он показал, что для синтеза ДНК *in vitro* необходимы следующие компоненты :

1. ДНК-матрица - образец, по которому строится новая цепь ДНК.
2. Активированные нуклеотиды (dATФ, dГТФ, dТТФ, dЦТФ) - то, из чего строятся дочерние цепи.
3. ДНК-полимераза - то, что строит новую цепь ДНК.
4. Ионы магния - то, без чего фермент не работает.

Затравкой для репликации является 3'-гидроксильный конец двуцепочечной ДНК, причем он должен быть спарен с матрицей.

Нативная двухцепочечная ДНК не может быть использована в системе синтеза *in vitro*. Активировать её можно следующими способами:





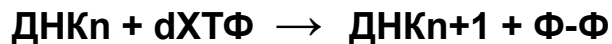
Меченный по фосфору дидезоксинуклеозидтрифосфат без 3'-гидроксильного конца.

Это также доказывает и униполярность репликации в направлении 5' → 3'.

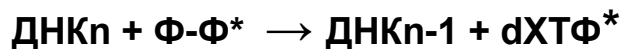
ДНК-полимераза Корнберга (ДНК-полимераза I)

Обладает 4-мя разными каталитическими активностями:

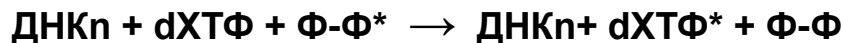
1. *Полимеризационная* в направлении $5' \rightarrow 3'$.



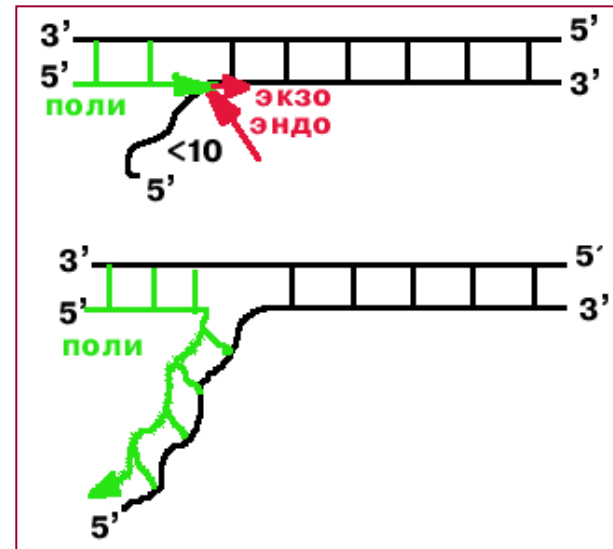
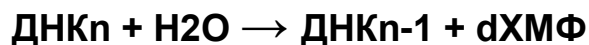
2. *Пирофосфоролиз*:



3. *Пирофосфатный обмен*:



4. *Гидролитическая активность*:



Корректорская функция фермента



Расщепление полимеразы трипсином

Схемы репликации ДНК in vivo

1960 г. Гипотетическая модель непрерывной антипараллельной репликации in vivo Корнберга

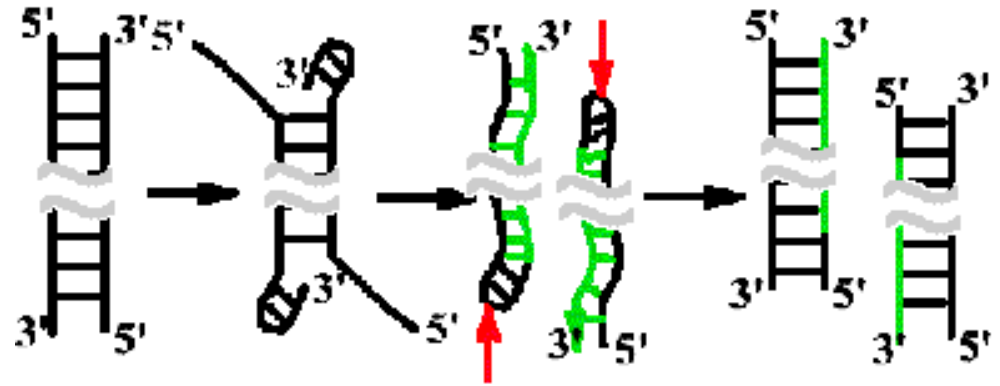
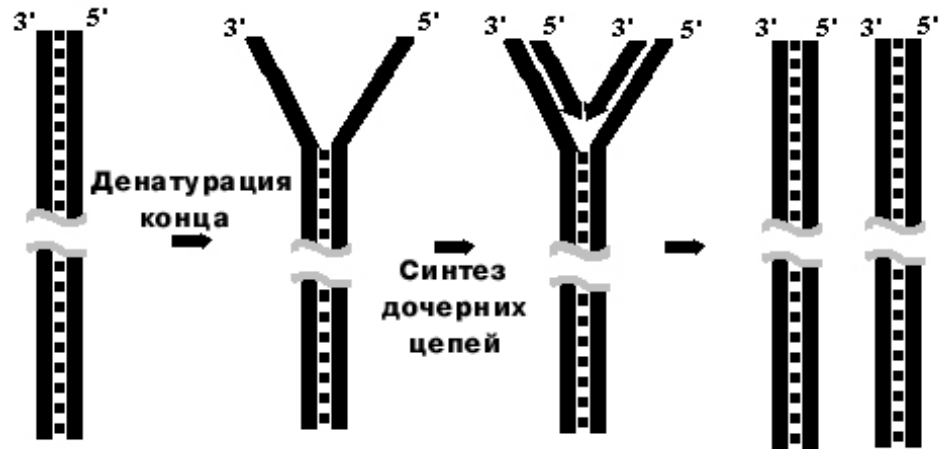


Схема параллельной репликации Джона Кэрнса

непрерывной репликации



ДНК-полимеразы E. coli

Свойства	ДНК-полимераза I	ДНК-полимераза II	ДНК-полимераза III
Полимеризация в 5' 3' направлении		+	
Гидролитическая активность 3' 5'		+	
Гидролитическая активность 5' 3'	+	-	-
Потребность в матрице-затравке:		+	
Нативная двуцепочечная ДНК		-	
Одноцепочечная ДНК с олигонуклеотидной затравкой	+	-	-
2-х цепочечная ДНК с ником	+	-	-
или с пробелом меньше 100 нуклеотидов	+	+	+
или с пробелом больше 100 нуклеотидов	+	-	-
Число молекул на клетку	250	100	20
Функция	Вспомогательная: репарацию при репликации	Имеет отношение только к репарации	Репликаза

Схемы репликации ДНК in vivo

1960 г. Гипотетическая модель непрерывной антипараллельной репликации in vivo Корнберга

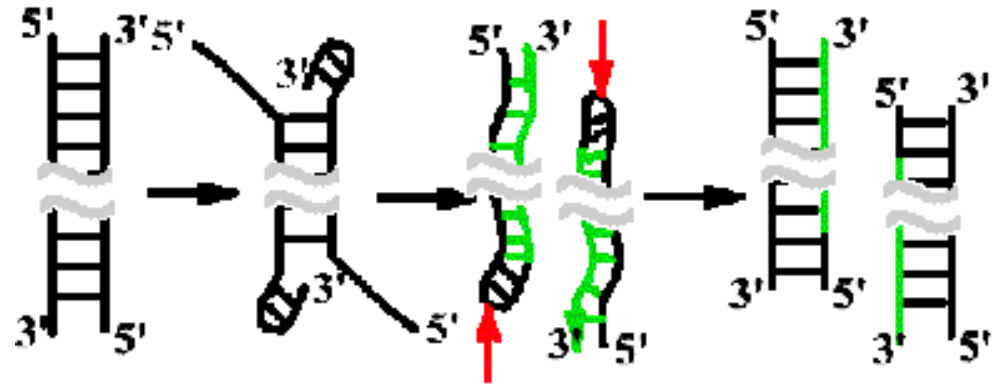


Схема параллельной репликации Джона Кэрнса

непрерывной репликации

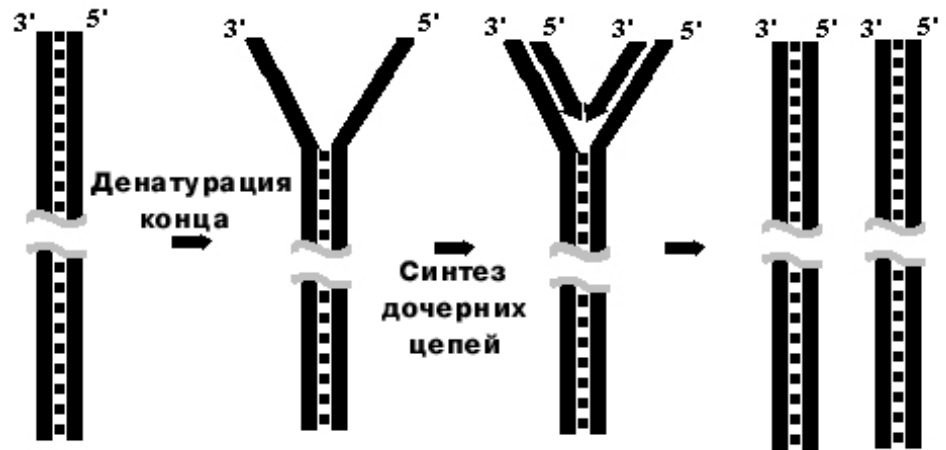
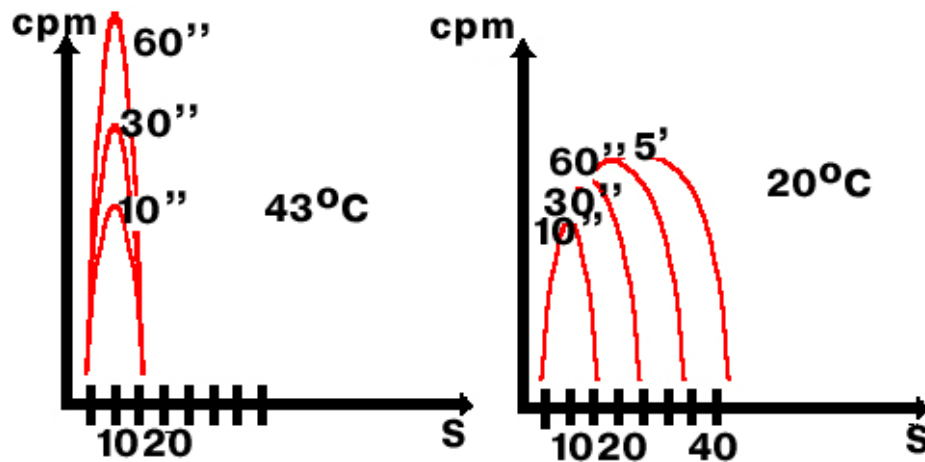


Схема прерывистой антипараллельной репликации Рейджи Оказаки (1968 г.)

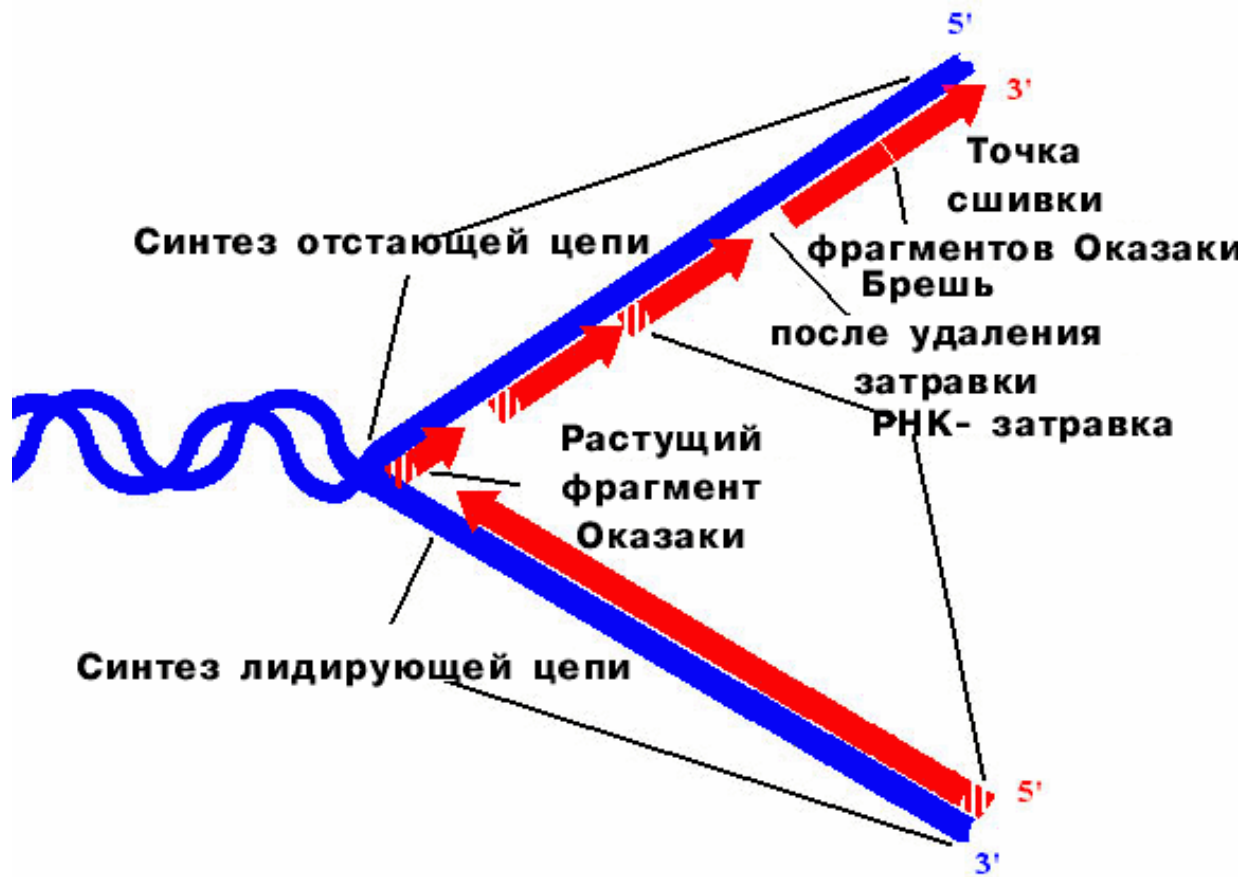
Оказаки специально разработал два новых метода исследования:

1. *Метод импульсного мечения.*
2. *Центрифугирование в щелочном градиенте сахарозы*



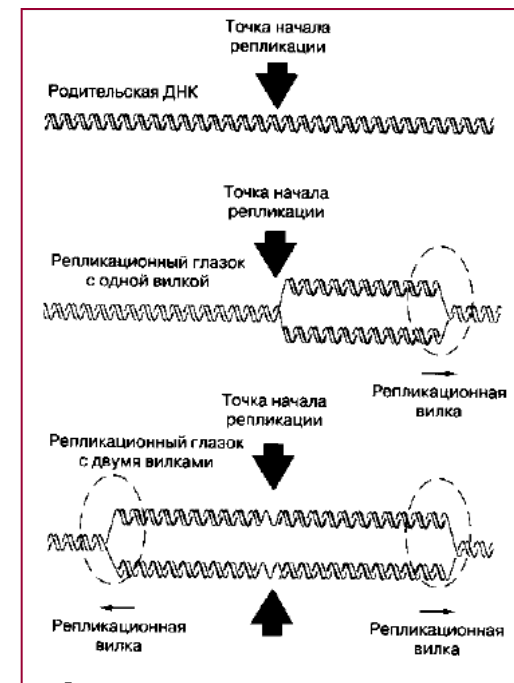
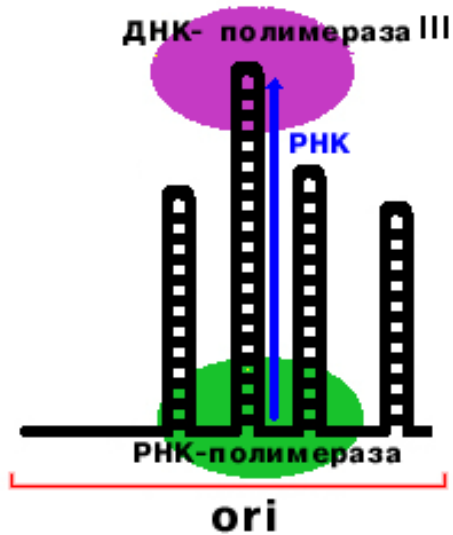
Синтез ДНК идет короткими фрагментами и короткие фрагменты должны сшиваться ферментом лигазой.

Репликация осуществляется неравномерно



У бактерий и высших организмов одна цепь образуется непрерывно, а другая - прерывисто (лидирующая и запаздывающая цепи).

Origin (ori) - район начала репликации



У бактерий обнаружен фермент праймаза



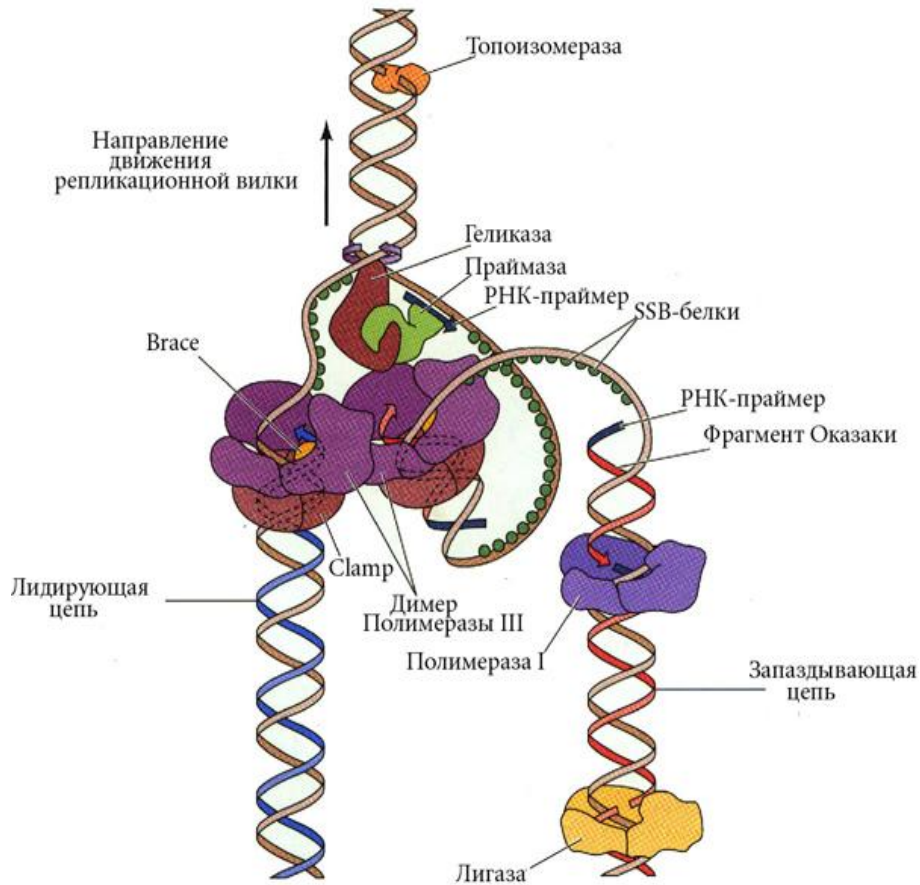
Как формируется затравка?

1974 г. Оказаки

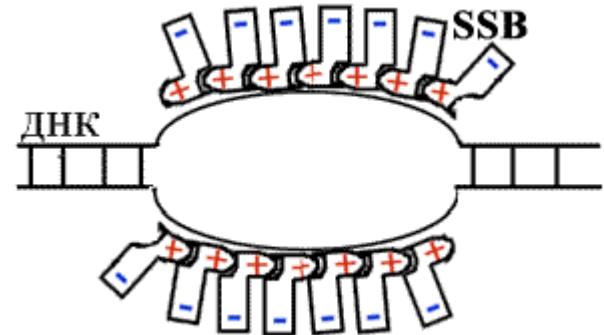
Рифампицин - ингибитор бактериальной РНК-полимеразы (на стадии инициации).

Его добавление блокирует не только транскрипцию, но и репликацию. Значит в процессе репликации должна участвовать РНК-полимераза.

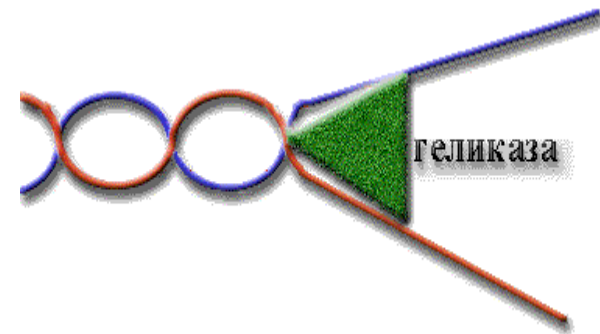
Факторы репликации



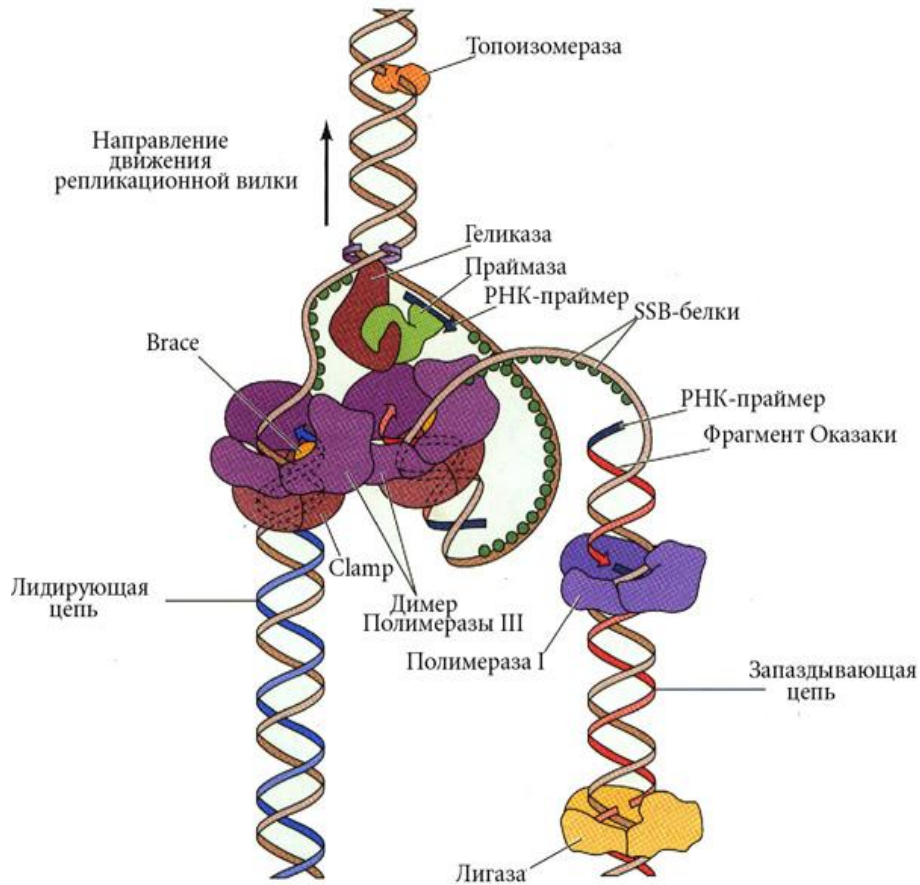
SSB – белки (single strand bind),
или белки Альбертса



Геликазы

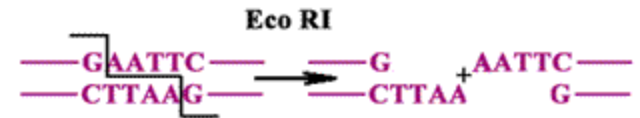


Факторы репликации



Топоизомеразы

Гиразы



Релаксазы

Репликация ДНК

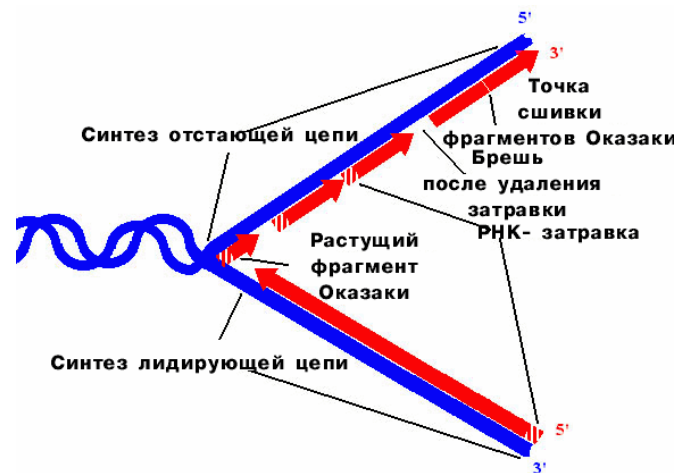
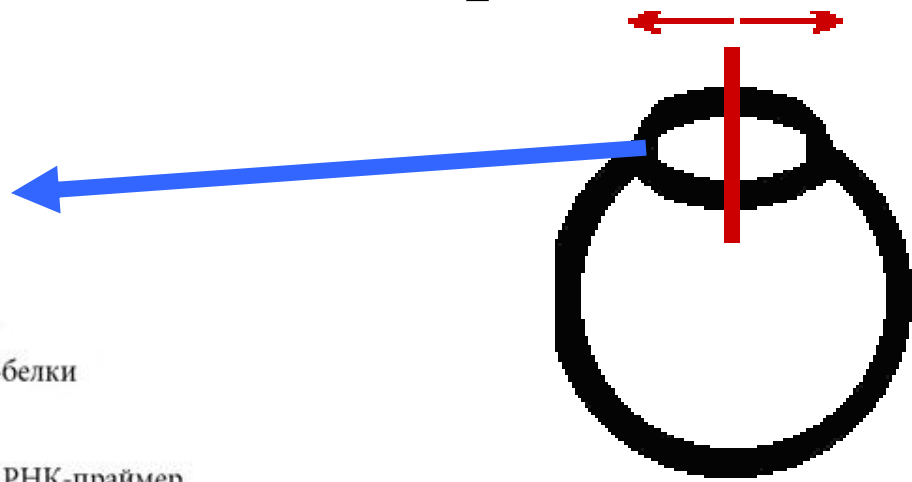
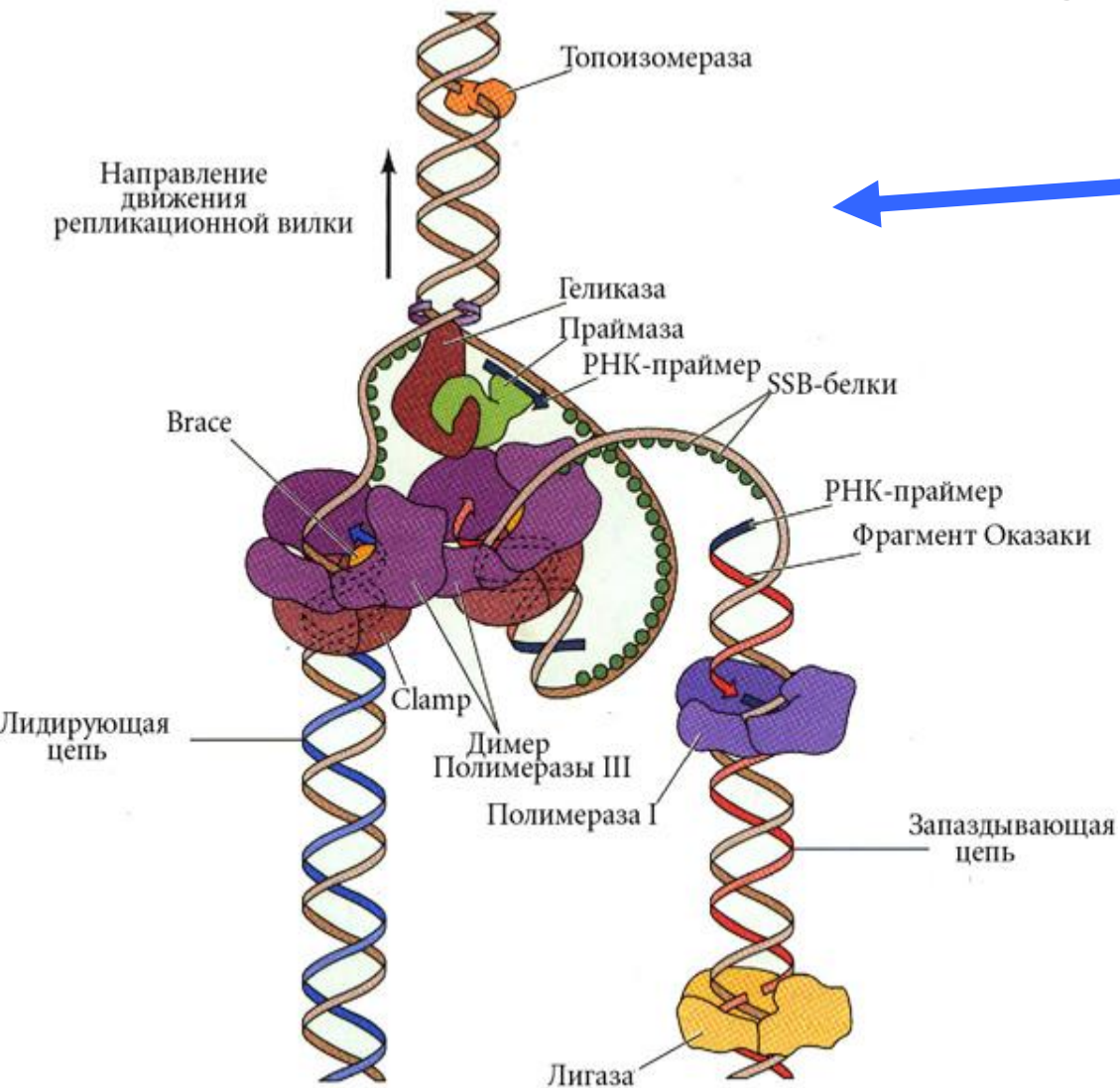
- процесс, осуществляемый комплексом ферментов и белков, суть которого в образовании идентичных копий ДНК для передачи генетической информации в поколениях клеток и организмов.

Принципы репликации

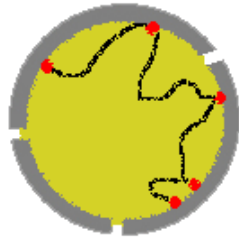
1. *Комплементарность.*
2. *Антипараллельность.*
3. *Униполярность.*
4. *Потребность в затравке.*
5. *Прерывистость.*
6. *Полуконсервативность.*

Синтез каждой дочерней цепи ДНК идет комплементарно и антипараллельно матричной цепи и всегда в направлении 5' → 3'.

Схема репликации



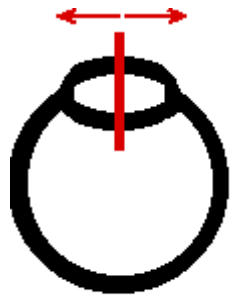
Особенности репликации ДНК эукариот



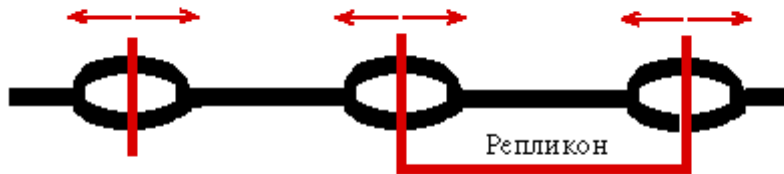
Формируется множество ori.

ARS (autonomously replicating sequences)

Каждая эукариотическая хромосома - полирепликон.



E. coli



Эукариоты

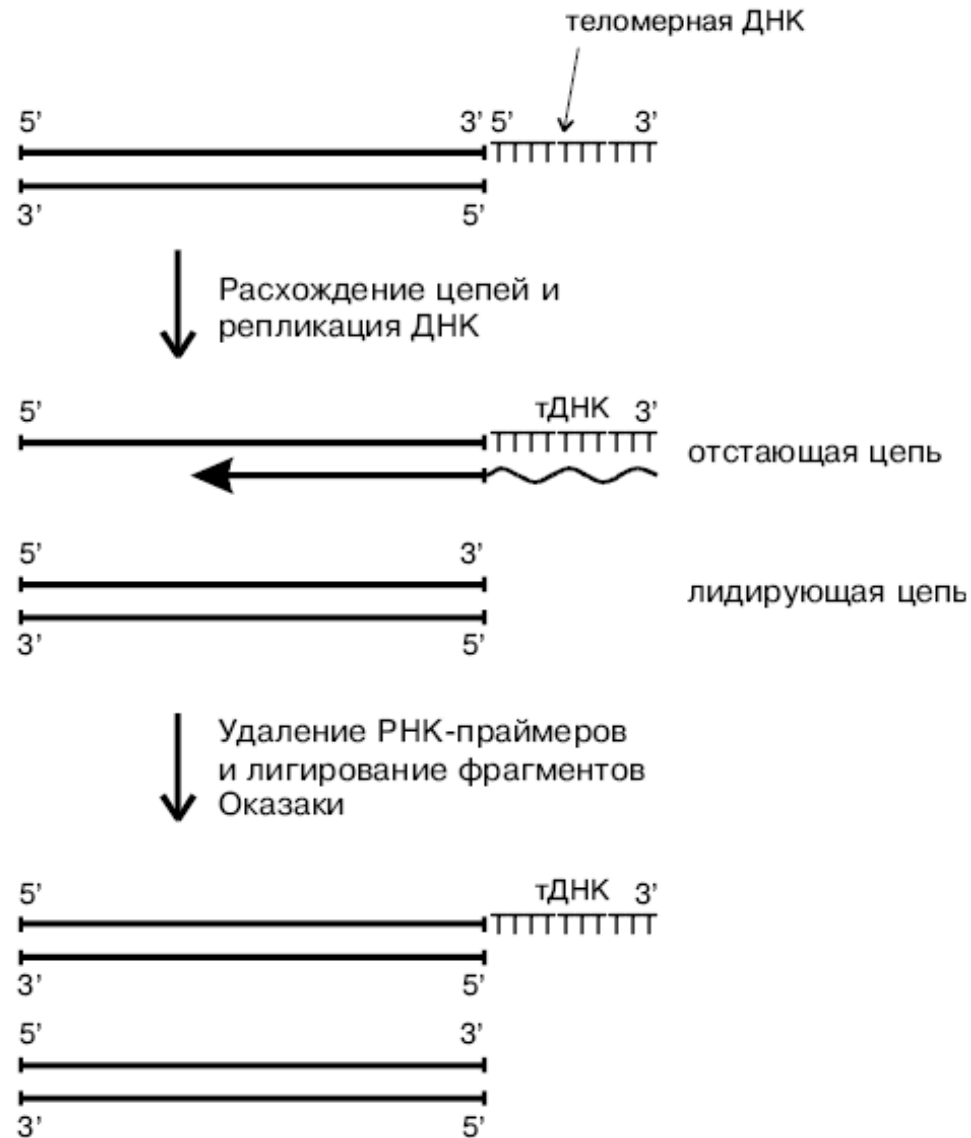
Репликон - участок ДНК между двумя ori.

Организм	Количество репликонов	Средний размер репликона, тыс.п.н.	Скорость движения репликативной вилки п.н./мин.
E.coli	1	4200	50000
Дрожжи	500	40	3600
Дрозофила	3500	40	2600
Ксенопус (лягушка)	15000	200	500
Мышь	25000	150	2200
Бобы	35000	300	2200

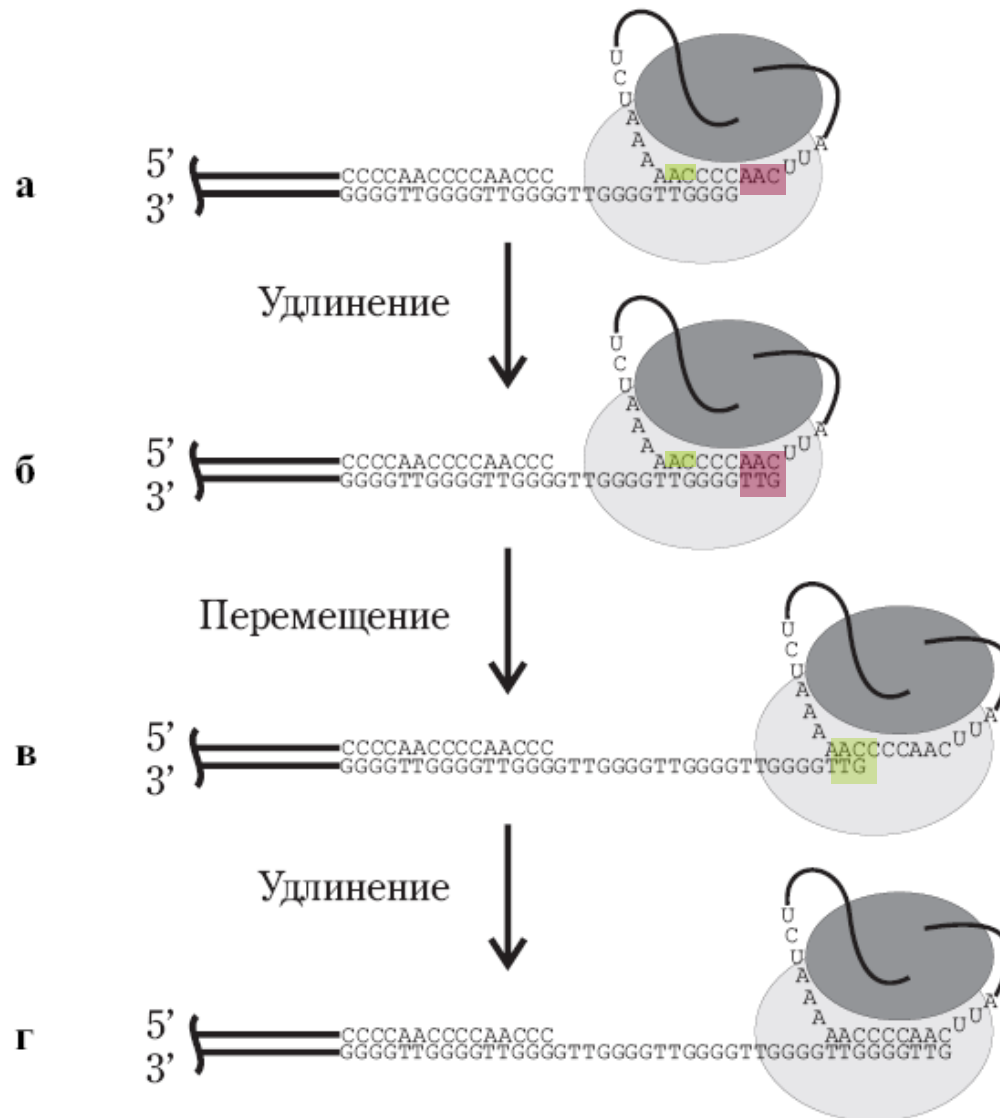
Табл. 9.4. Теломерные повторы в хромосомах некоторых видов (частично из: Blackburn, Greider, 1995, p. 12-13)

Вид	Последовательность нуклеотидов (5'-3')
Простейшие <i>Euplotes</i>	TTTTGGGG
Слизневые грибы <i>Phusarum</i>	TTTAGGG
Жгутиковые <i>Trypanosoma</i>	TTAGGG
Споровики <i>Plasmodium</i>	TT(T/C)AGGG
Грибы <i>Neurospora</i>	TTAGGG
	<i>Candida maltosa</i>
Нематоды <i>Ascaris</i>	TTAGGC
Насекомые <i>Bombyx mori</i>	TTAGG
Водоросли <i>Chlamidomonas</i>	TTTTAGGG
Высшие растения <i>Arabidopsis</i>	TTTAGGG
Позвоночные животные <i>Homo sapiens</i>	TTAGGG

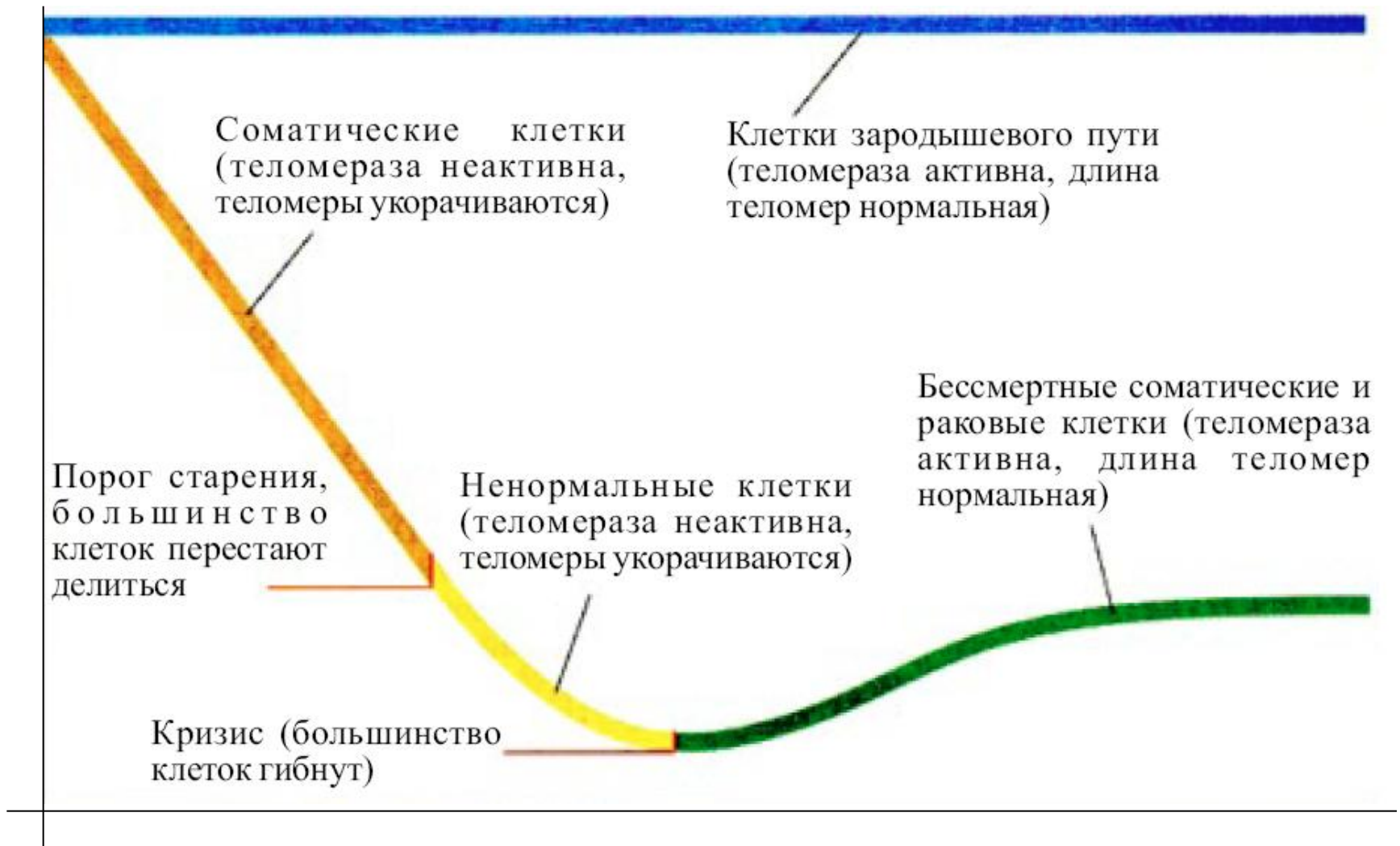
Схема репликации концевой участка отстающей цепи ДНК



Удлинение теломерного повтора с помощью фермента теломеразы



Изменение длины теломер у человека (Из: Greider, Blackburn, 1996)



По оси абсцисс - число клеточных делений, по оси ординат - длина теломеры

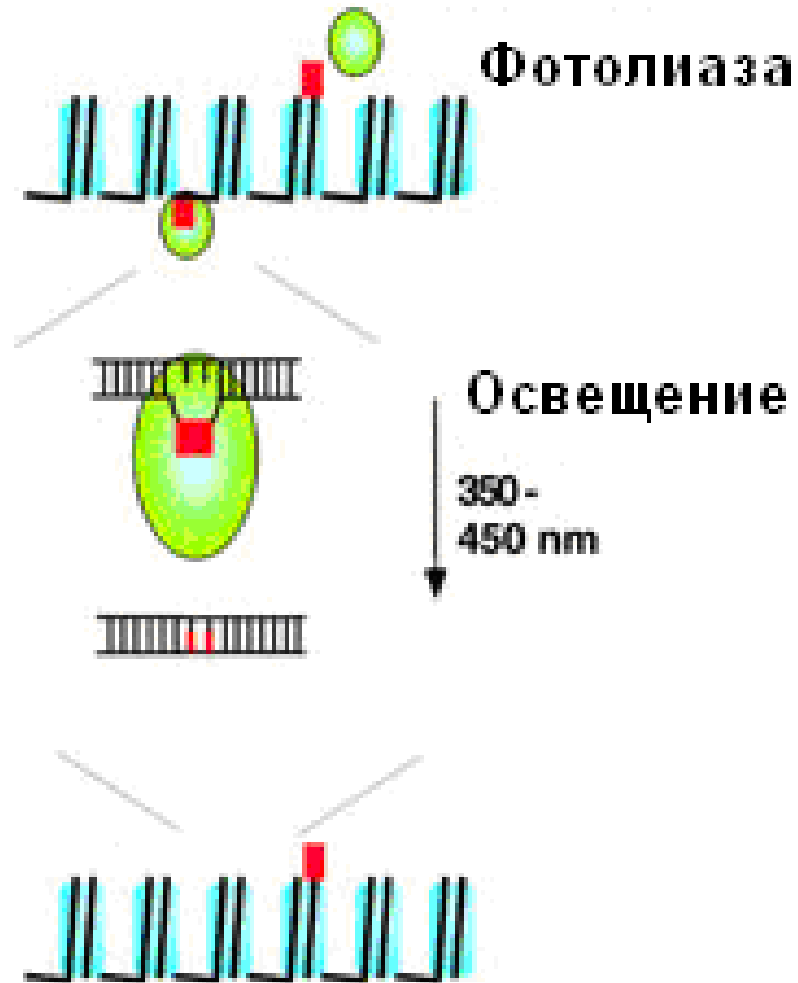
Репарация - особая функция клеток, заключающаяся в способности исправлять химические повреждения и разрывы в молекулах ДНК, повреждённой при нормальном биосинтезе ДНК в клетке или в результате воздействия физическими или химическими агентами.

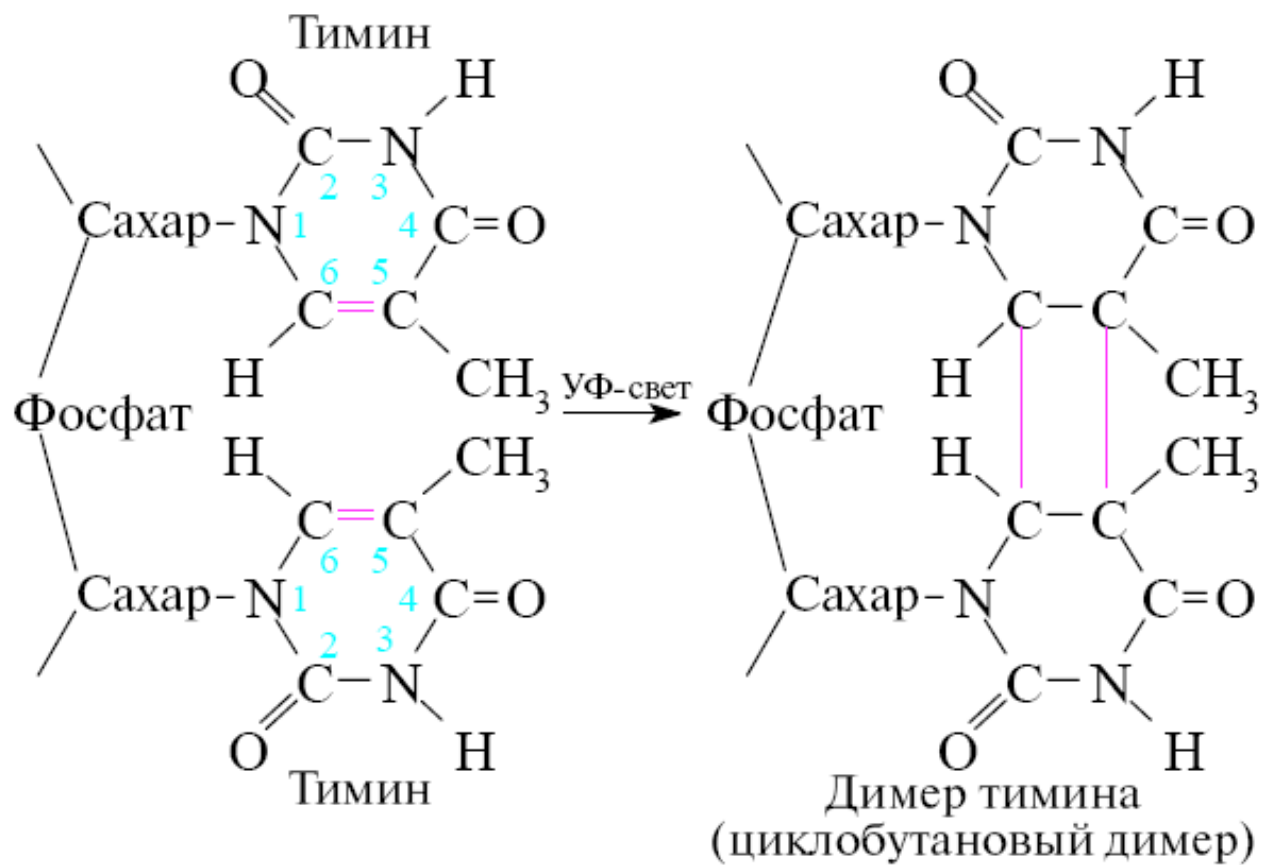
Осуществляется специальными ферментными системами клетки.

Ряд наследственных болезней (напр., пигментная ксеродерма) связан с нарушениями систем репарации.

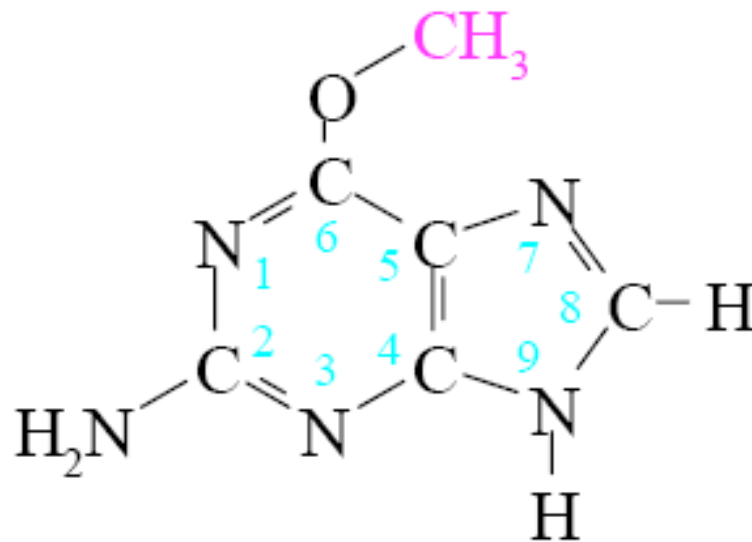
Прямая репарация

Фотореактивация





Репарация O⁶-алкилированного гуанина



Осуществляет белок метилтрансфераза

Репарация однонитевых разрывов ДНК

Осуществляет фермент лигаза

Репарация AP-сайтов за счет прямой вставки пуринов.

Осуществляют ферменты инсертазы

Экцизионная репарация

Экцизионная репарация оснований

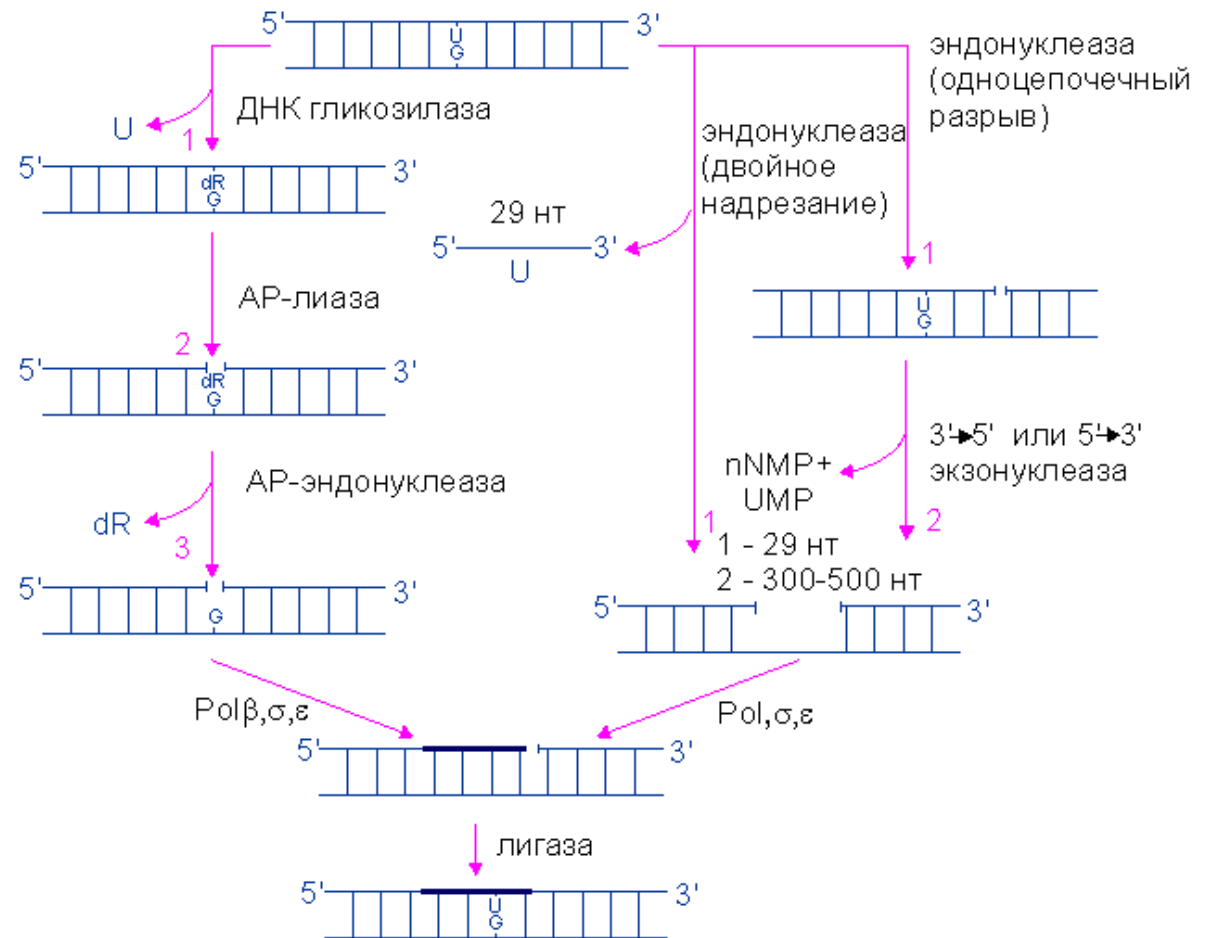
Гликозилаза

Эндонуклеаза

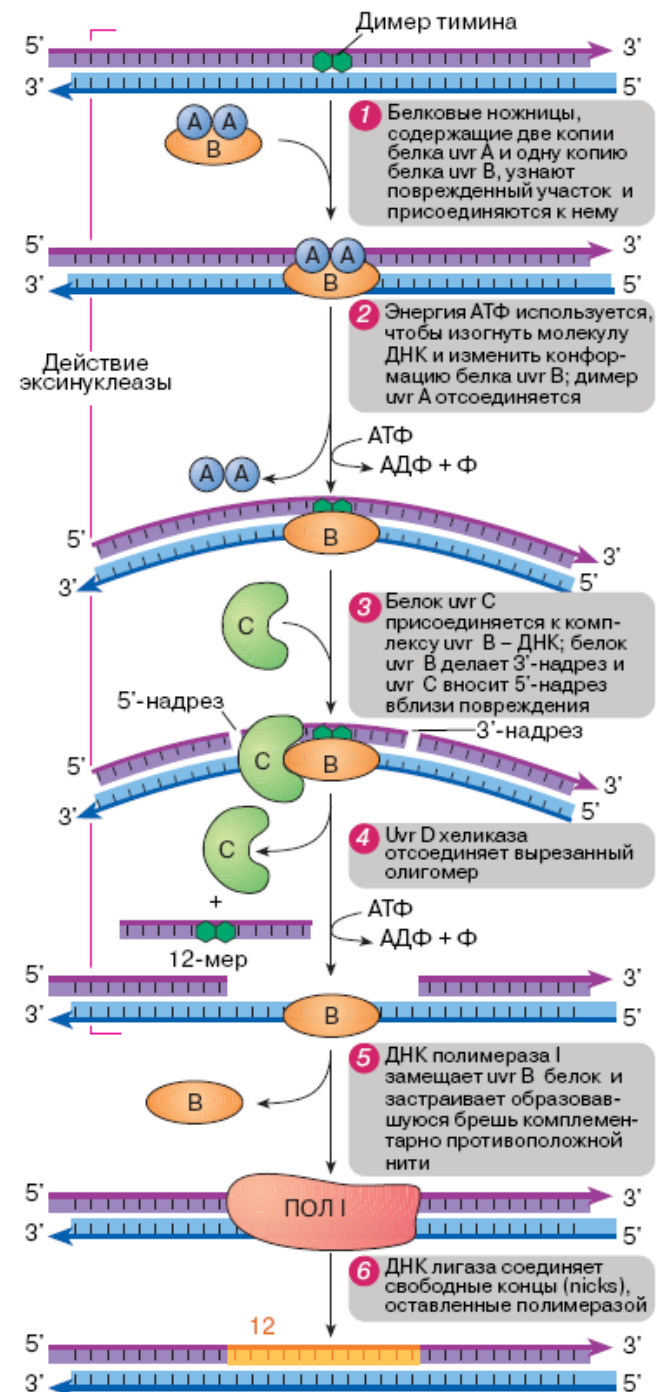
Фосфодиэстераза

ДНК-полимераза I

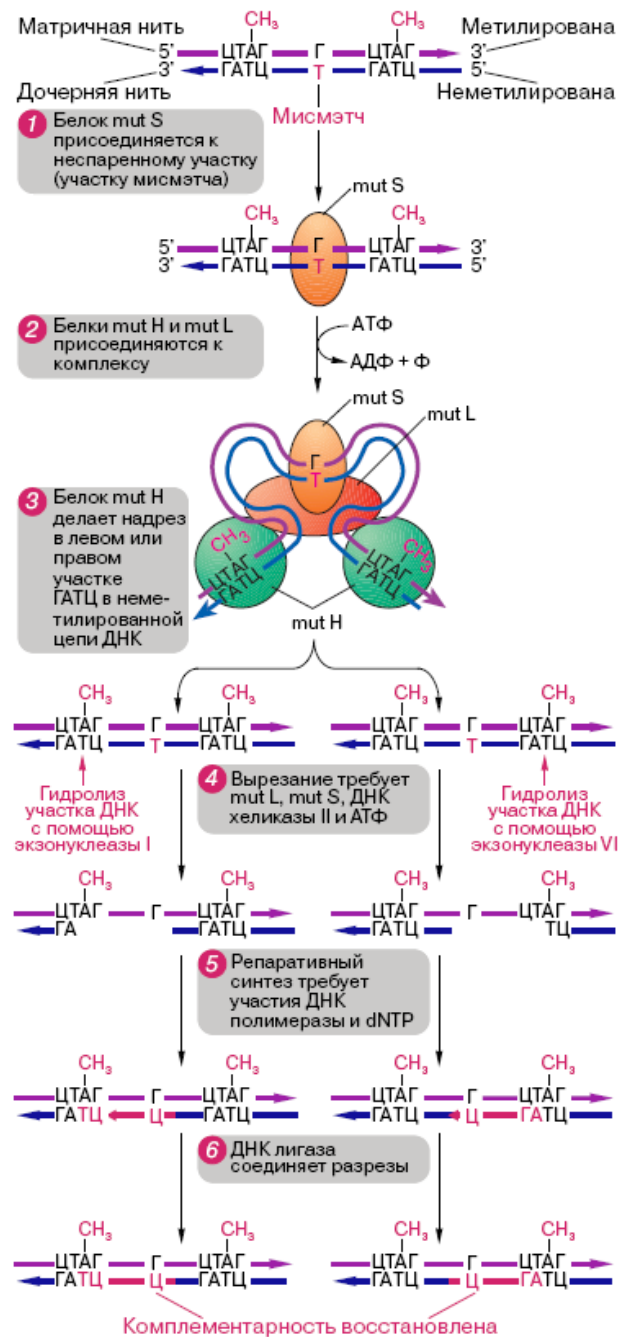
Лигаза



Экцизионная репарация нуклеотидов

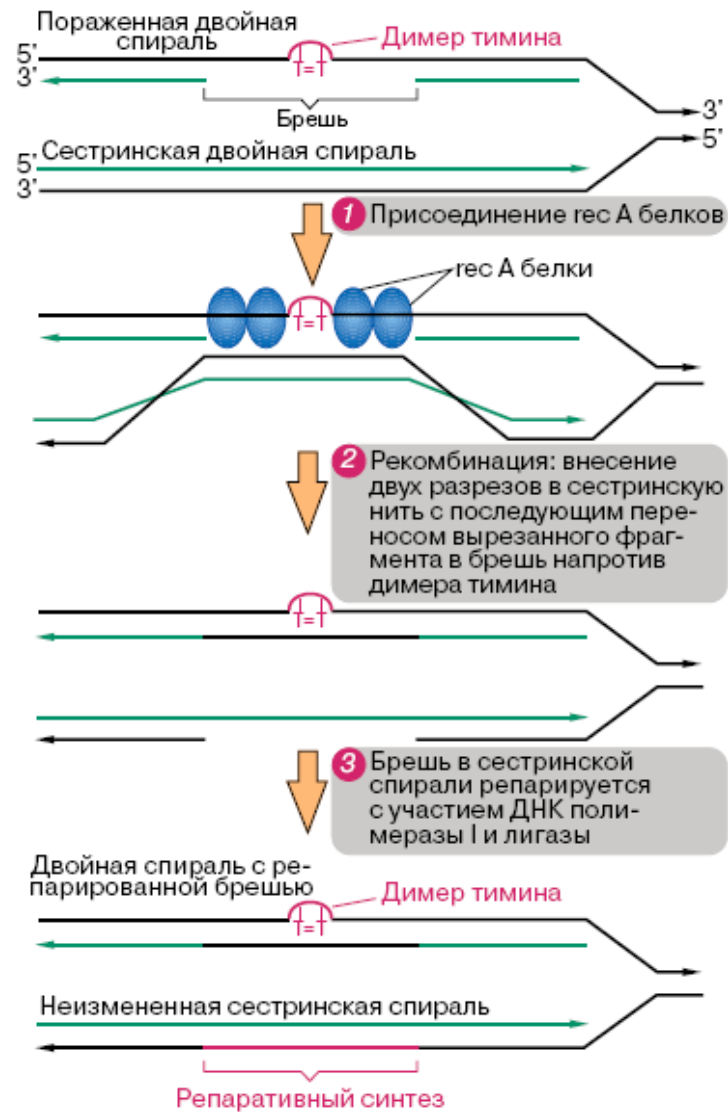


Репарация неспаренных оснований (мисмэтчей)



Пострепликативная (рекомбинационная репарация)

Осуществляют ферменты эксинуклеазы



SOS -репарация

Распространенность репарирующих систем

Тип репарации	Бактерии	Растения	Насекомые	Животные	Человек
Фотореактивация	+	+	+	+	+
Репарация O ⁶ -гуанинов	+	+	+	+	?
Эксцизионная репарация оснований	+	?	?	+	+
Эксцизионная репарация нуклеотидов	+	+	+	+	+
Мисмэтч-репарация	+	?	?	+	+
Пострепликативная репарация	+	+	?	+	+
SOS-репарация	+	?	?	+	+

Генетическая рекомбинация - это перераспределение генетического материала (ДНК), приводящее к возникновению новых комбинаций генов.

Рекомбинация может происходить путем обмена клеточными ядрами, целыми молекулами ДНК или частями молекул.

Понятие "рекомбинация" включает большой набор разных по своей природе явлений.

Для всех рекомбинационных процессов характерен этап, на котором молекулы ДНК вступают в контакт в участке, где произойдет обмен полинуклеотидными цепями. Этот этап получил название "**синапсис**".

Однако механизм синапсиса при разных типах рекомбинации принципиально различен. Более того, он является одним из критериев при классификации рекомбинационных явлений.

Гомологичная, или общая рекомбинация (кроссинговер)

Основана на спаривании
комплементарных цепей ДНК

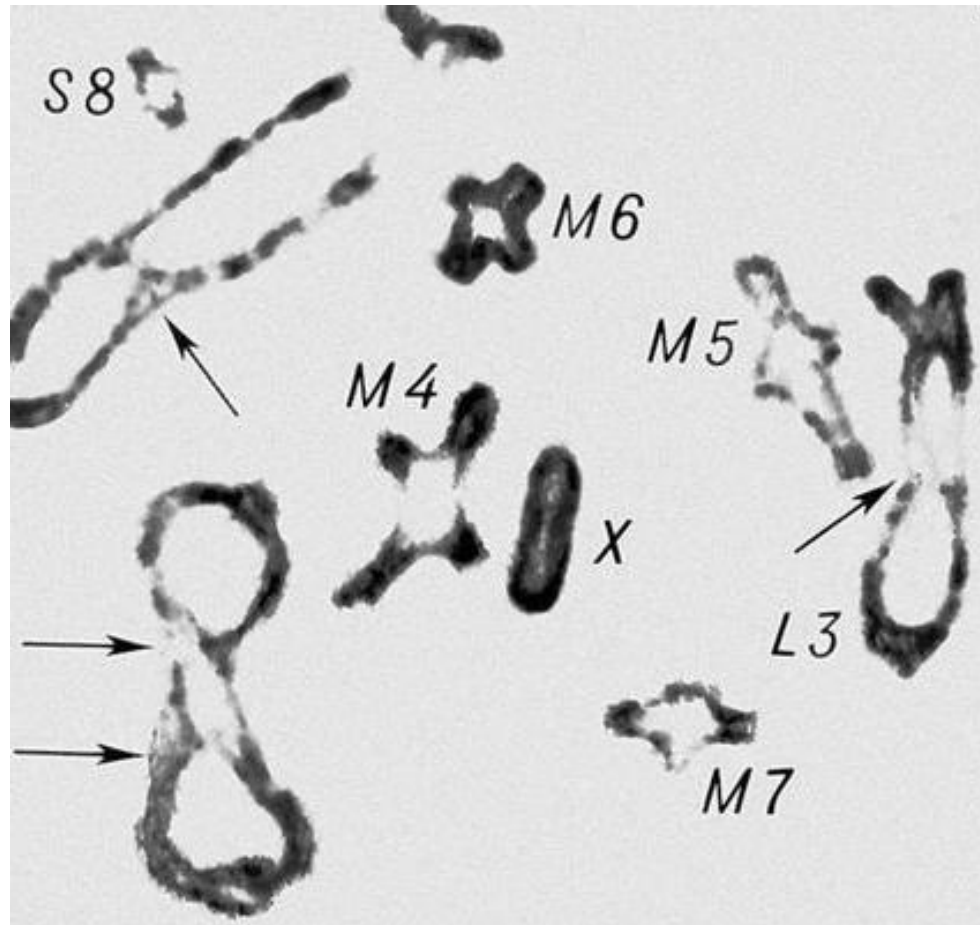
Условие: необходимость в
общей (по всей длине молекул)
гомологии между
рекомбинирующими ДНК.

Результат: обмен равными
частями гомологичных молекул.

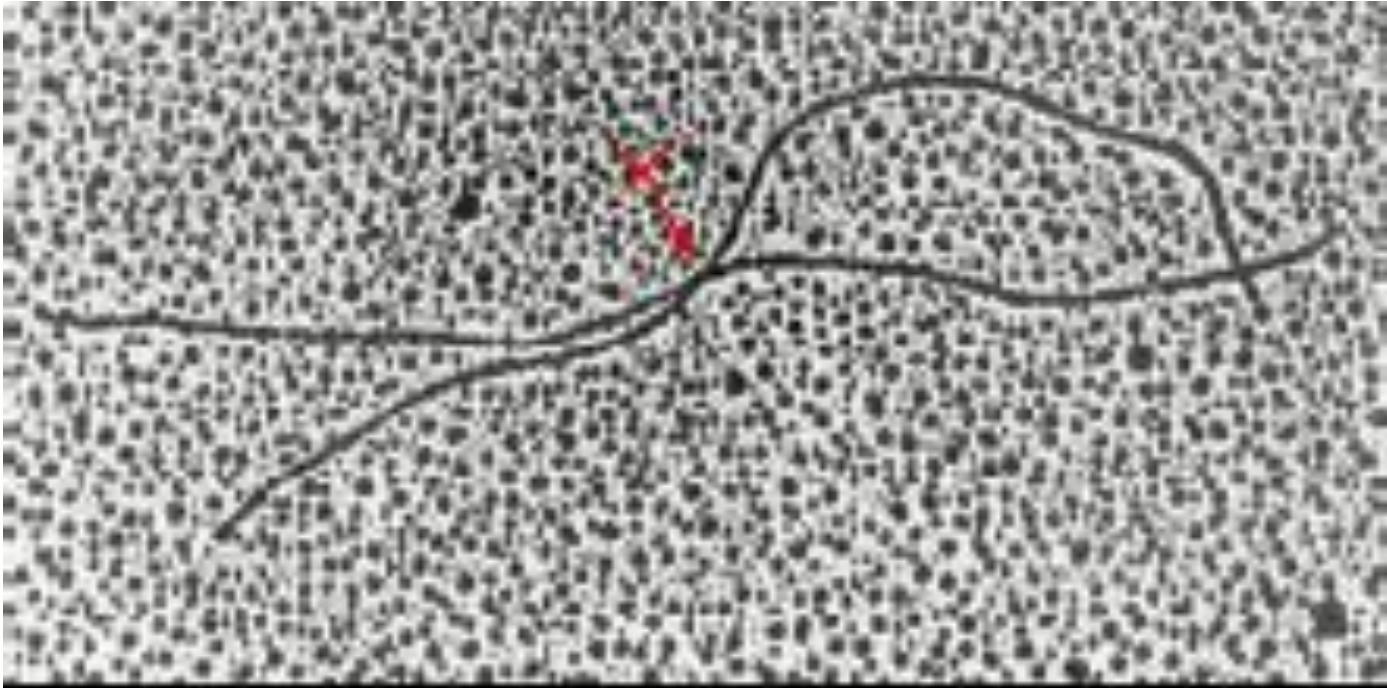
В процессе участвует большой
набор специальных белков

Негомологичная рекомбинация

1. Сайт-специфическая
рекомбинация
2. Транспозиции
3. Незаконная
рекомбинация

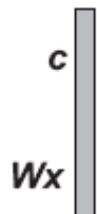


Хиазмы в диплотене у кузнечика

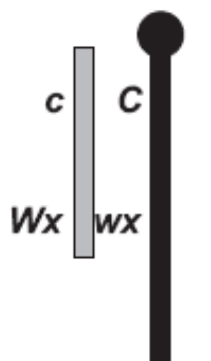


Электронно-микроскопическая
фотография полухиазмы Холлидея

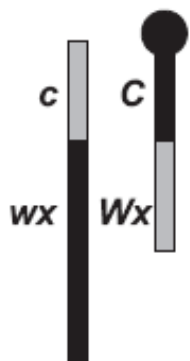
Хромосома дикого
типа имеет *c* и *Wx*



Мутантная хромосома
имеет "кноп" около *C*,
транслокацию около *wx*



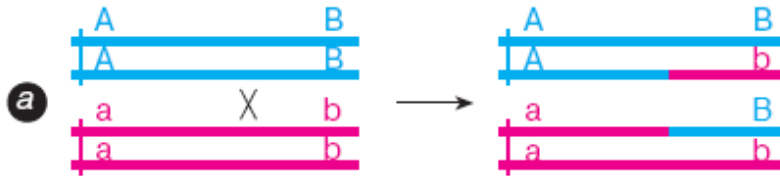
Родительские
хромосомы



Кроссоверные
хромосомы
потомков

Рис 3.3. Схема кроссинговера в IX паре хромосом кукурузы в опытах Крейтона и МакКлинток (из: Lewin, 1994, p. 68)

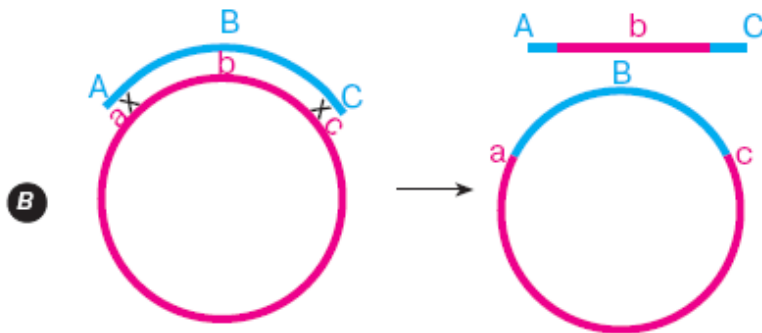
Схемы гомологичной рекомбинации



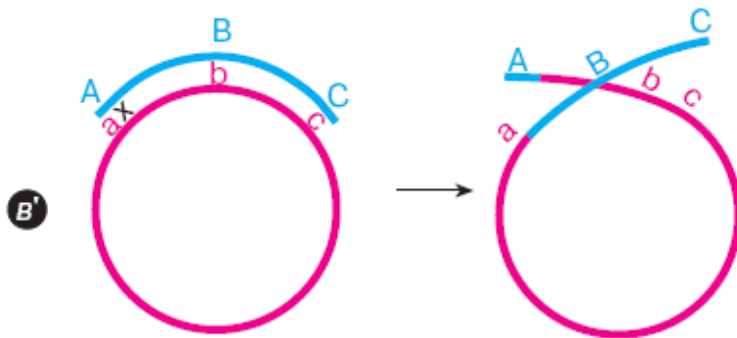
Кроссинговер в профазе I
деления мейоза



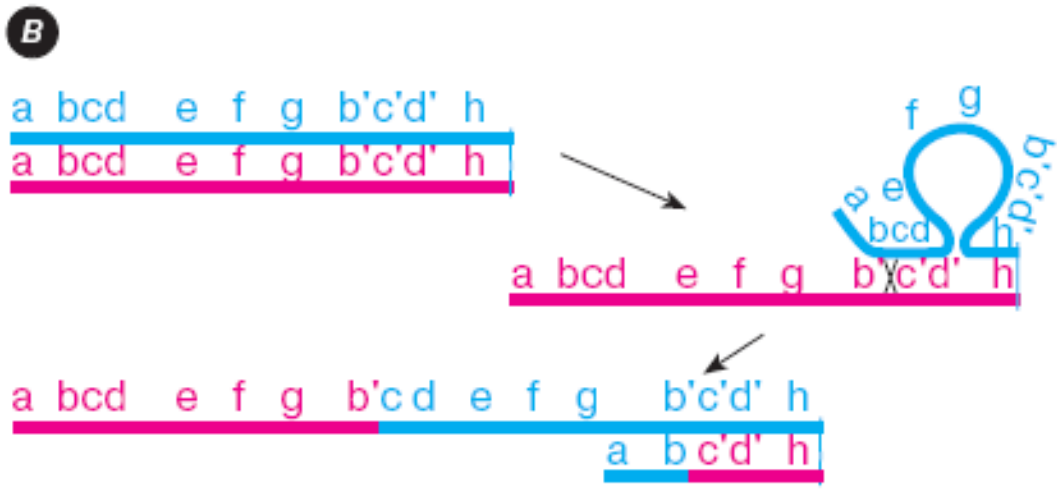
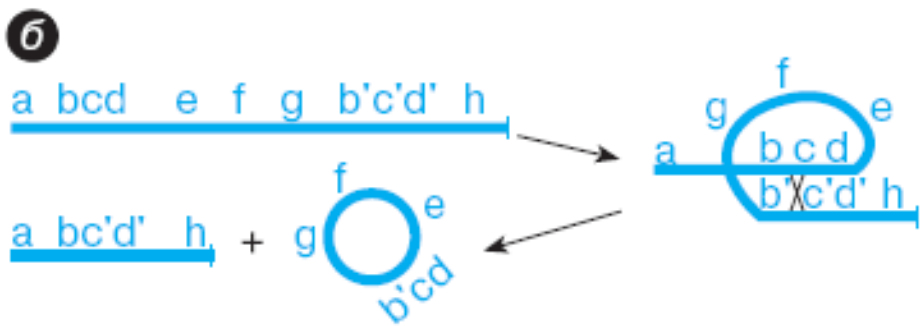
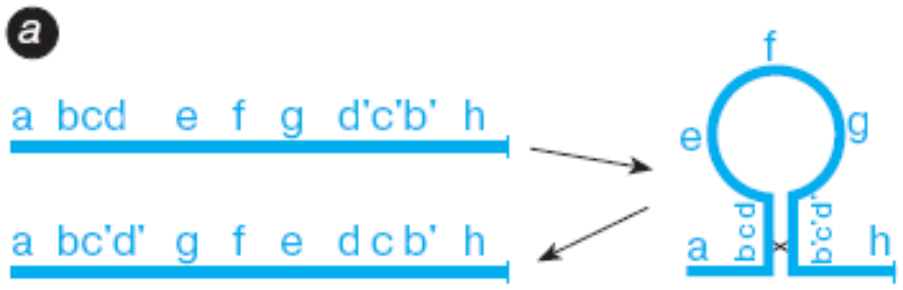
Кроссинговер в соматической
клетке на стадии G1
клеточного цикла



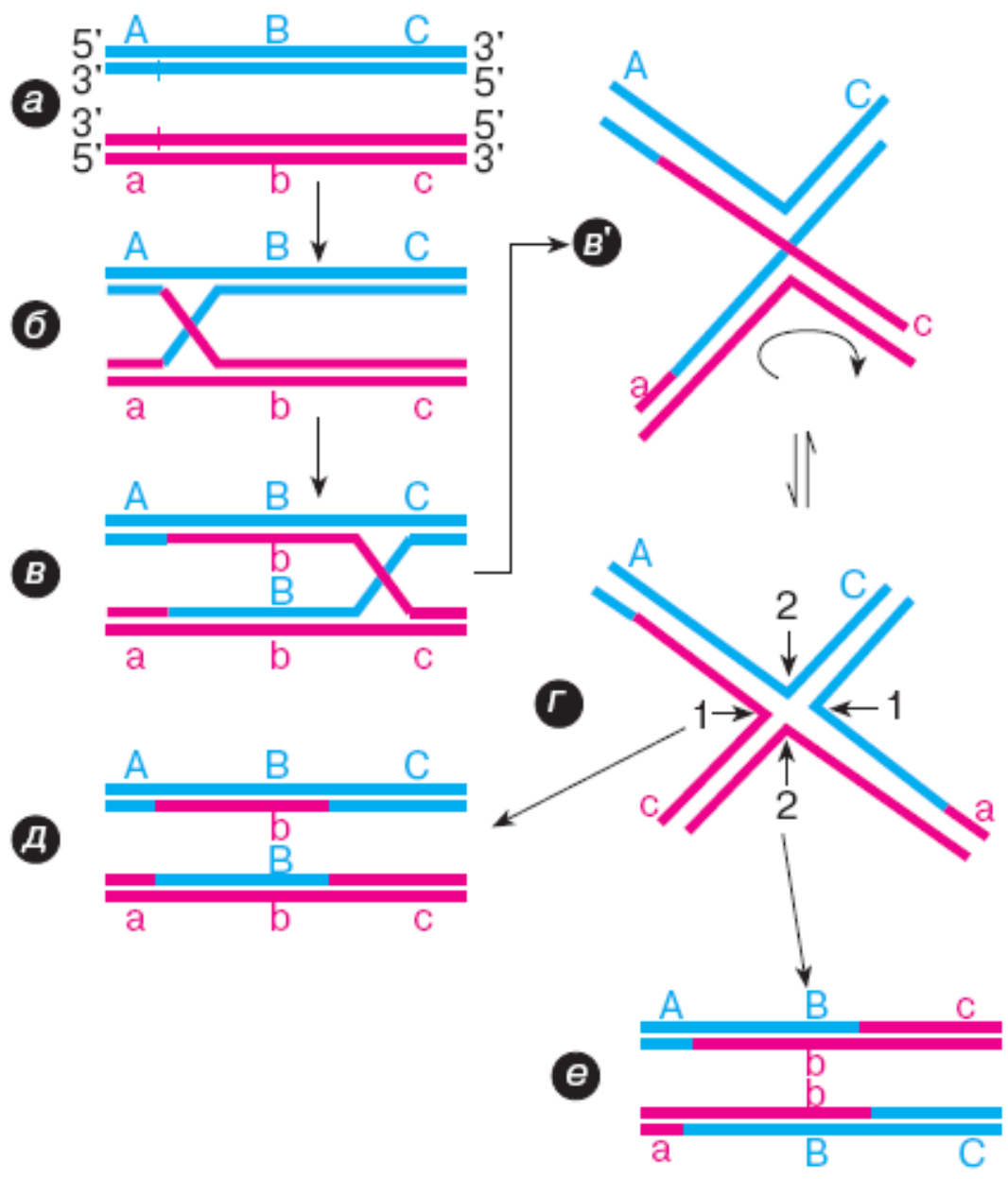
Кроссинговер в клетке кишечной
палочки *Escherichia coli*



Схемы возможных перестроек хромосом между повторяющимися последовательностями ДНК

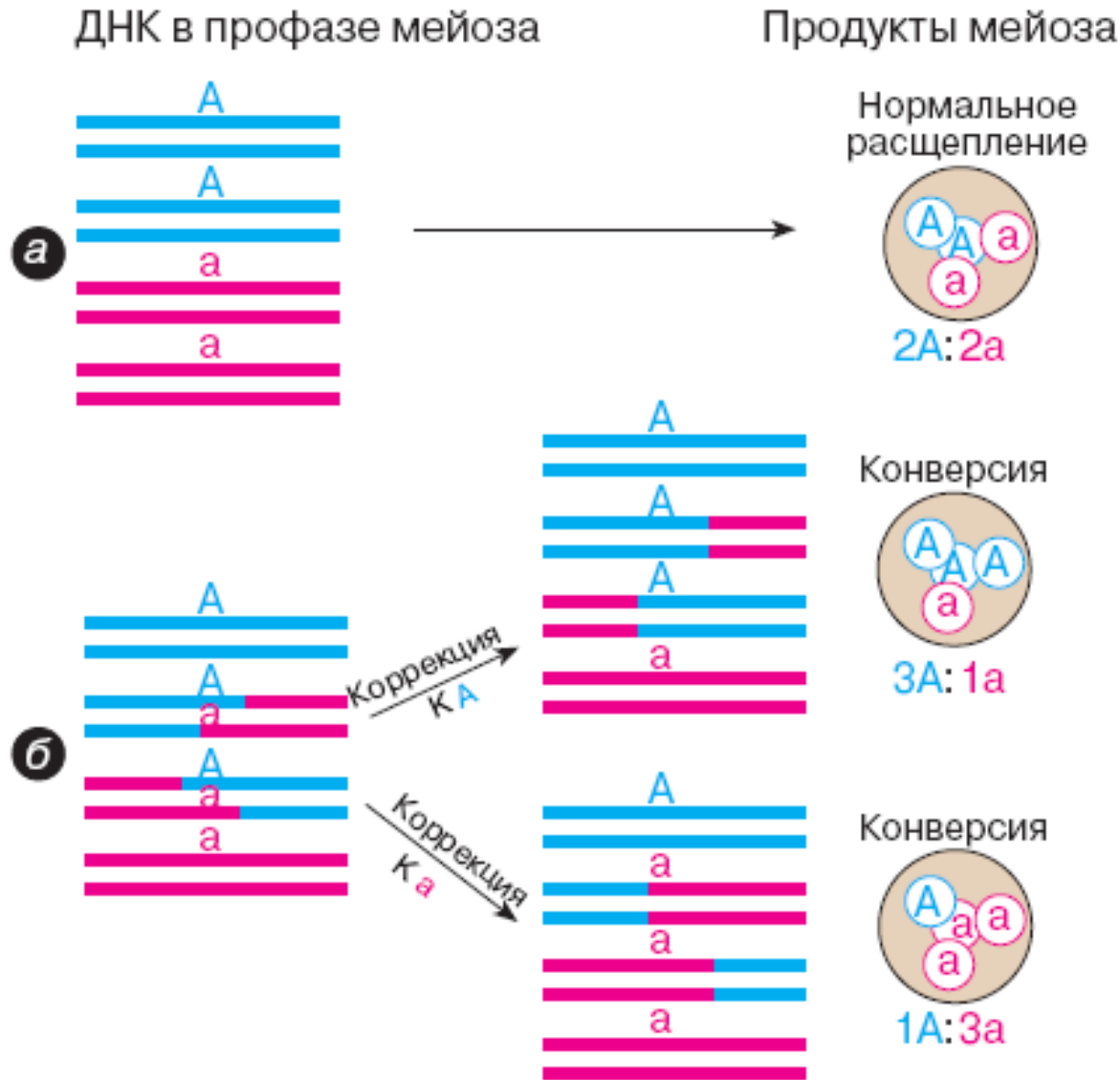


Молекулярный механизм кроссинговера

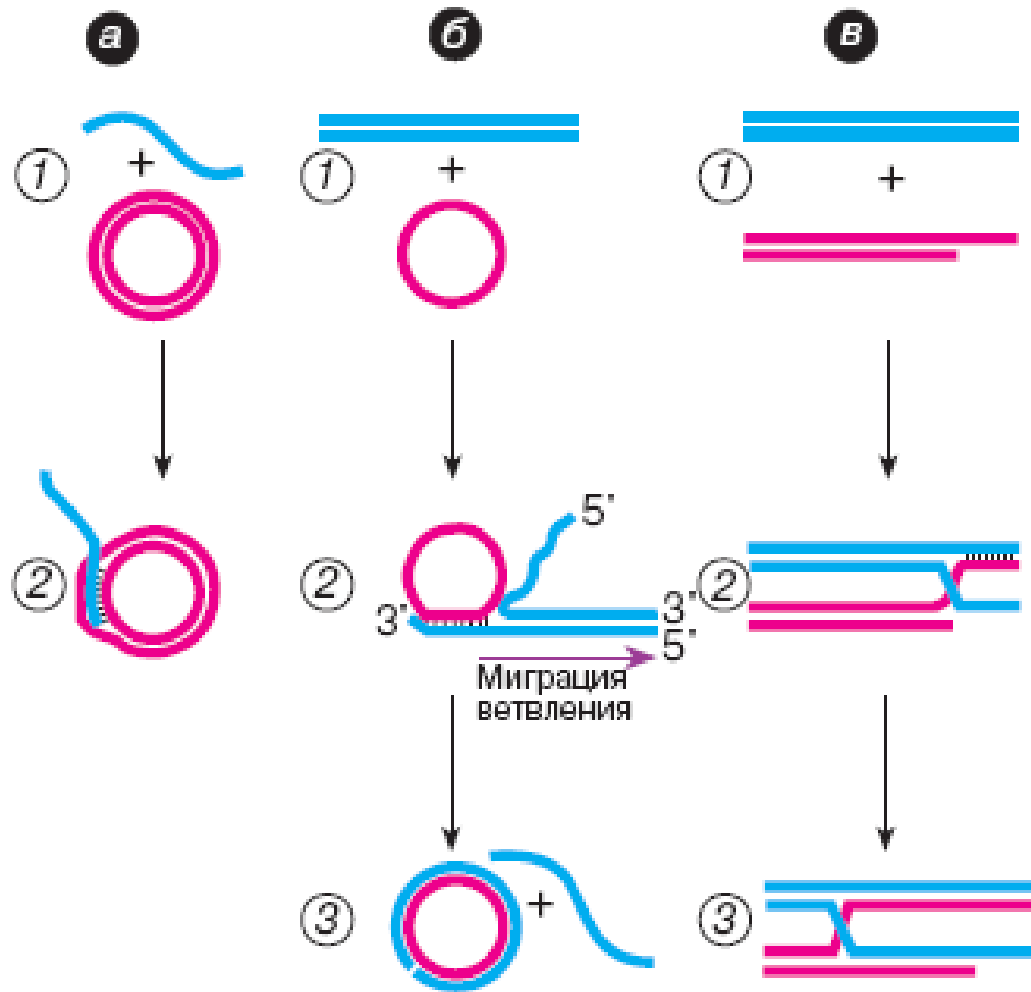


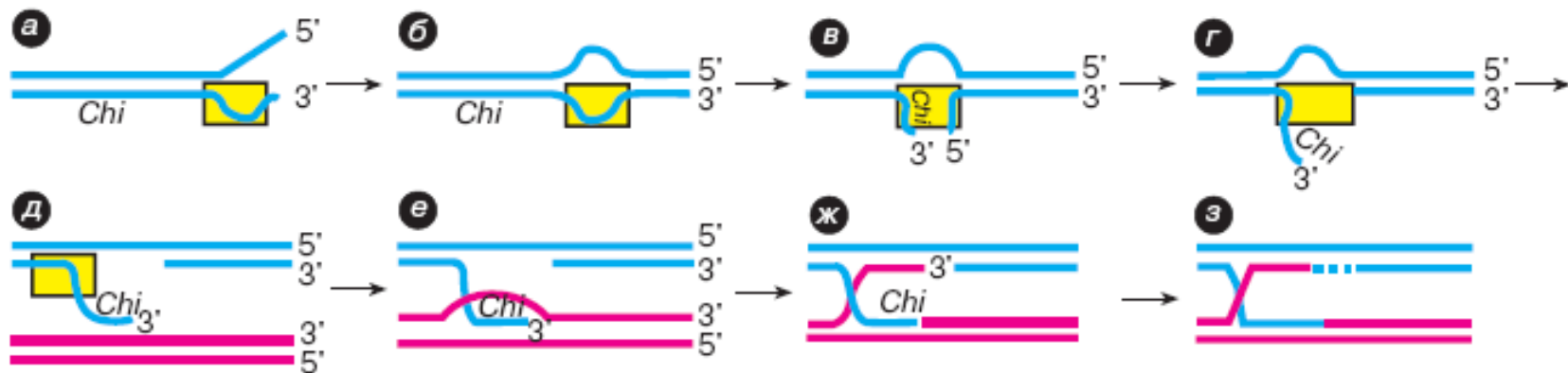
Модель Холлидея (1964)

Схема конверсии гена



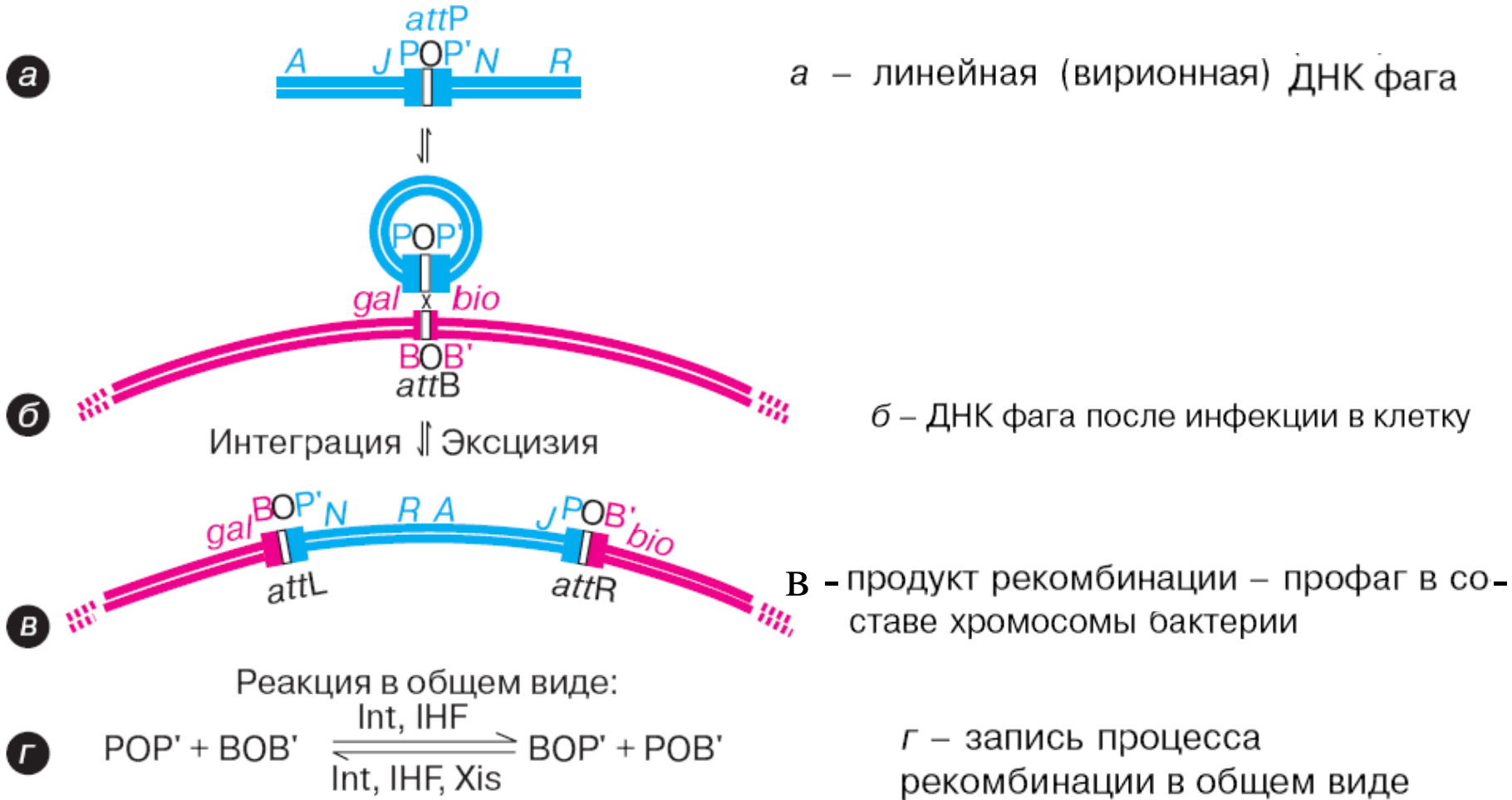
Схемы трёх рекомбинационных реакций, осуществляемых белком RecA *Escherichia coli* *in vitro*



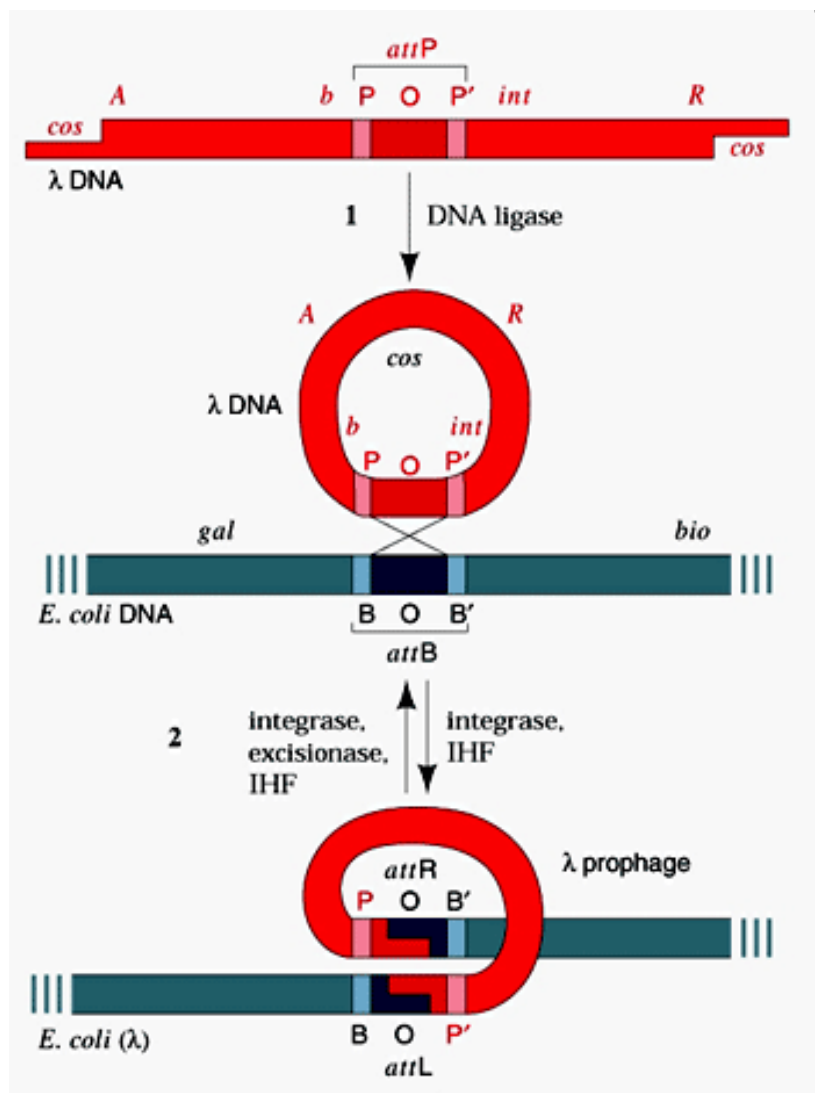


Сокращенная схема рекомбинации с участием RecBCD-нуклеазы *E. coli*

Схема сайт-специфической рекомбинации у фага λ



Сайт-специфическая рекомбинация

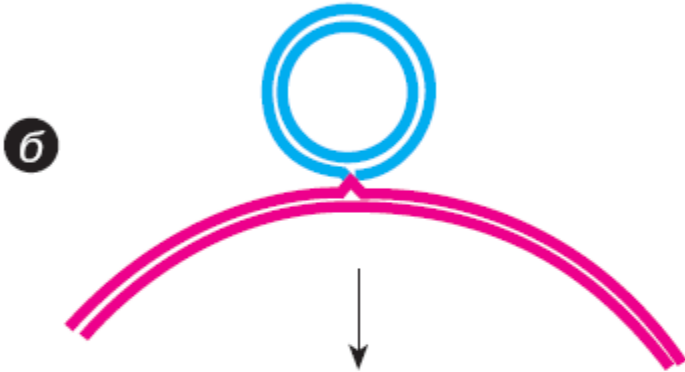


Встраивание кольцевой ДНК фага λ в хромосому *E. coli* и ее обратное выщепление

Схема двух основных этапов интегративной рекомбинации у фага лямбда

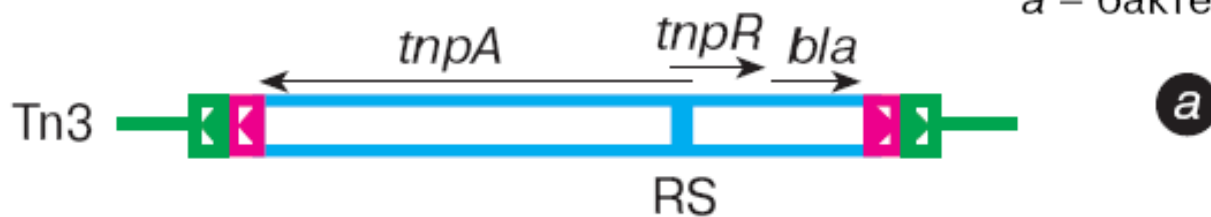
a

```
GCTTTTATACTAA  
CGAAAAATATGATT
```

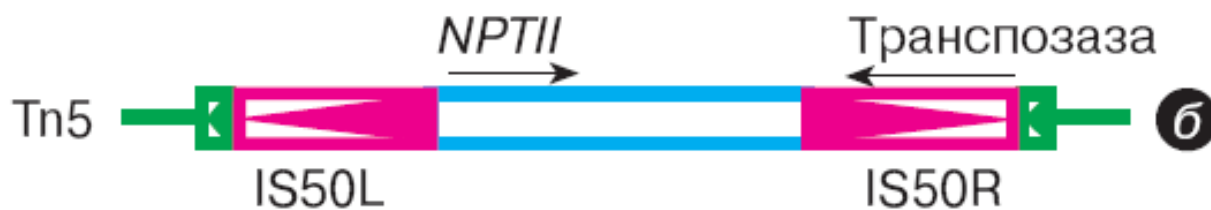


Структурная организация некоторых подвижных элементов.

а – бактериальный транспозон Tn3.



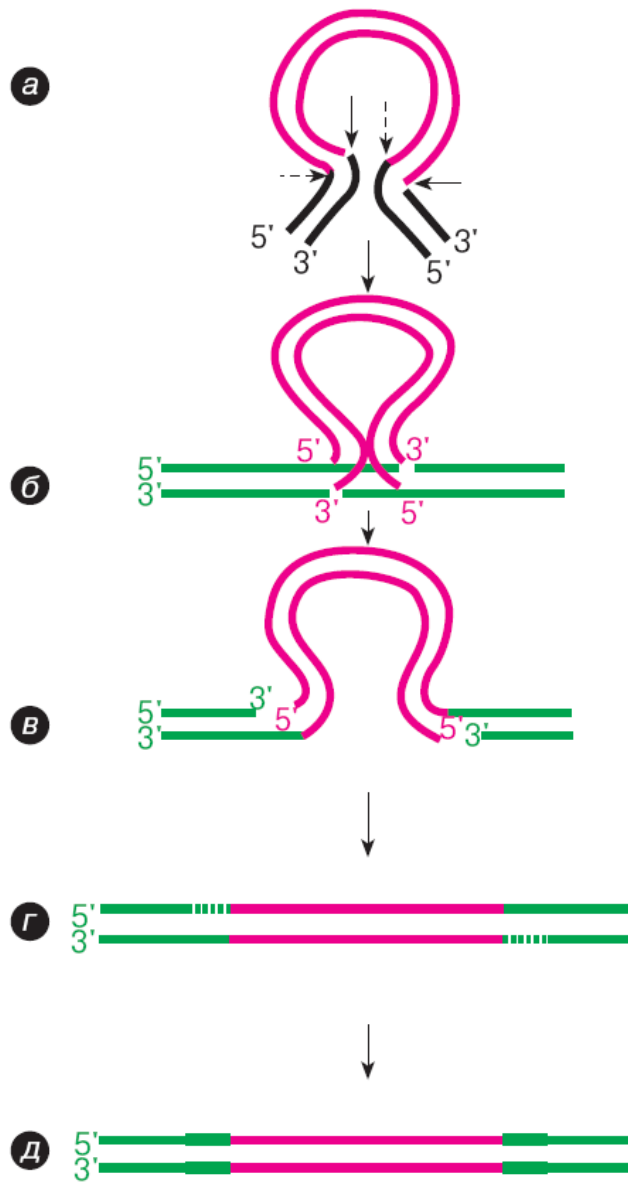
б – бактериальный транспозон Tn5.

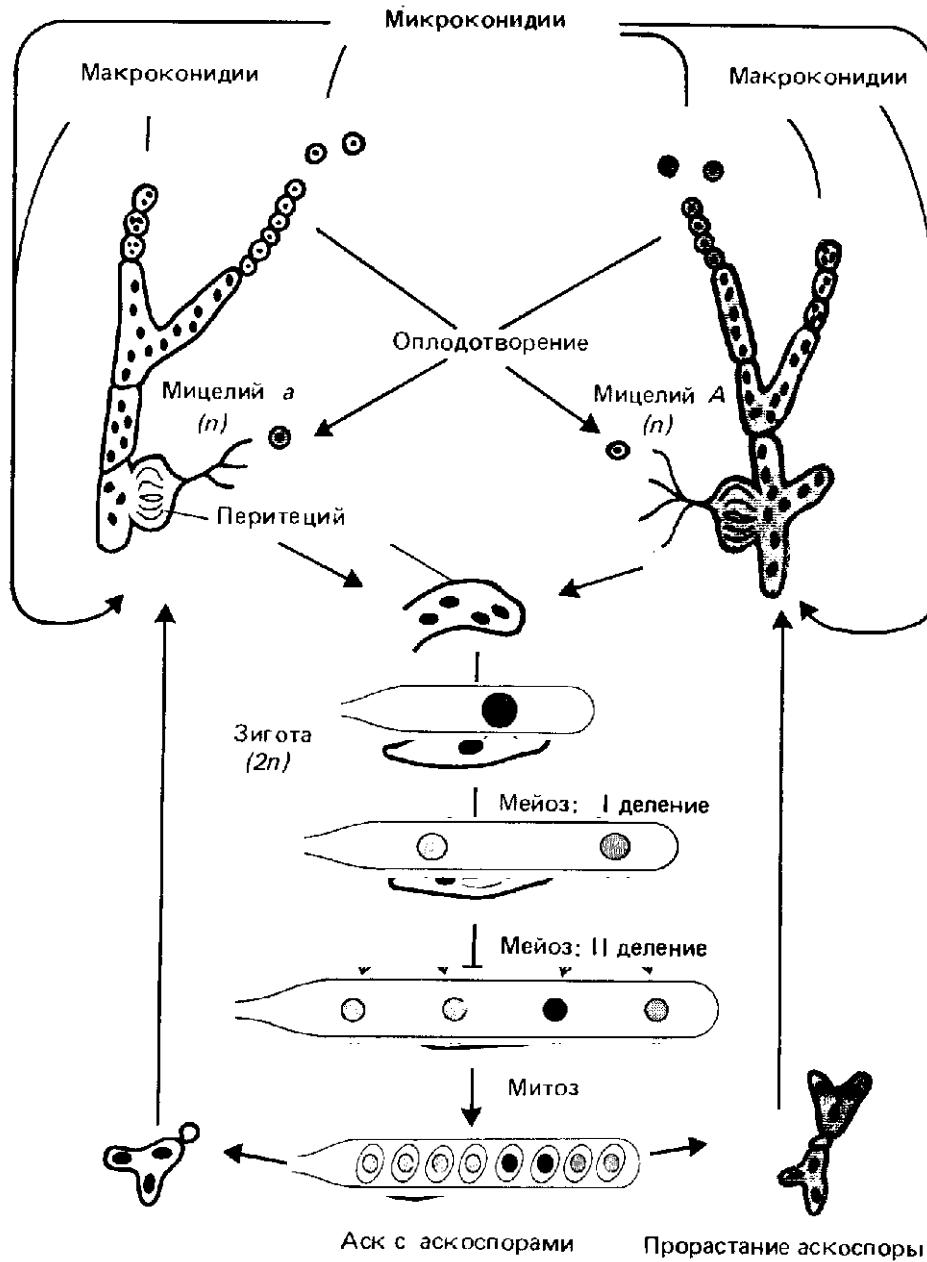


в – дрожжевой ретротранспозон Ty1.



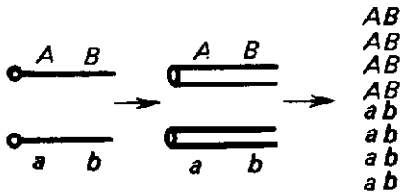
Общая схема рекомбинационных реакций при транспозициях



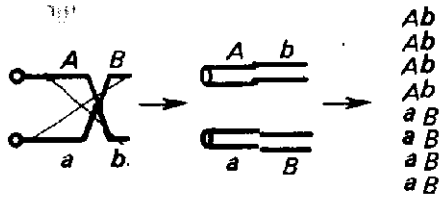


Жизненный цикл
Neurospora crassa

A Без кроссинговера

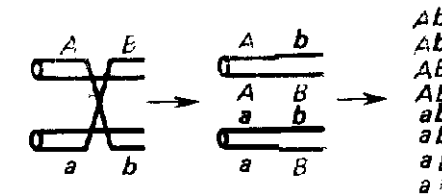
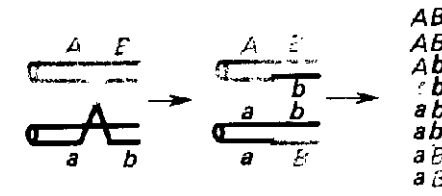
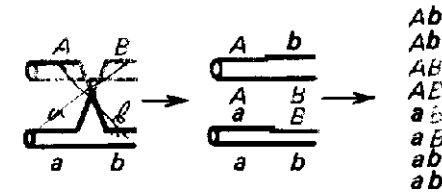
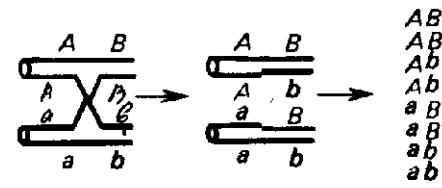
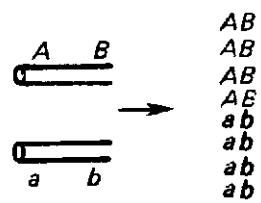


С кроссинговером



Возможные последствия кроссинговера на стадии двух нитей

Б



Возможные последствия кроссинговера на стадии четырёх нитей

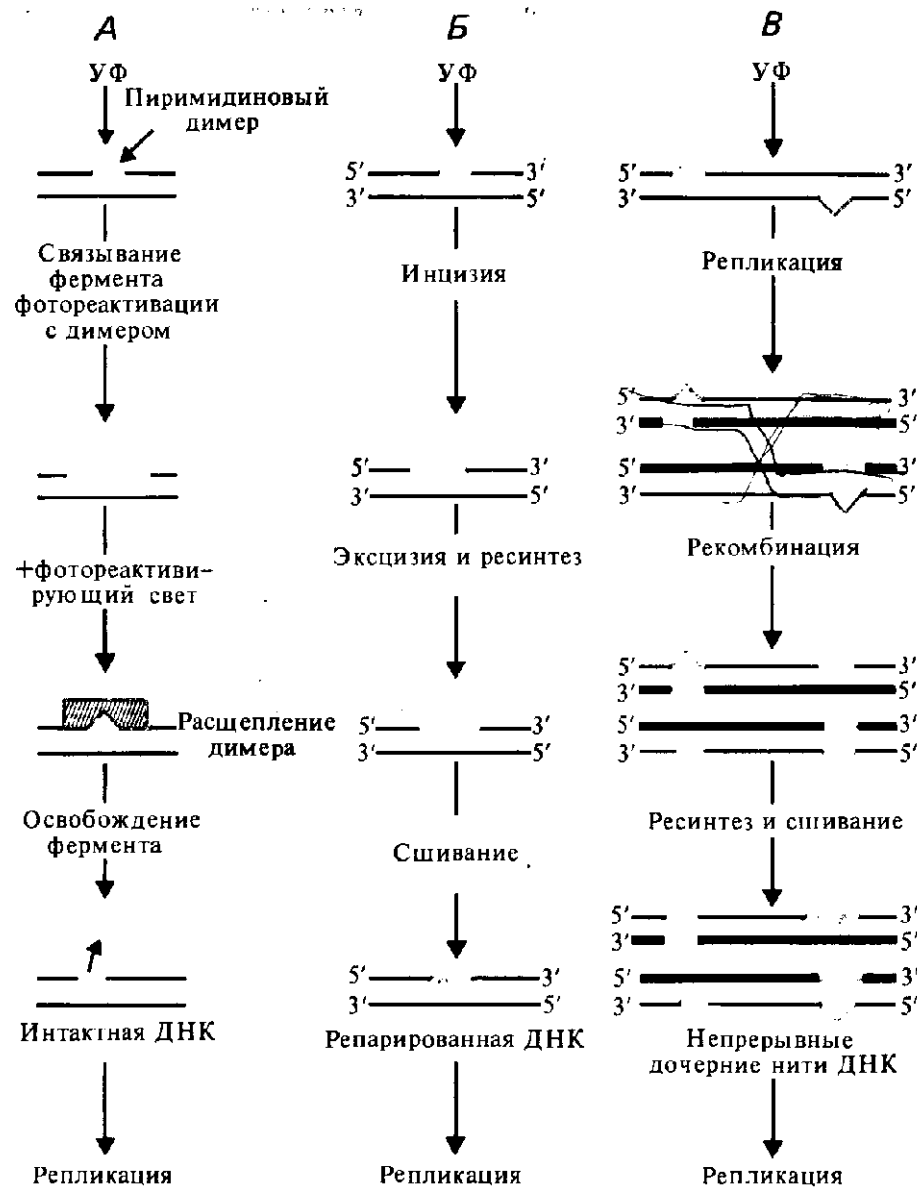
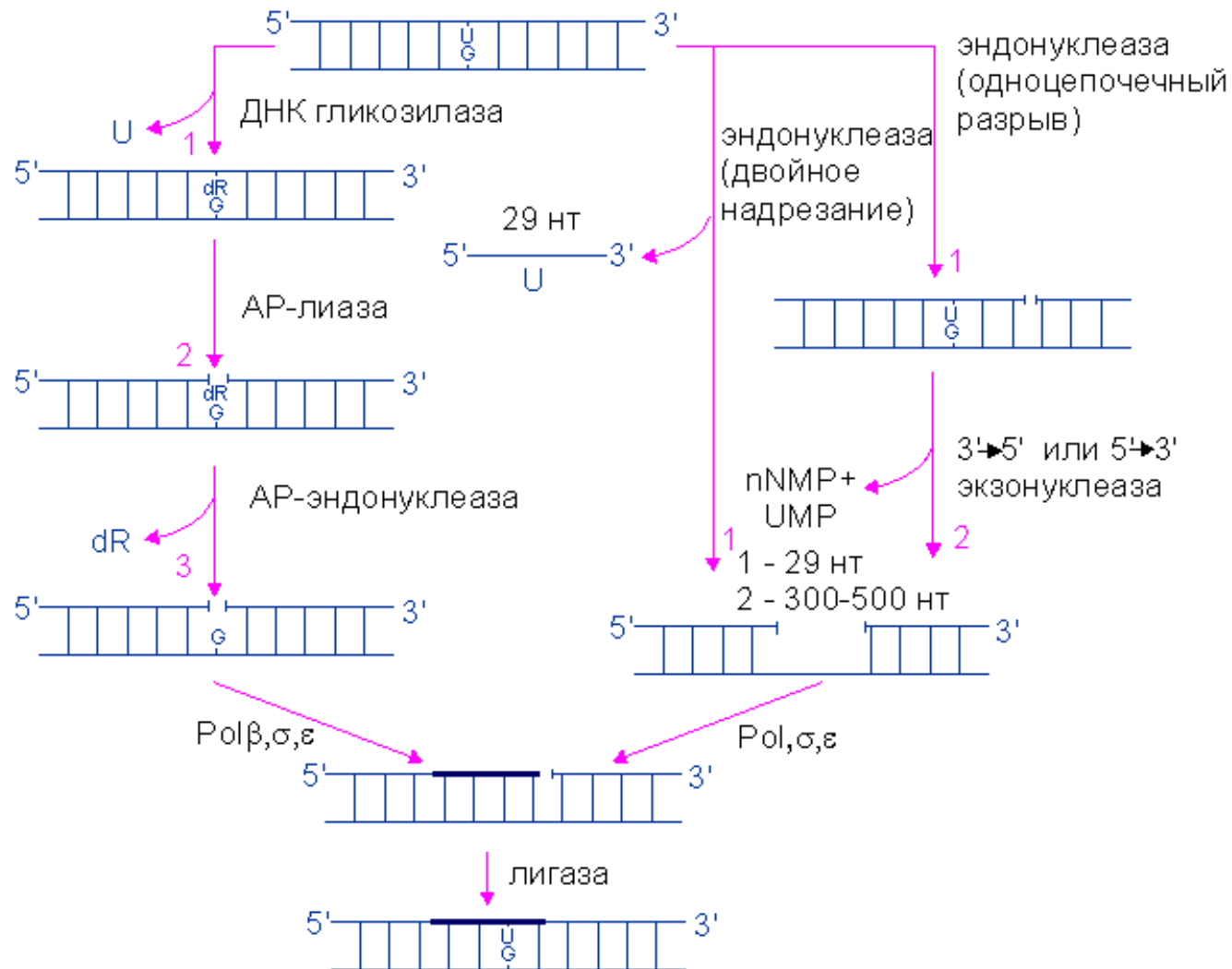


Рис. 6.17. Схема механизмов репарации на примере пострадиационного (УФ) восстановления структуры ДНК (по Р. Hanawalt, 1975, Е. Witkin, 1976):

А — фотореактивация; Б — эксцизионная репарация; В — пострепликационная репарация

Эксцизионная репарация у животных



Фотореактивация

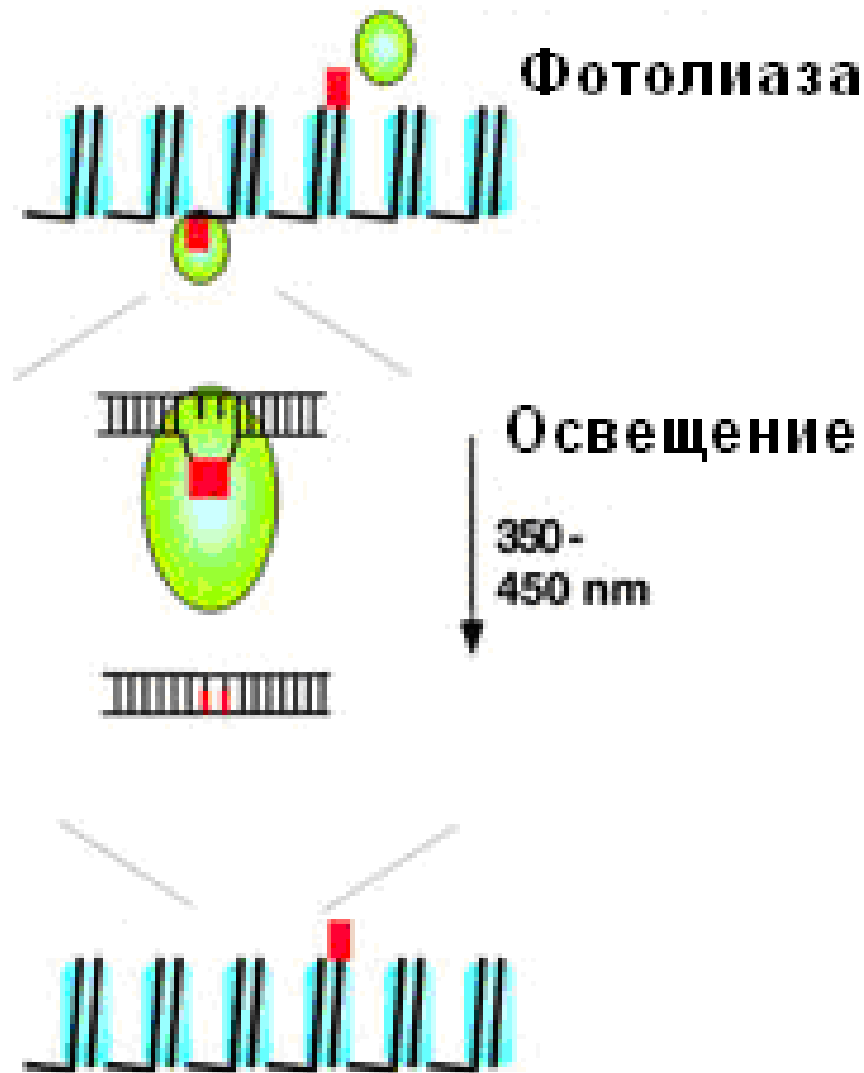




Рис. 6.16. Локальная денатурация (разрыв водородных связей) ДНК бактериофага λ , подвергнутой ультрафиолетовому облучению (R. S. Stafford, D. P. Allison, R. O. Rahn, 1975)

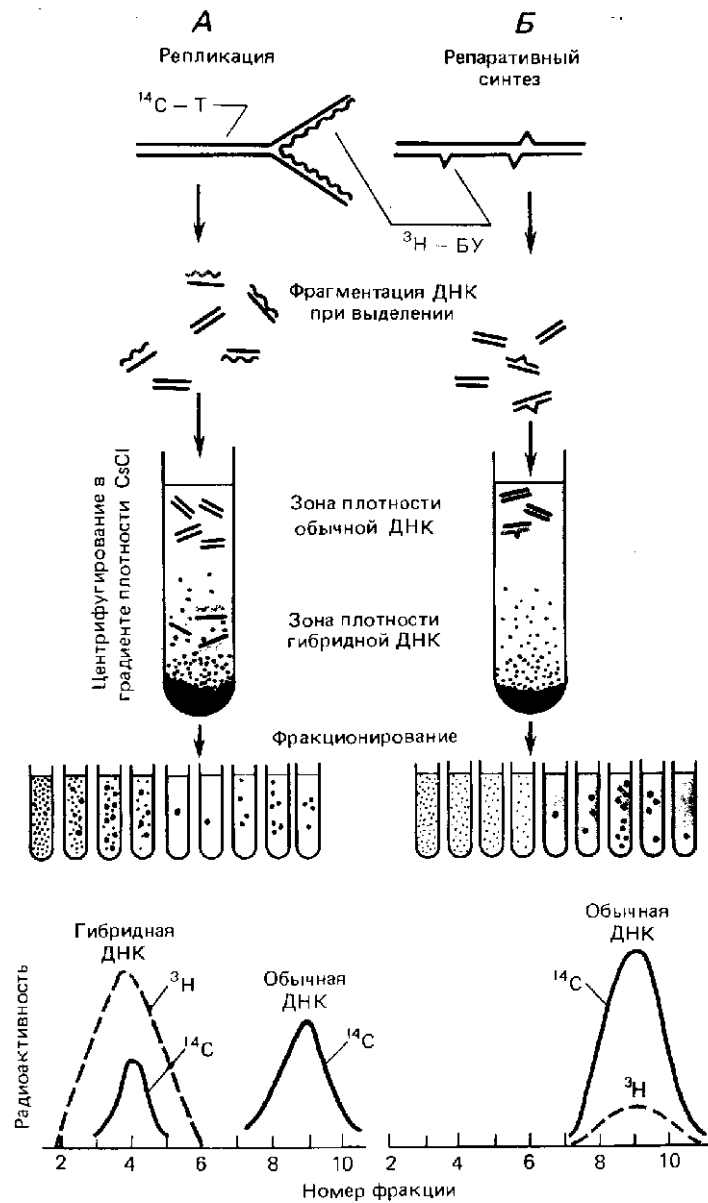


Рис. 6.18. Схема опыта Д. Петтиджона и Ф. Хэнеулга, доказывающая существование репаративного синтеза ДНК в клетках *E. coli*, облученных ультрафиолетовым светом (по К. Смит, Ф. Хэнеулгу, 1972):

А — репликативный синтез ДНК; Б — репаративный синтез ДНК

Прямая репарация

