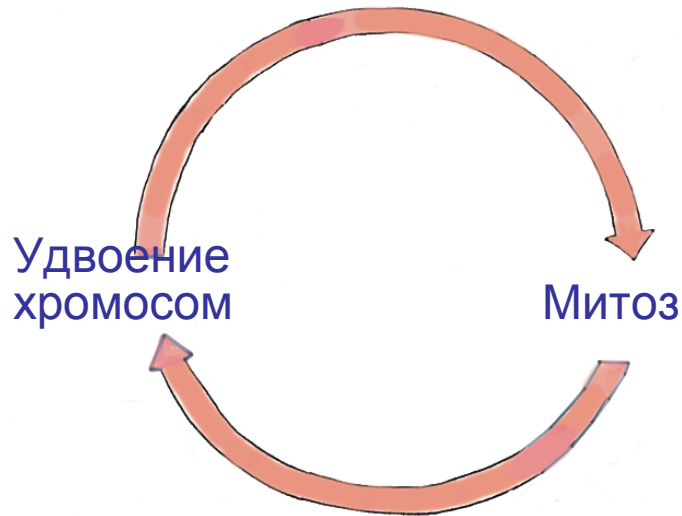


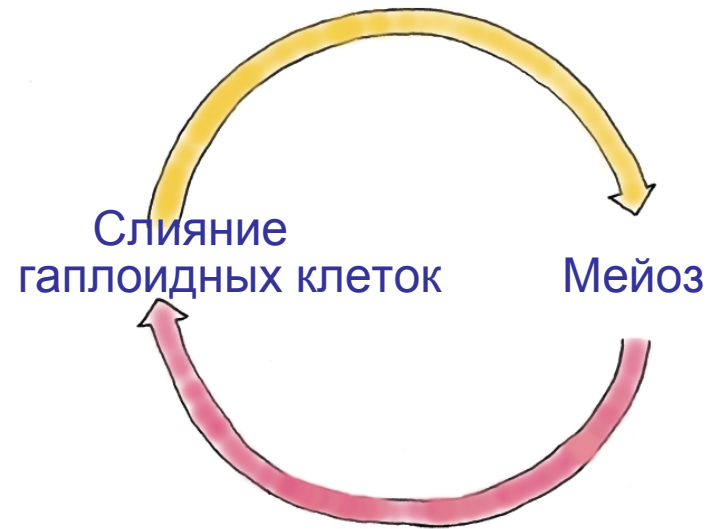
# Тема 4. 6. Мейоз.

## Сравнение мейоза с митозом

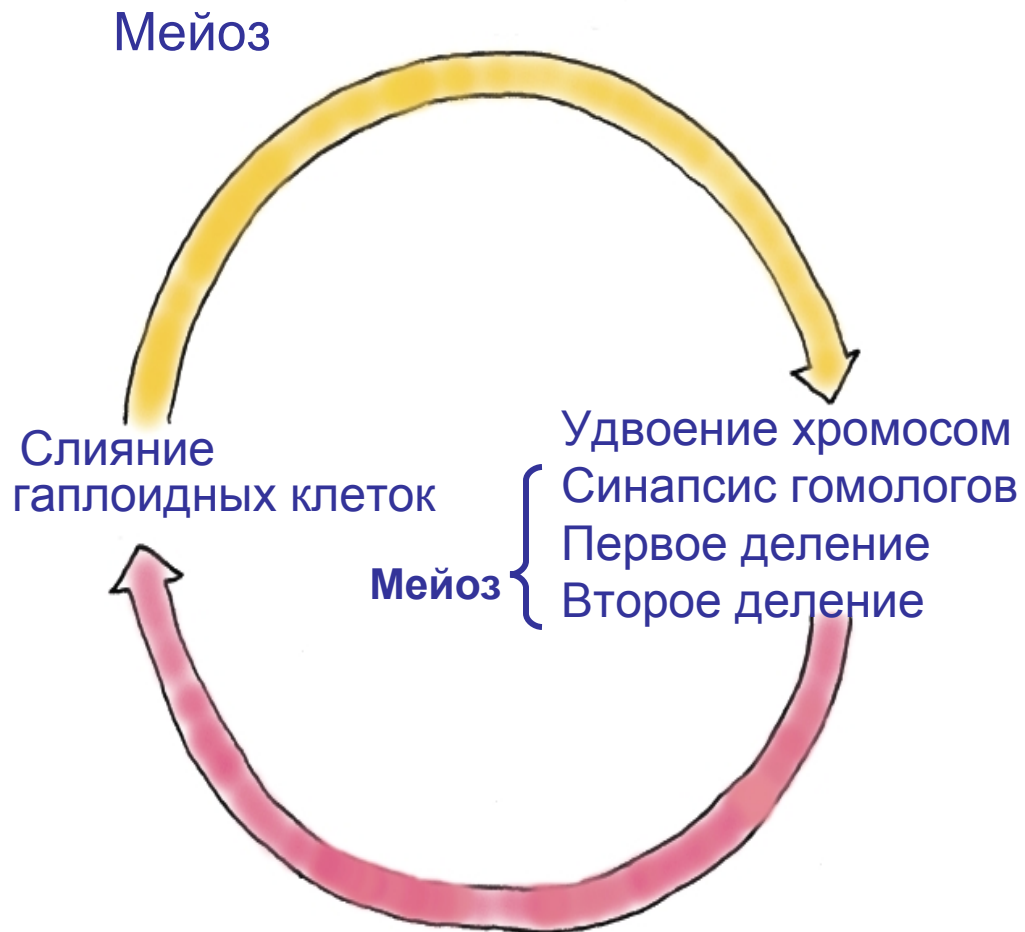
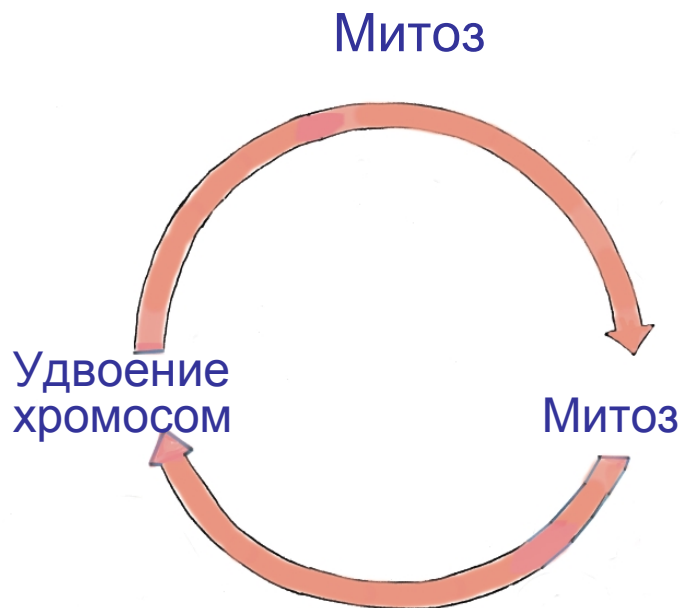
Митоз



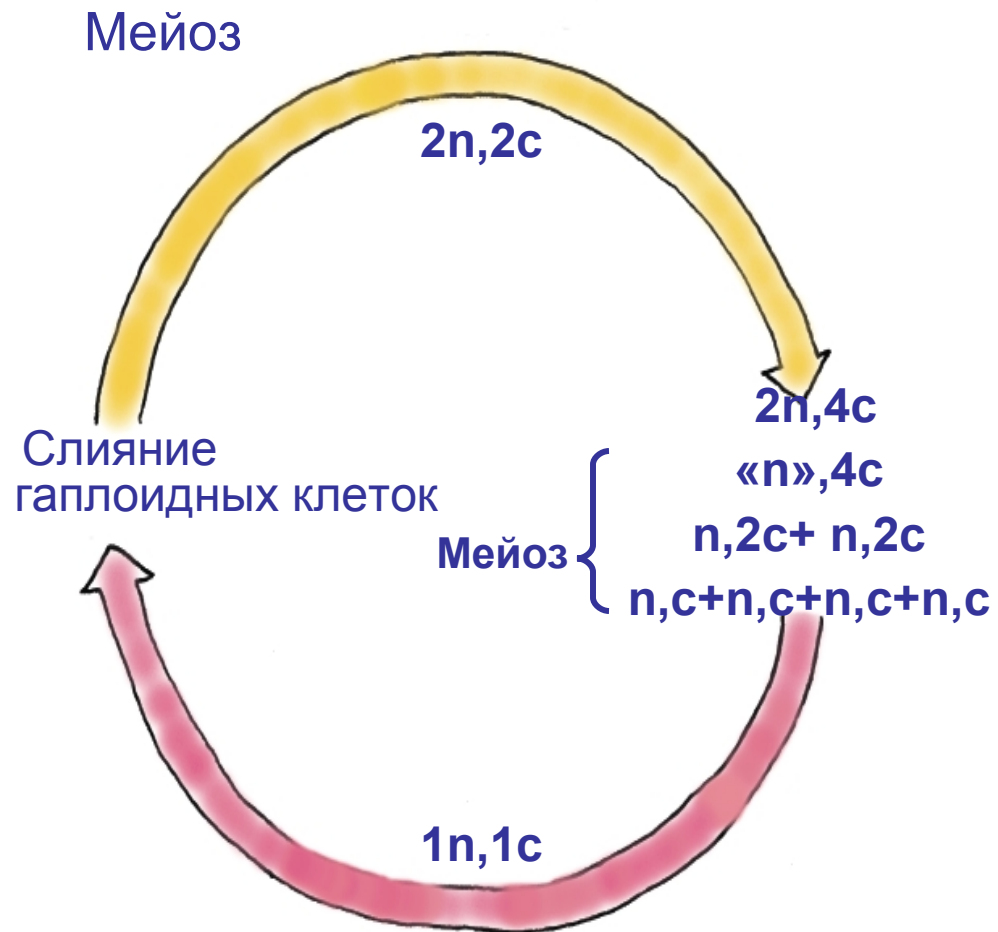
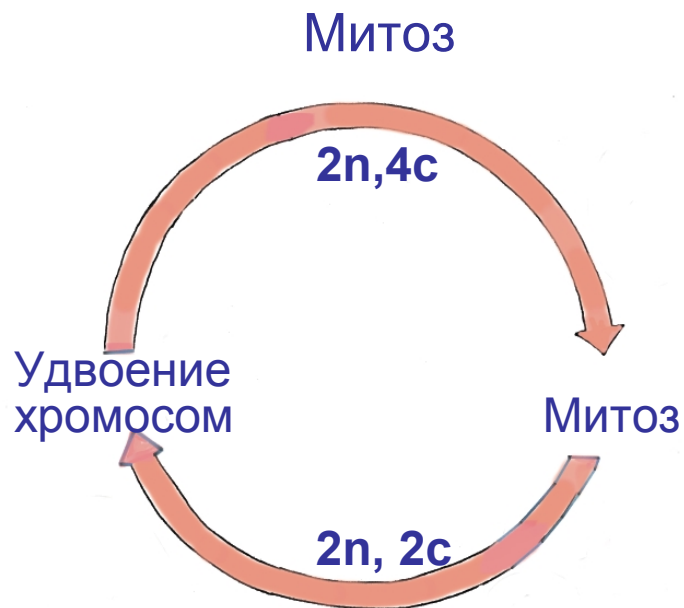
Мейоз



# Сравнение мейоза с митозом



# Сравнение мейоза с митозом



# Сравнение мейоза с митозом

Мейоз  $2n=4$    $2n=4$   Митоз

Удвоение хромосом в интерфазе

Синапсис гомологичных хромосом

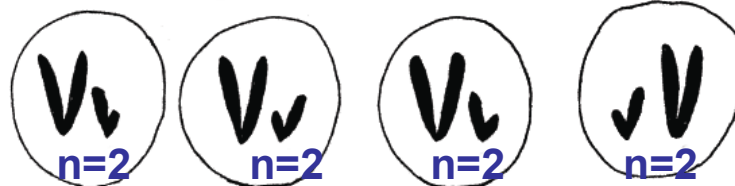
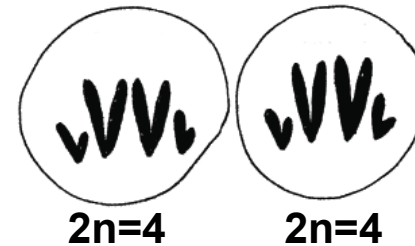
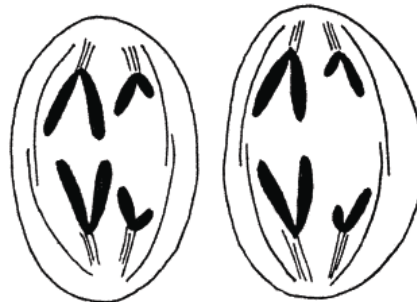
Расхождение гомологичных хромосом в первом делении



Расхождение сестринских хроматид



Расхождение сестринских хроматид во втором делении



$2n=4$

$2n=4$

$n=2$

$n=2$

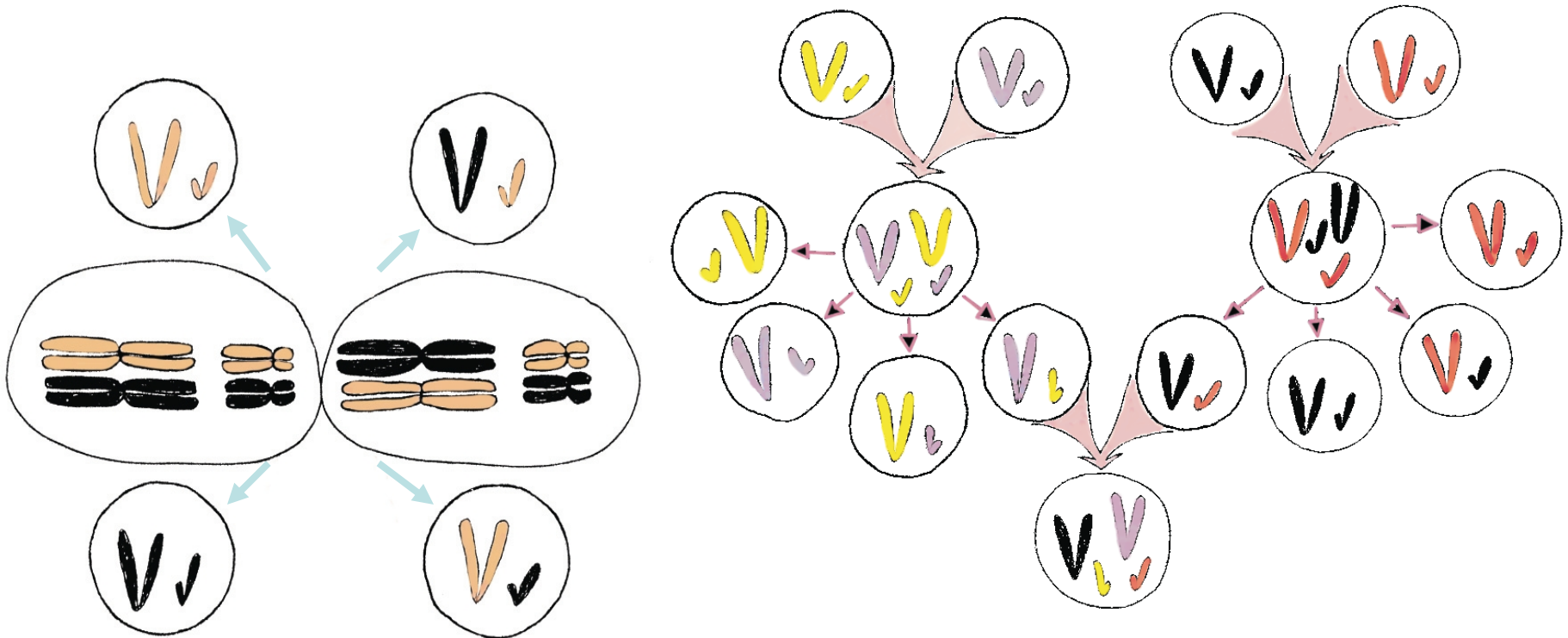
$n=2$

$n=2$



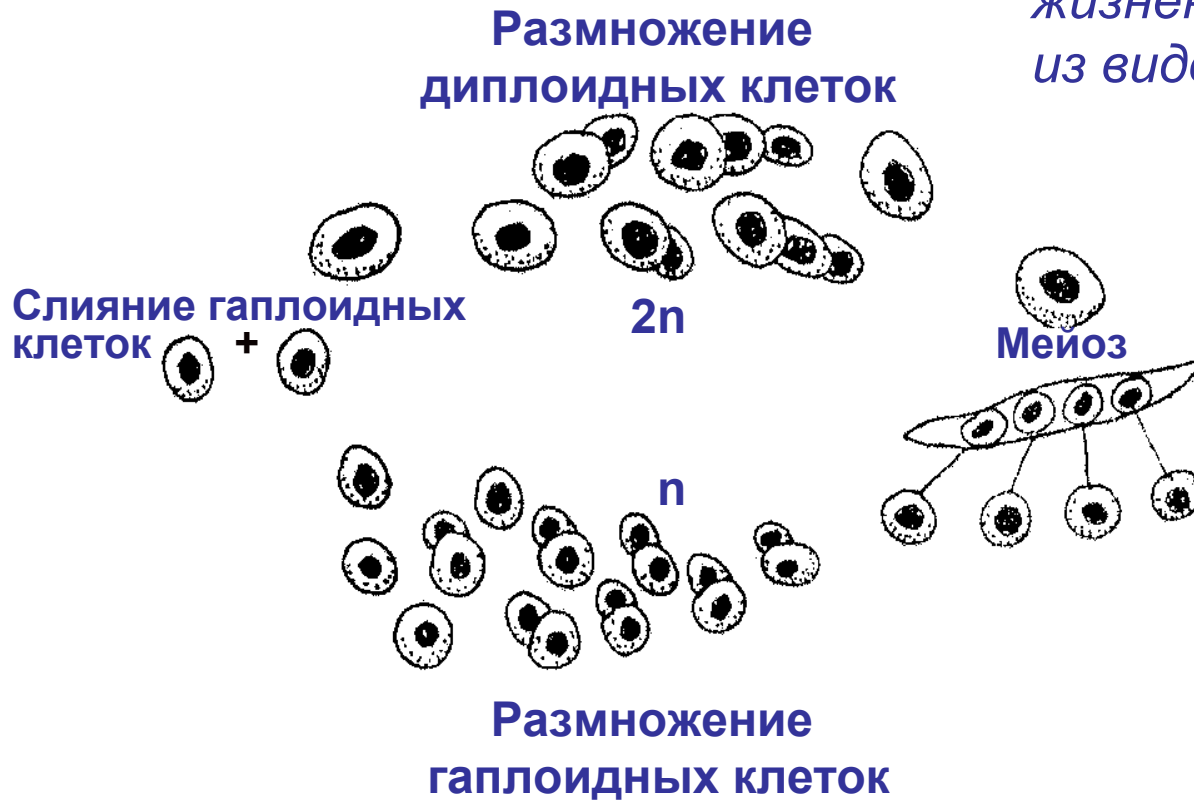
## Главные особенности мейоза:

- Синапсис (образование бивалентов) и последующее расхождение гомологичных хромосом ведут к уменьшению числа хромосом вдвое
- Независимое расхождение к полюсам негомологичных хромосом ведет к перекомбинированию генетического материала



# Мейоз в жизненном цикле организмов

*Чередование гаплоидной и диплоидной стадии в жизненном цикле одного из видов дрожжей*

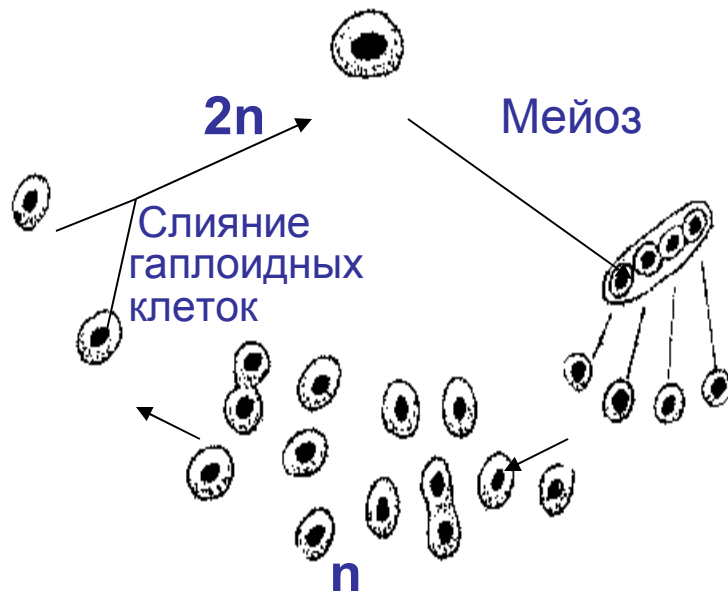


# Мейоз в жизненном цикле организмов

Чередование полового процесса и бесполого размножения у двух видов дрожжей:

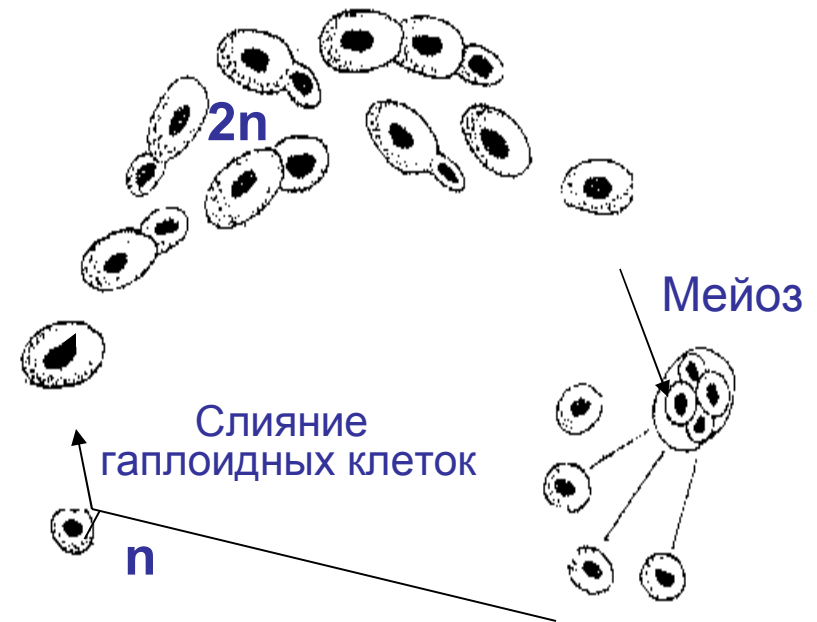
Пивные дрожжи (гаплоидные)

*Schizosaccharomyces pombe*



Пекарские дрожжи (диплоидные)

*Saccharomyces cerevisiae*



# Мейоз в жизненном цикле организмов



Размножение  
диплоидных клеток  
(образование  
многоклеточного  
организма)

Слияние гаплоидных клеток

Размножение клеток  
перед мейозом

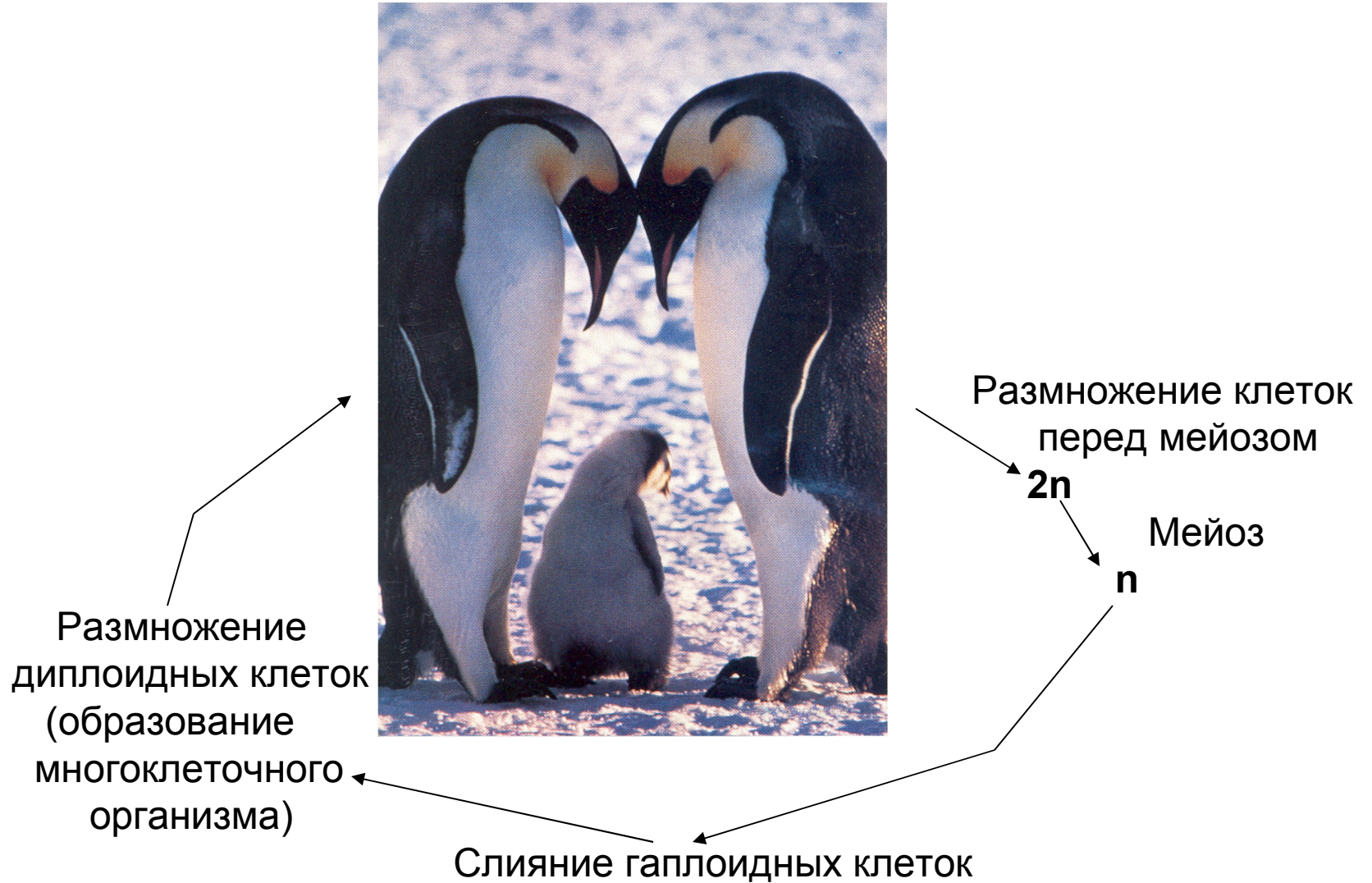
$2n$

Мейоз

$n$

Размножение  
гаплоидных клеток

# Мейоз в жизненном цикле организмов

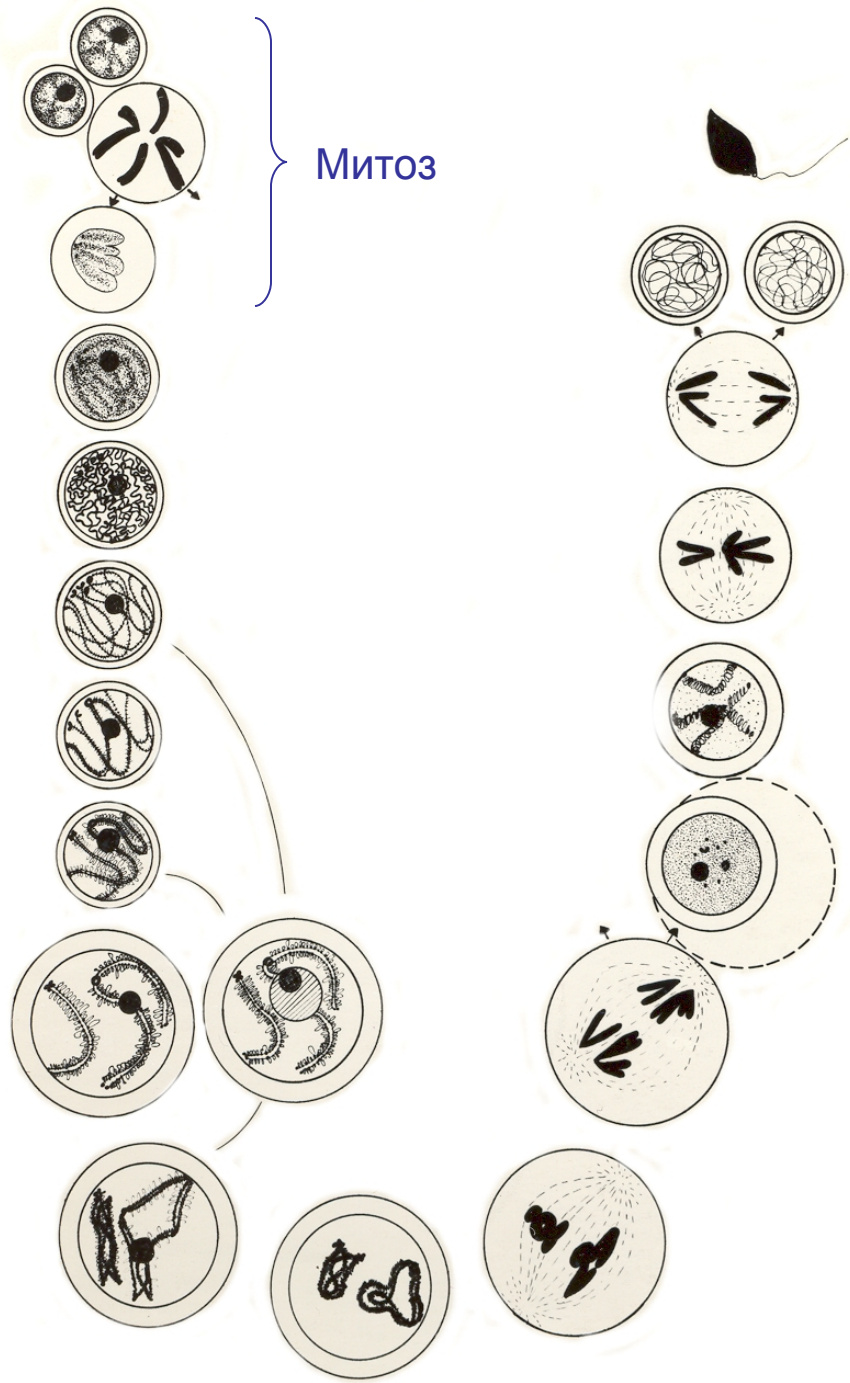




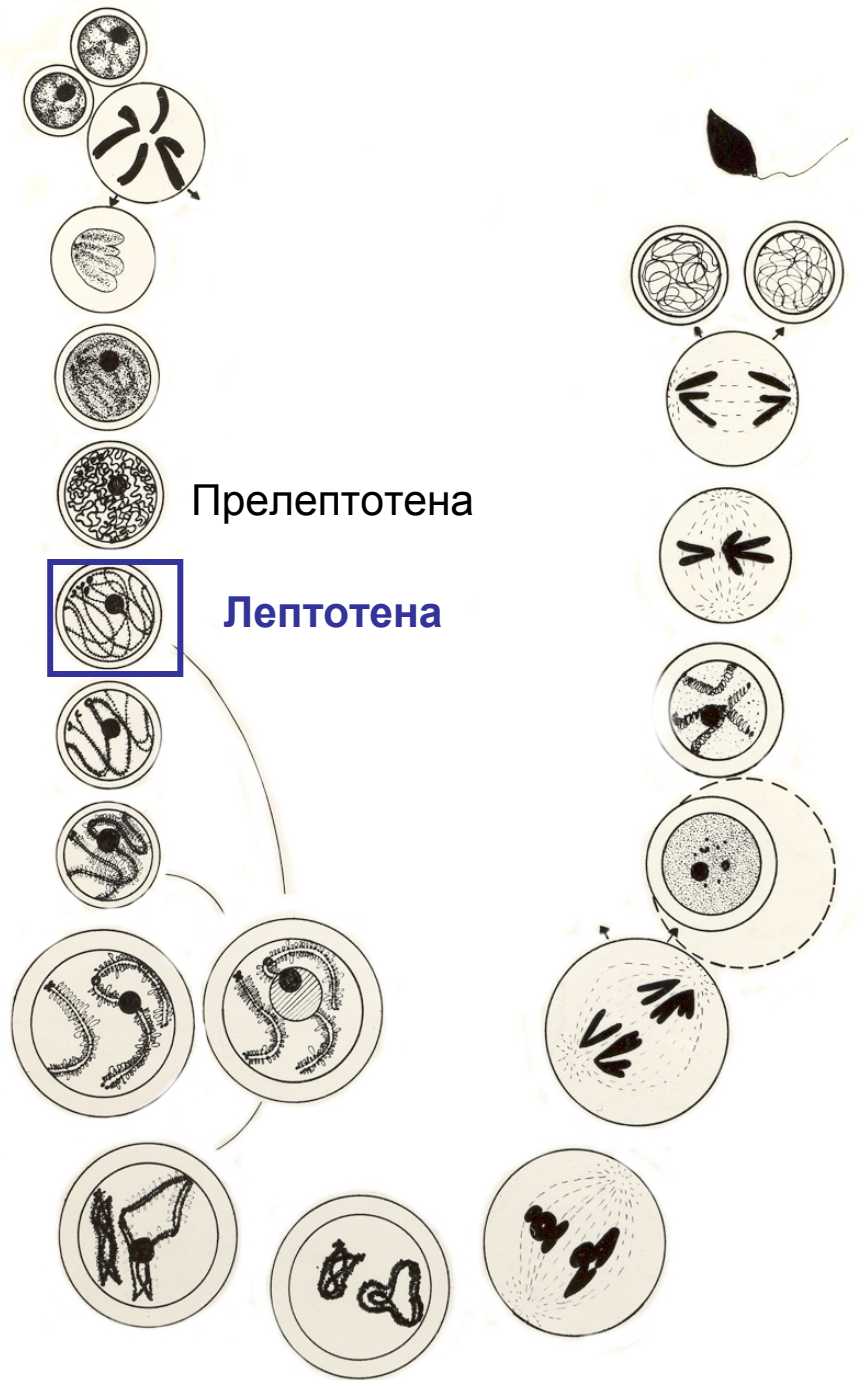
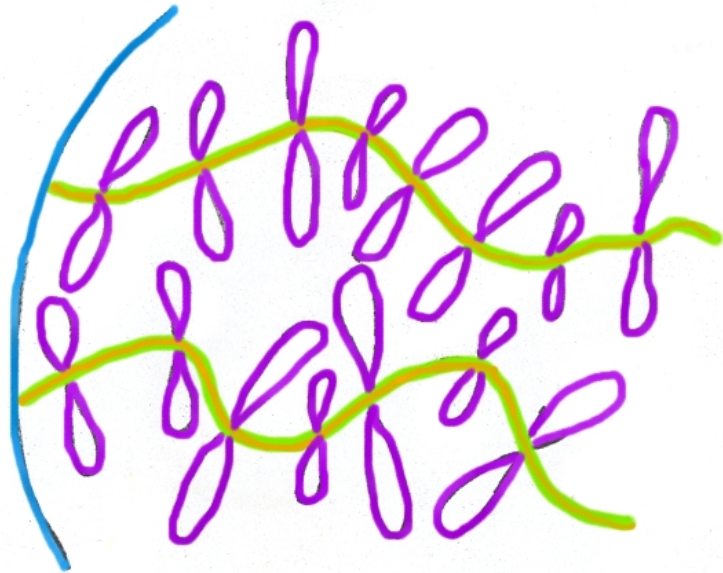
# Ход мейоза

Профаза I  
мейоза

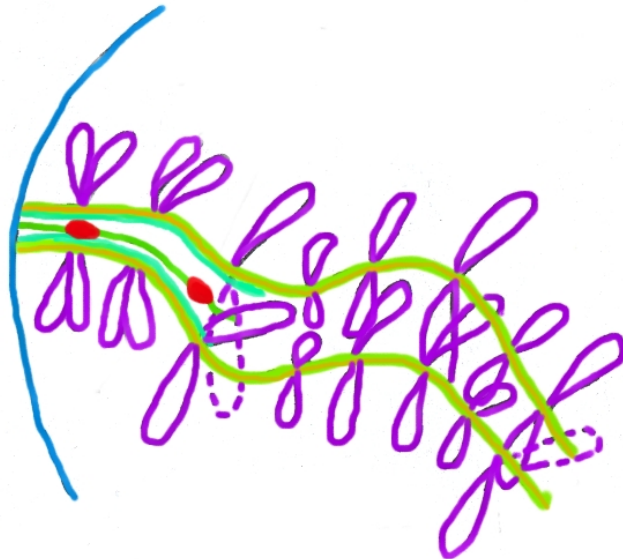
Митоз



Образование оси хромосомы,  
или осевого элемента (ОС).  
Образование хроматиновых  
петель

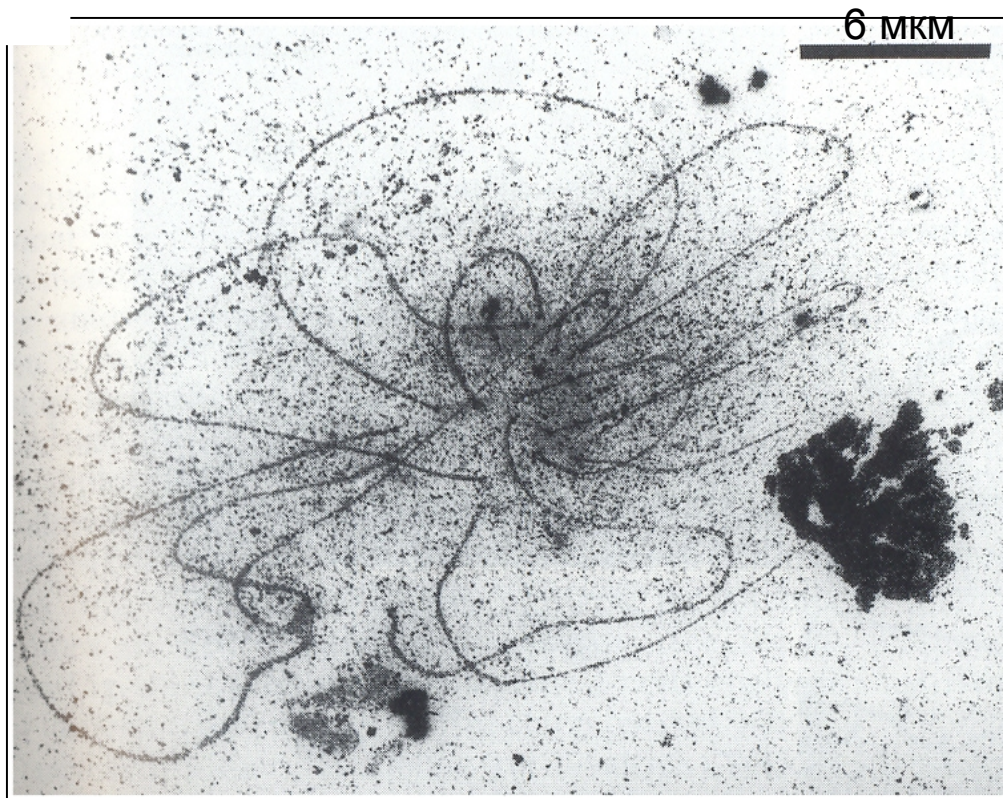


Образование **бивалентов** -  
**синапсис** (спаривание)  
гомологичных хромосом =  
Образование  
**синаптонемного комплекса**



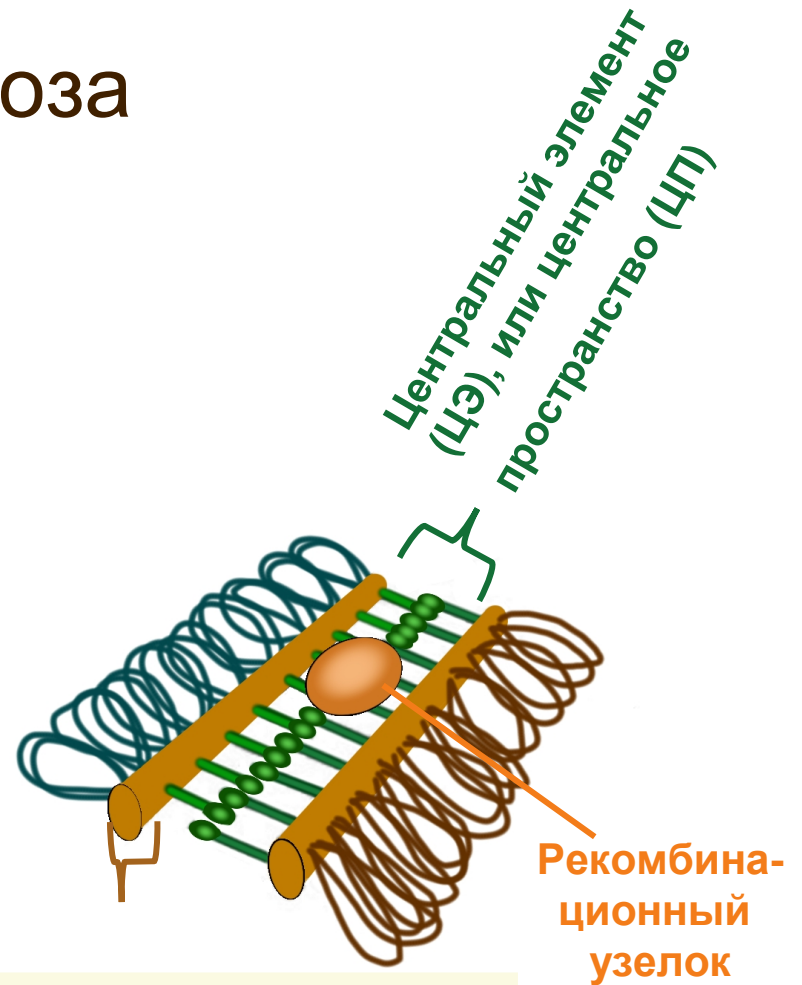
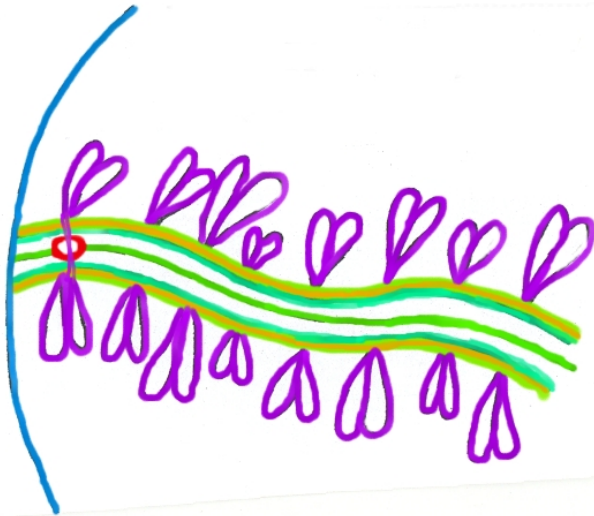


Стадия «букета» у клопа  
*Pyrhocoris apterus*



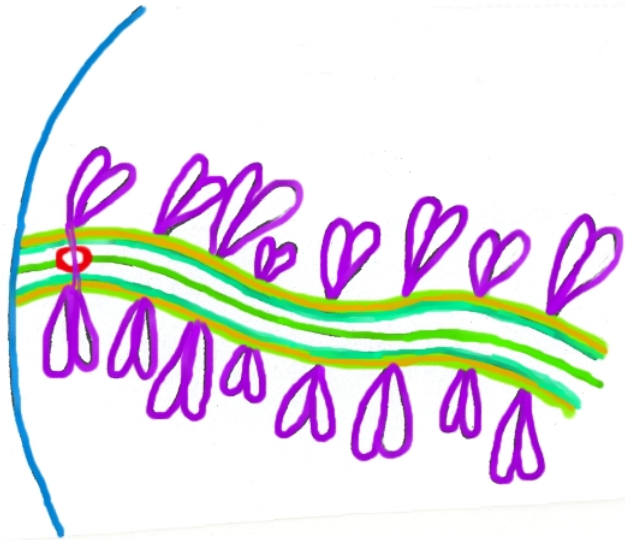
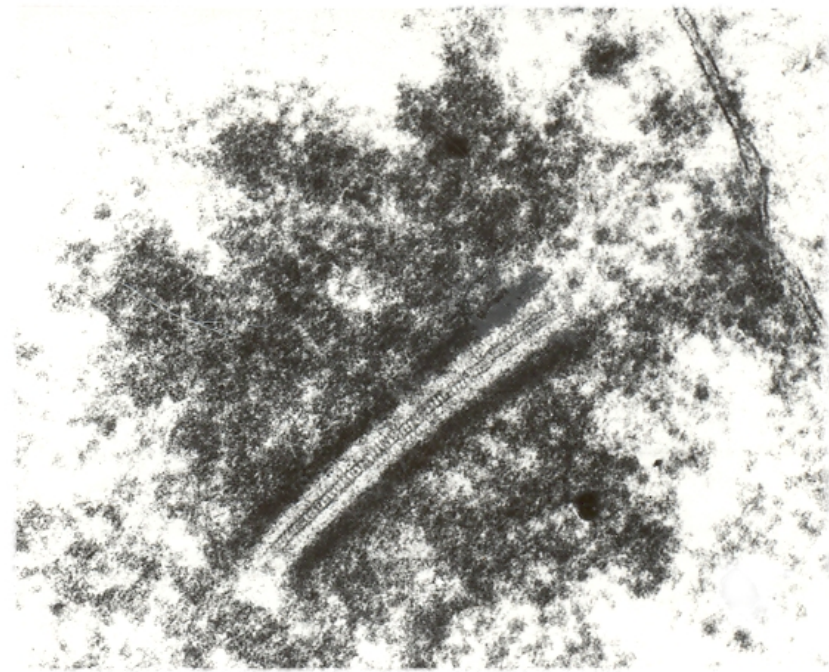
# Ход мейоза

Образование **бивалентов** - **синапсис** (спаривание) гомологичных хромосом =  
Образование **синаптонемного комплекса**



Боковой, или латеральный элемент (ЛЭ), бывший осевой элемент

Образование **бивалентов** -  
**синапсис** (спаривание)  
гомологичных хромосом =  
Образование  
**синаптонемного комплекса**

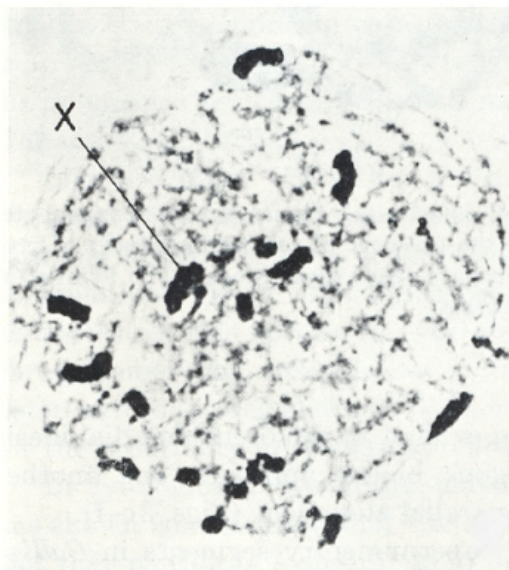




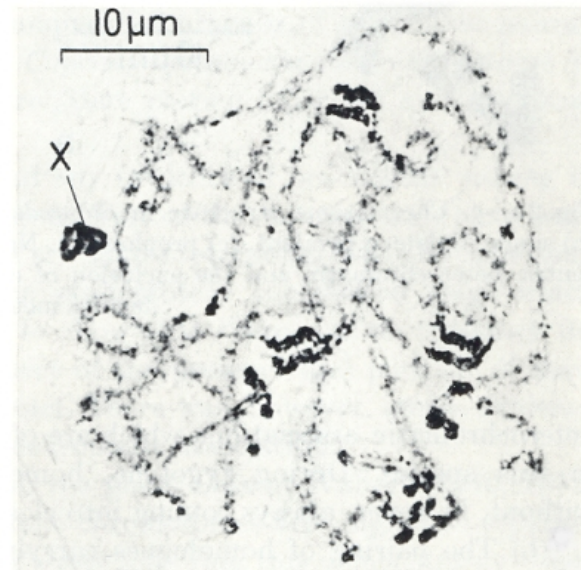


Сперматогониальная  
метафаза у  
*Stauroderus scalaris*

Лептотена

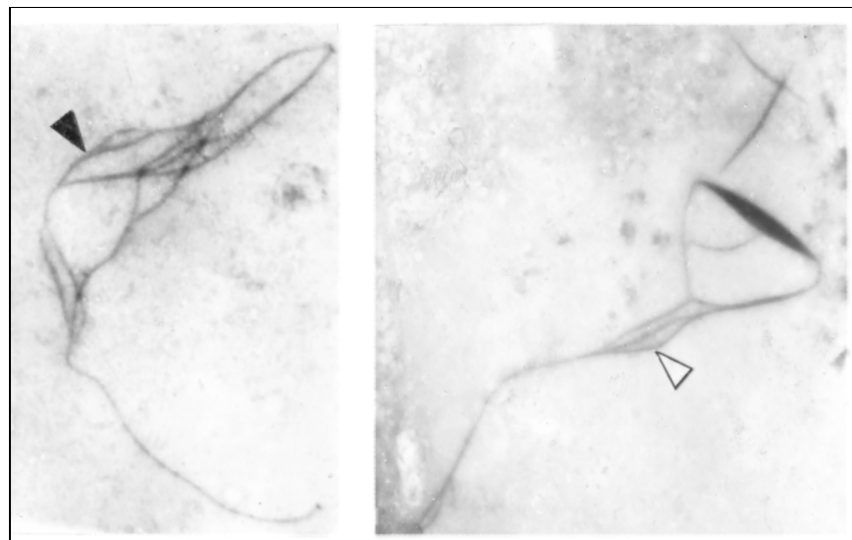
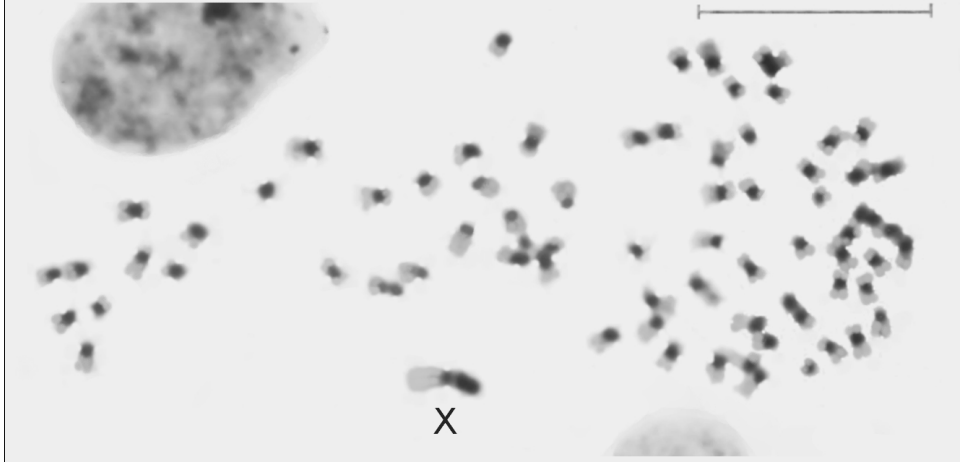
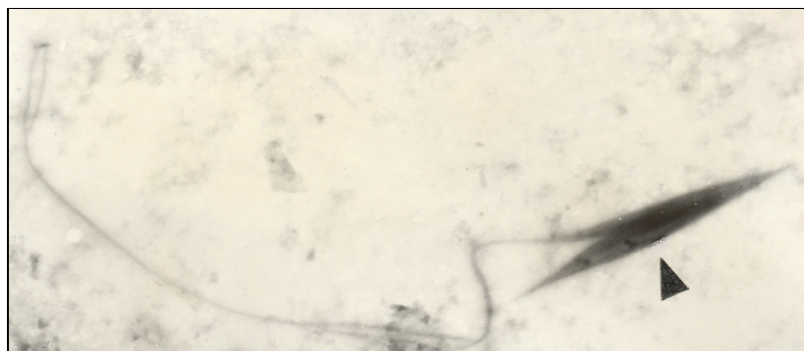


Ранняя пахитена



Зиготена

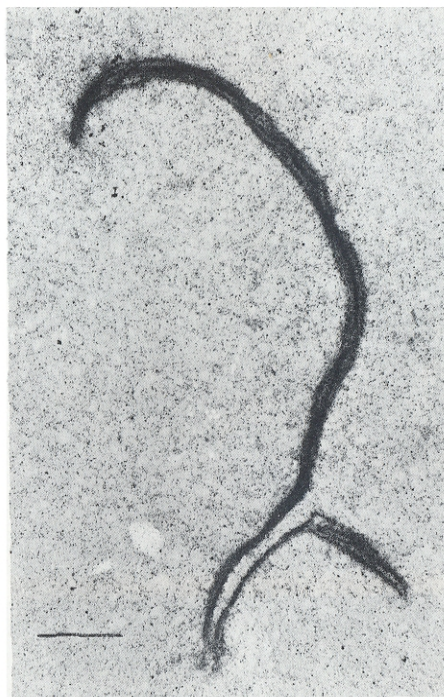
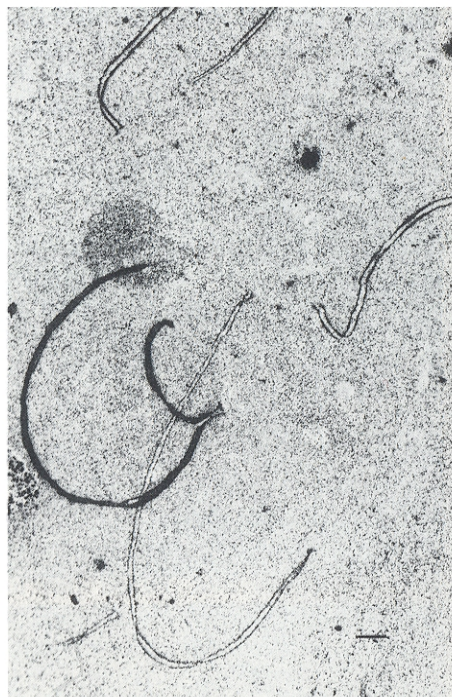
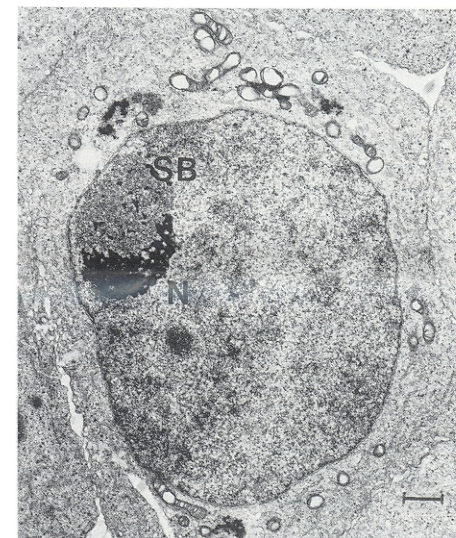
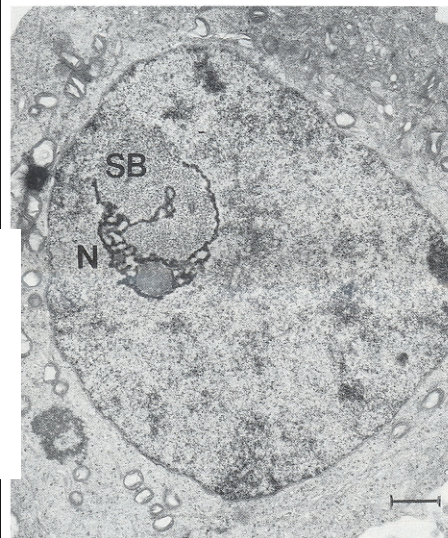
Поздняя пахитена



*Половой унивалент в области С-гетерохроматина образует сложную структуру оси*

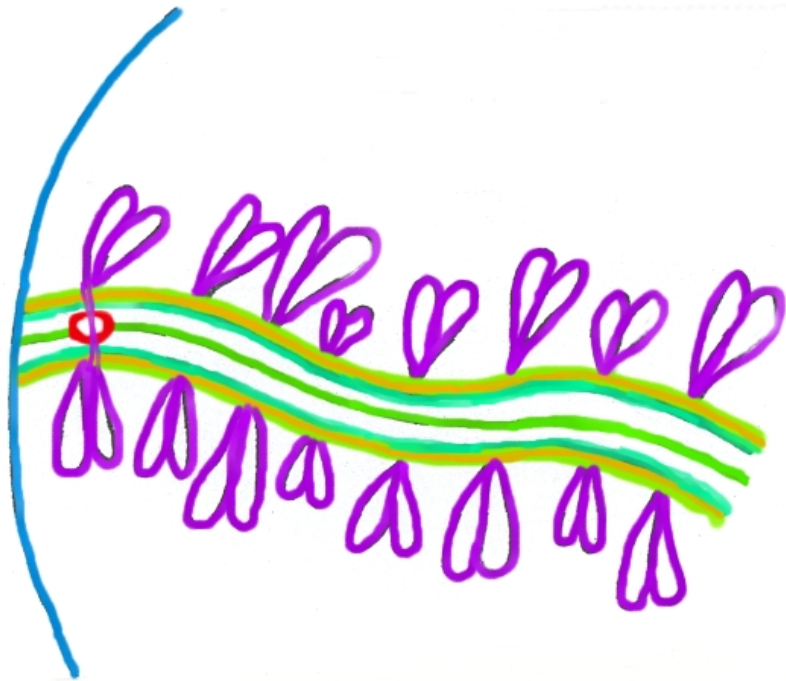


Половой пузырьк и  
ядрышко в  
сперматоците  
млекопитающего



Оси половых  
хромосом  
утолщены  
по сравнению  
с осями аутосом

Кроссинговер -  
внутрихромосомная  
рекомбинация





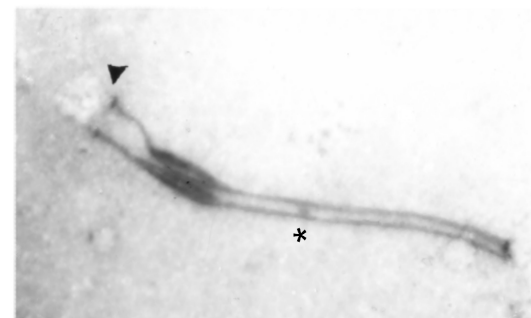
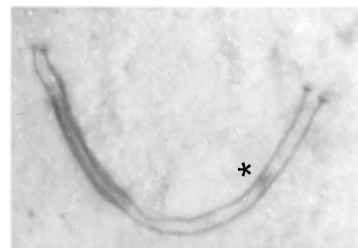
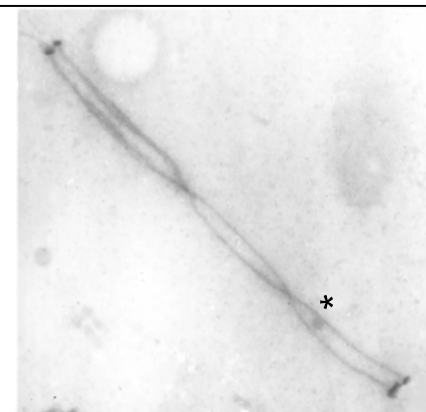
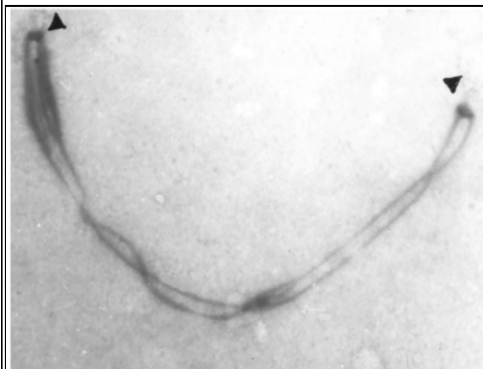
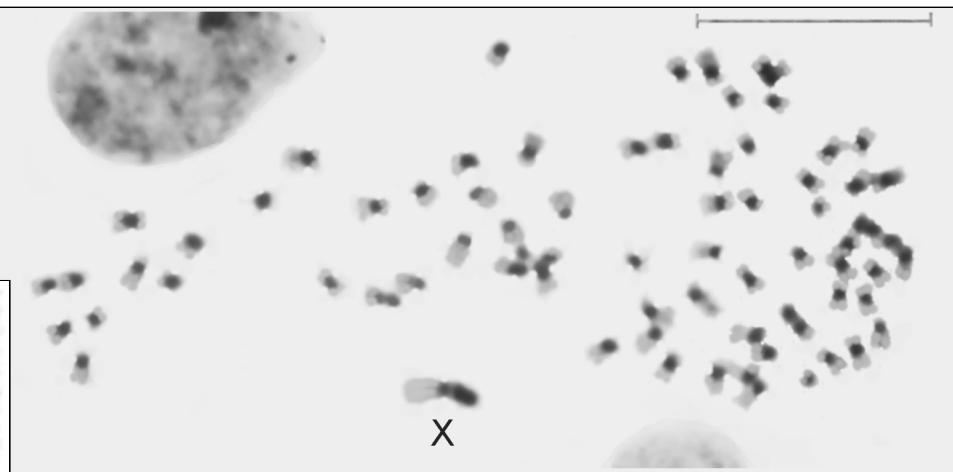


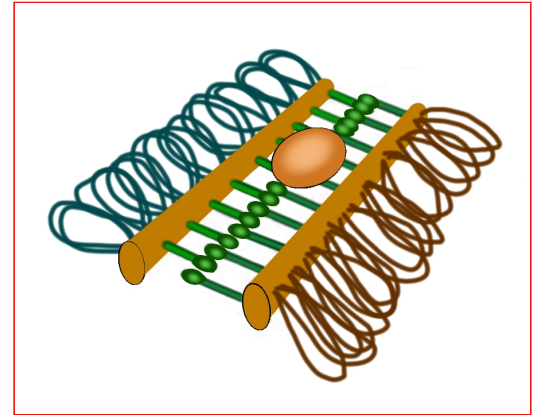
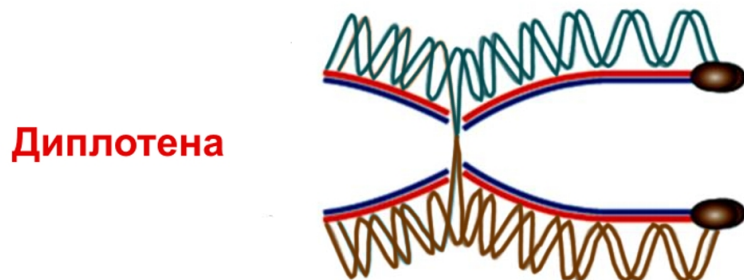
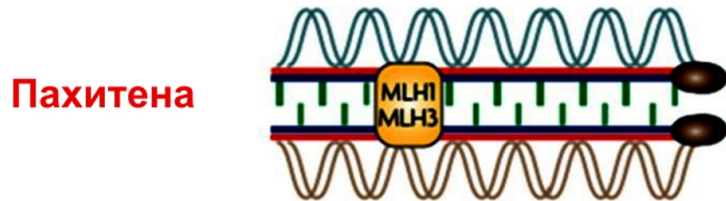
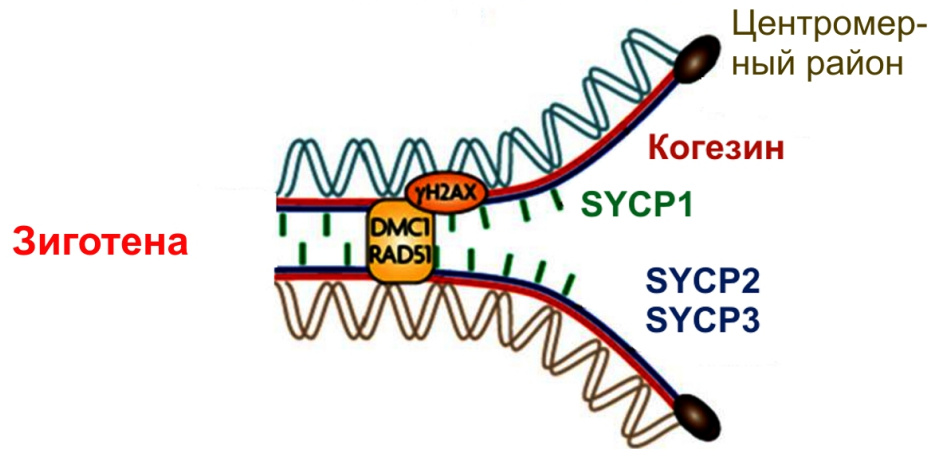
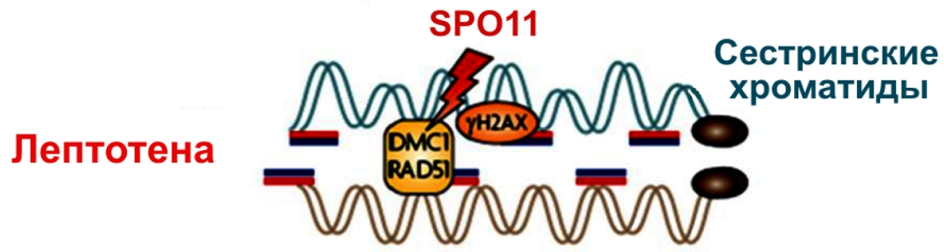
Поздние рекомбинационные узелки

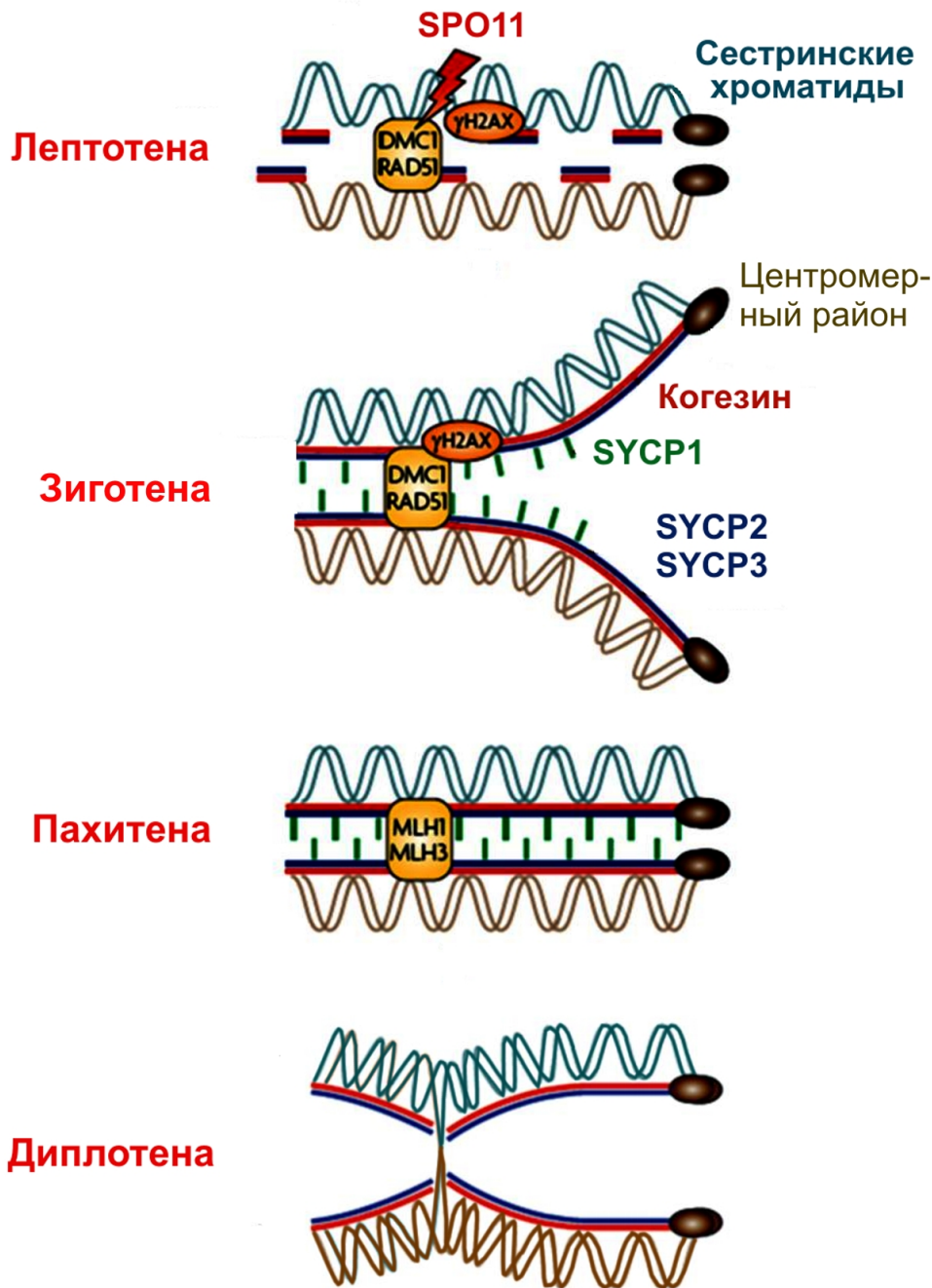


*Хромосомы и СК  
Blaberus sp.*

Рекомбинационные узелки  
отмечены звездочками







**SPO11** создает двунитевые разрывы в ДНК

**DMC1** направляет 3'-концы к хроматиде другого гомолога

**RAD51** взаимодействует с белками, которые вызывают деградацию 5'-концов

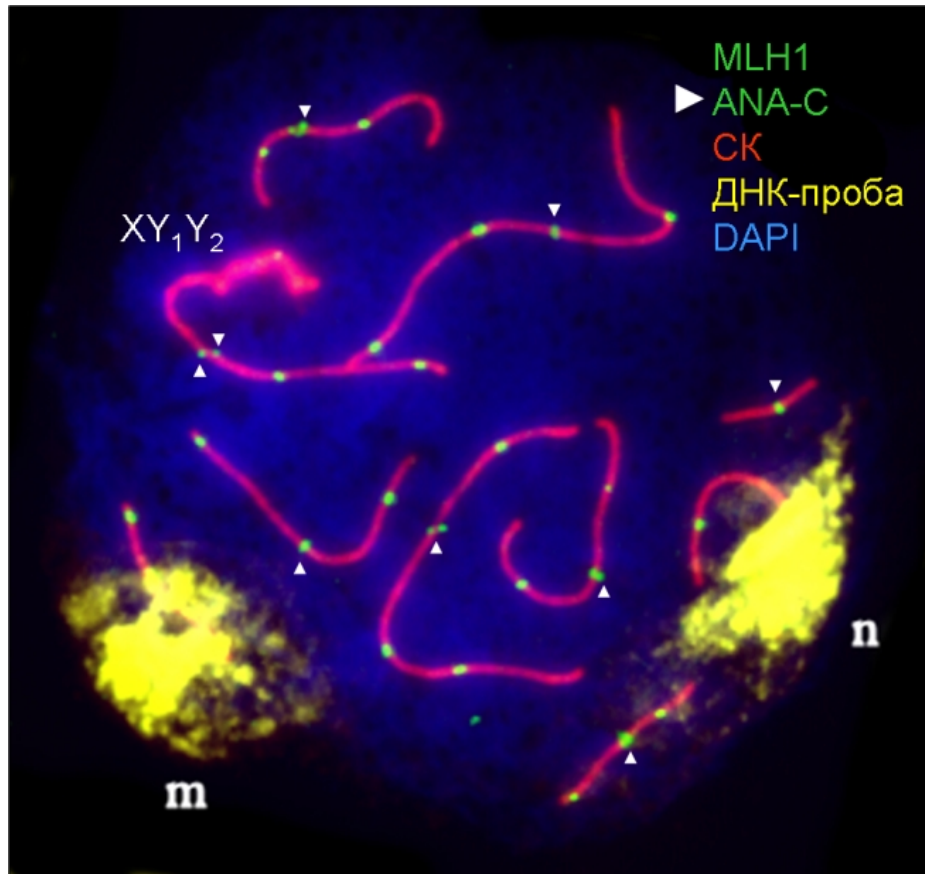
**Когезин** – комплекс белков (мейотический вариант)

**SYCP1** соединяет латеральные элементы

**SYCP2, SYCP3** входят в состав латерального элемента

**MLH1** – белок репарации ДНК

Иммунофлуоресцентное выявление белков в пахитене у бурозубки (Белоногова Н.М., 2006)



**SPO11** создает двунитевые разрывы в ДНК

**DMC1** направляет 3'-концы к хроматиде другого гомолога

**RAD51** взаимодействует с белками, которые вызывают деградацию 5'-концов

**Когезин** – комплекс белков (мейотический вариант)

**SYCP1** соединяет латеральные элементы

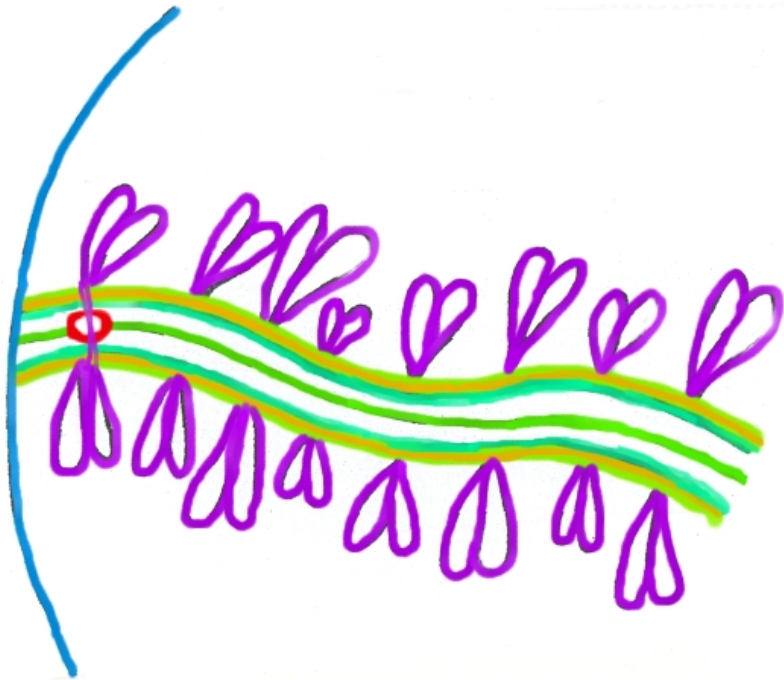
**SYCP2, SYCP3** входят в состав латерального элемента

**MLH1** – белок репарации ДНК

**Пахитенный арест – гибель мейоцитов,  
в которых к началу пахитены остались  
неспаренные участки хромосом**



Кроссинговер -  
внутрихромосомная  
рекомбинация



# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



В кроссинговере участвуют две хроматиды, по одной от каждого гомолога

# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



Двунитевой разрыв молекулы ДНК  
(участвуют белки: Spo11 (ТОРО II))

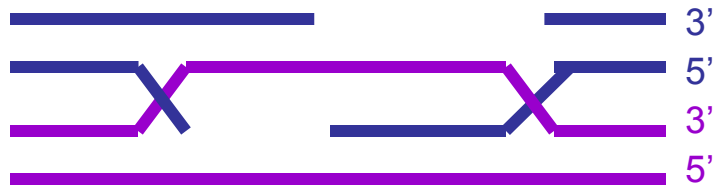


# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



5'-3' Экзонуклеазный гидролиз нитей

# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



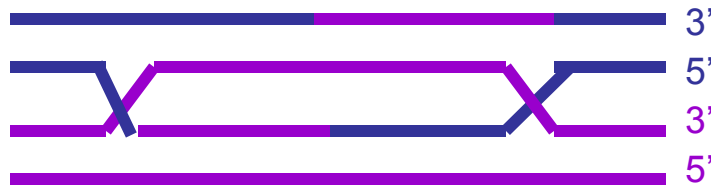
Инвазия нити, образование D-петли  
(DMC1, RAD51/54)

# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



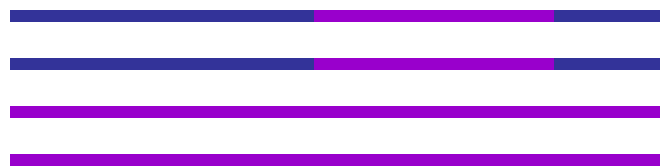
Миграция нити и  
репарационный синтез

# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



Нарушение спаривания цепей ДНК исправляется ферментами репарации

A B



*Конверсия*

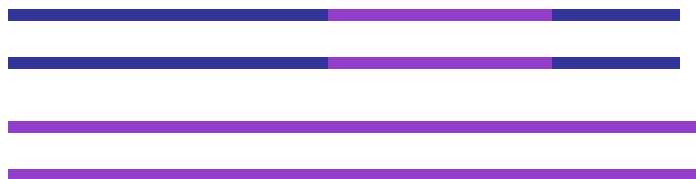
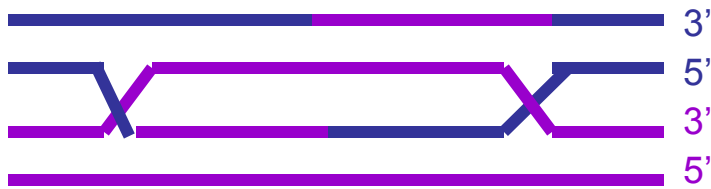
a  
b  
A b



*Кроссинговер*

a B

# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация



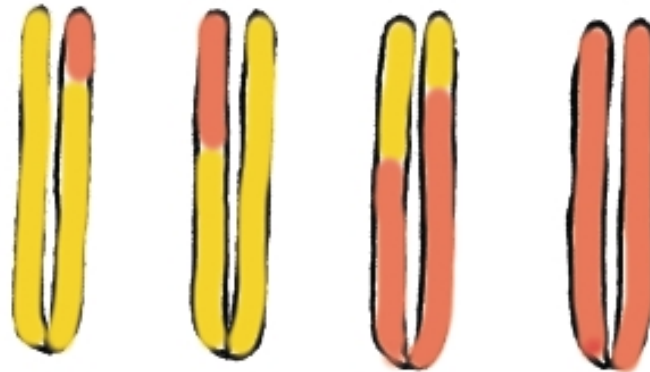
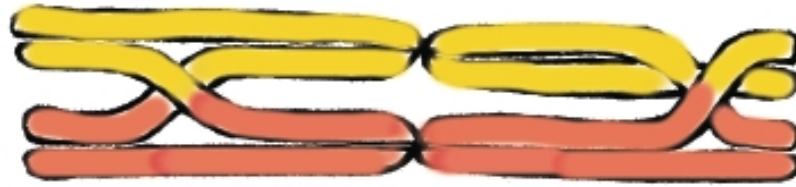
Конверсия

# Кроссинговер - внутрихромосомная рекомбинация

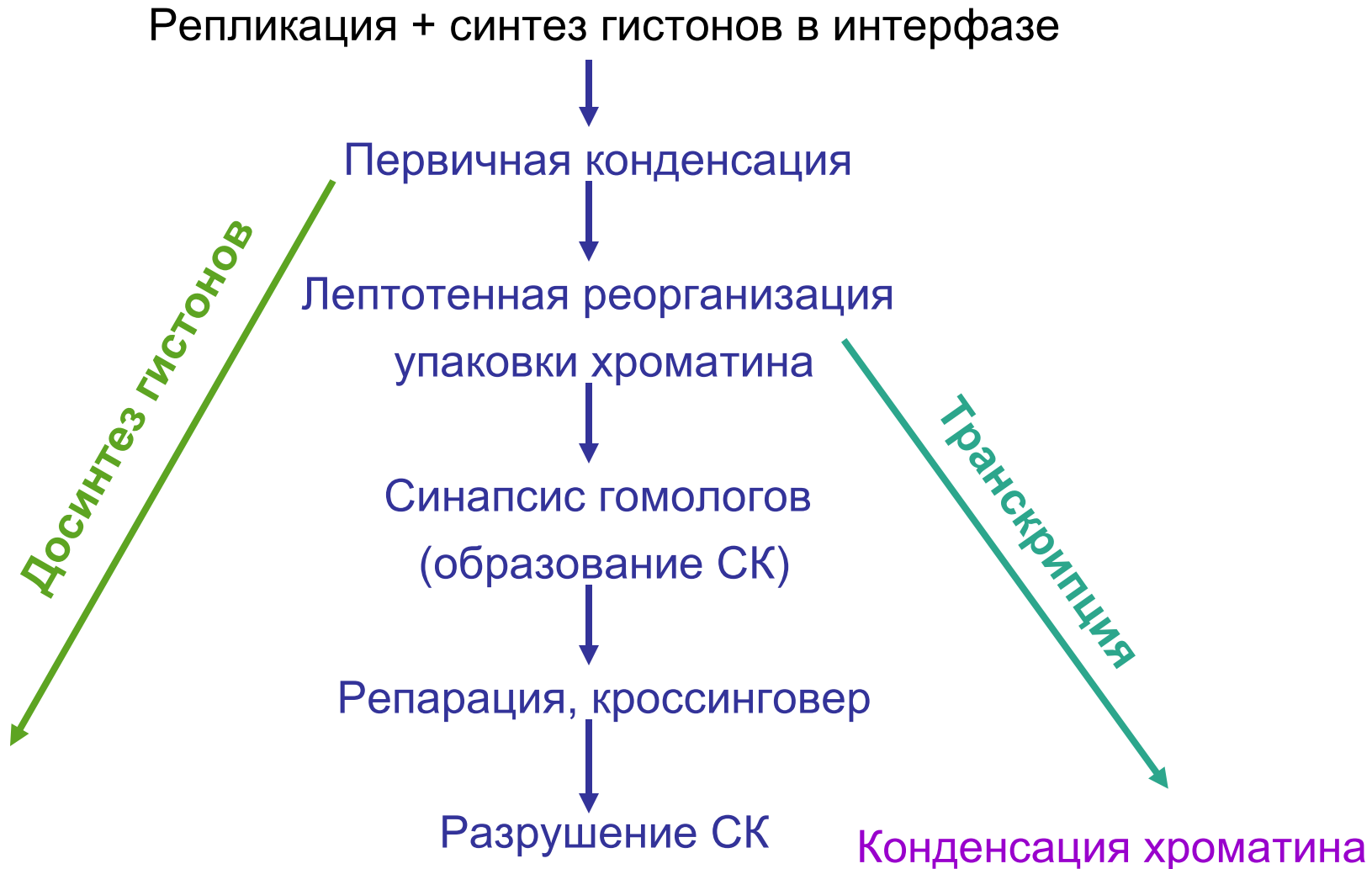


Кроссинговер

*В результате одного акта кроссинговера две хроматиды гомологов из четырех обмениваются участками*

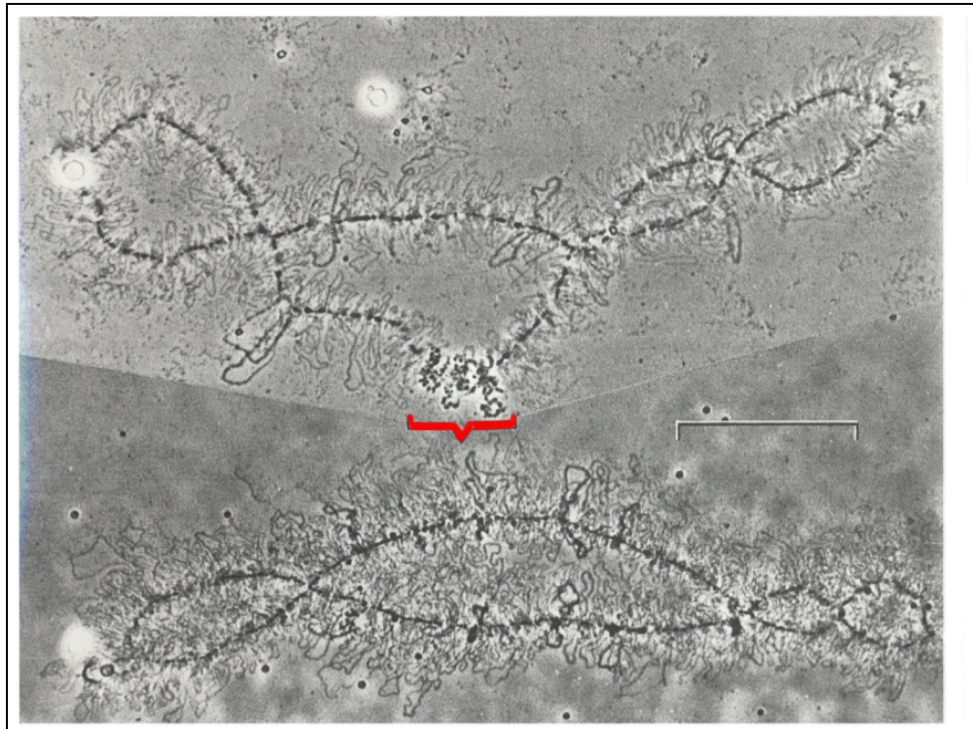


# Процессы первой профазы мейоза

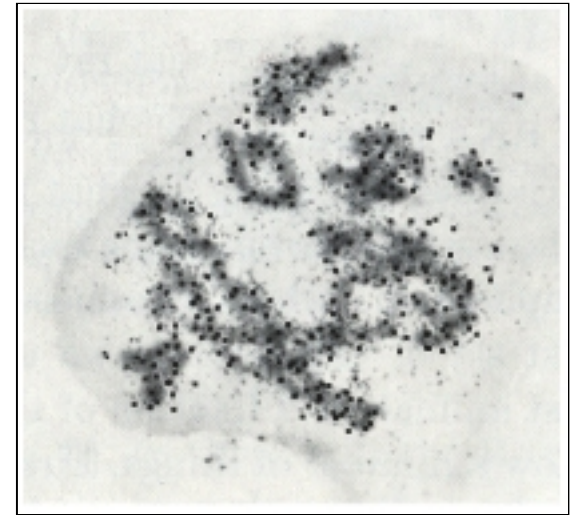




# Процессы первой профазы мейоза



«Ламповые щетки» в ооцитах амфибии.  
Биваленты на стадии диплотены

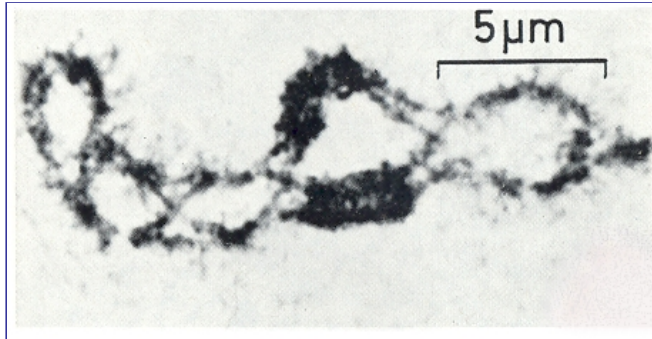


Включение меченого уридина в клетки на стадии диплотены (сперматогенез)

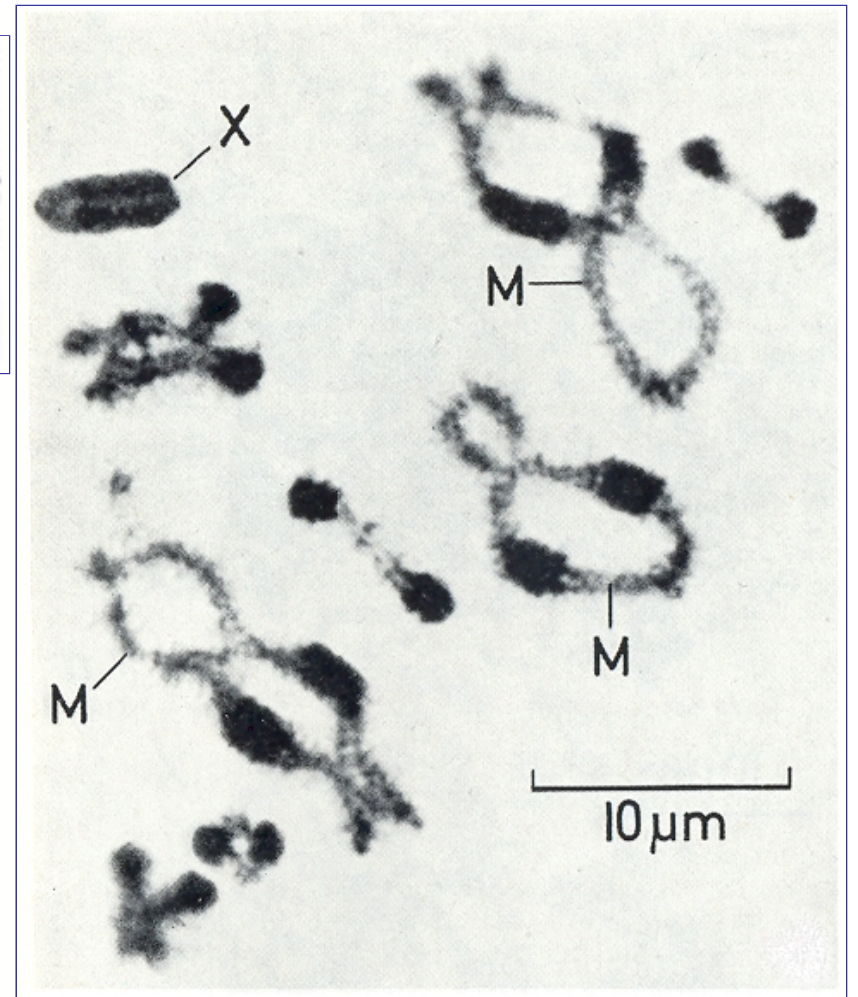
*Конденсация хромосом после исчезновения СК и сокращения транскрипционной активности*

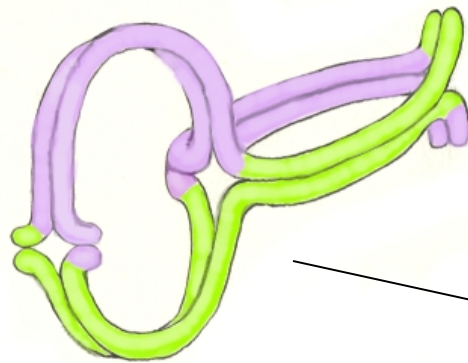
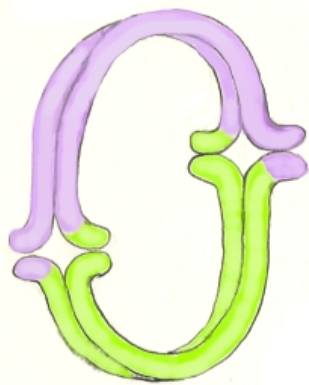




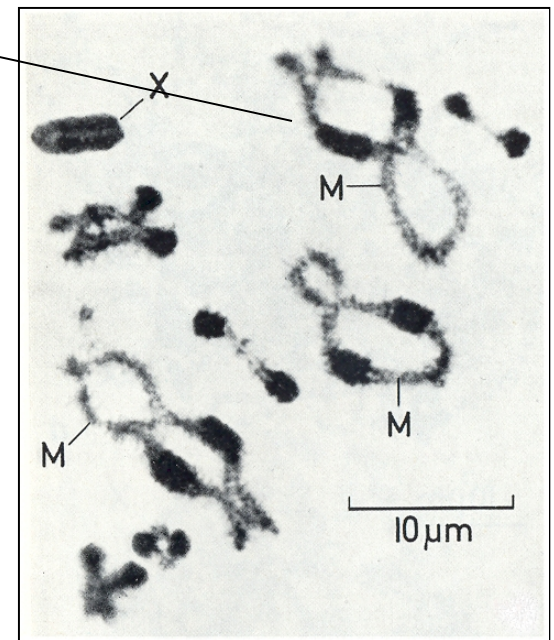


Диплотенный бивалент  
и клетка на стадии  
диакинеза у *Stauroderus scalaris*

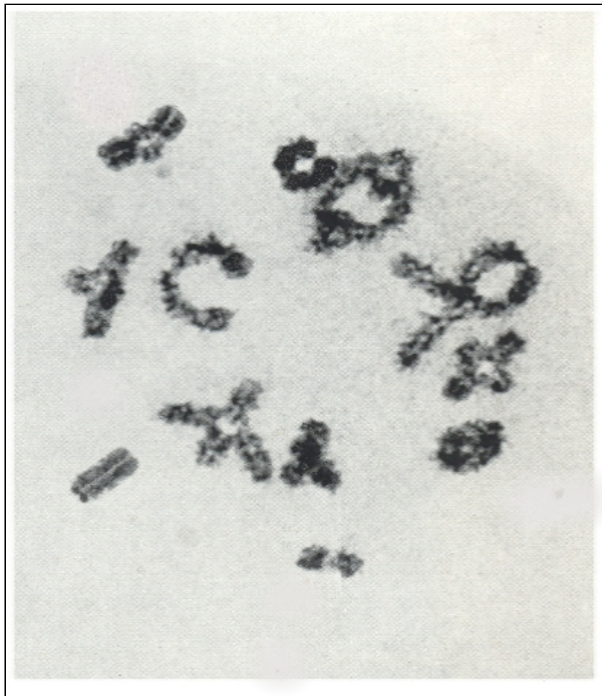




*Морфология бивалентов  
с двумя и тремя хиазмами*



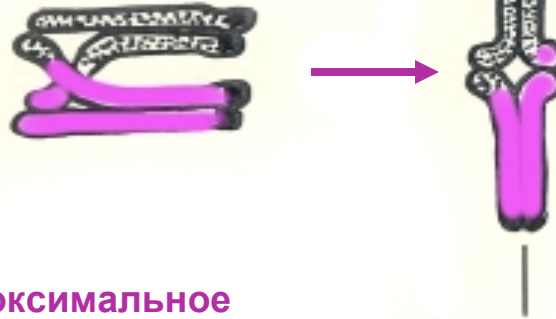
*Морфология бивалентов с одной хиазмой в диаканезе-метафазе I зависит от ее локализации*



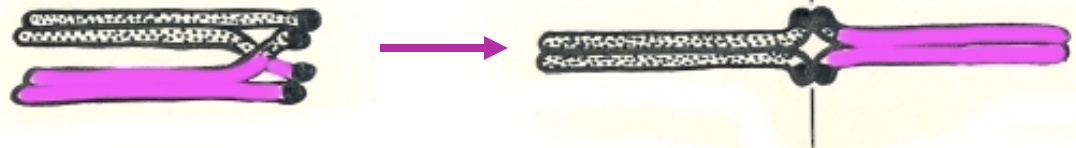
Срединное  
положение  
хиазмы



Дистальное  
положение  
хиазмы



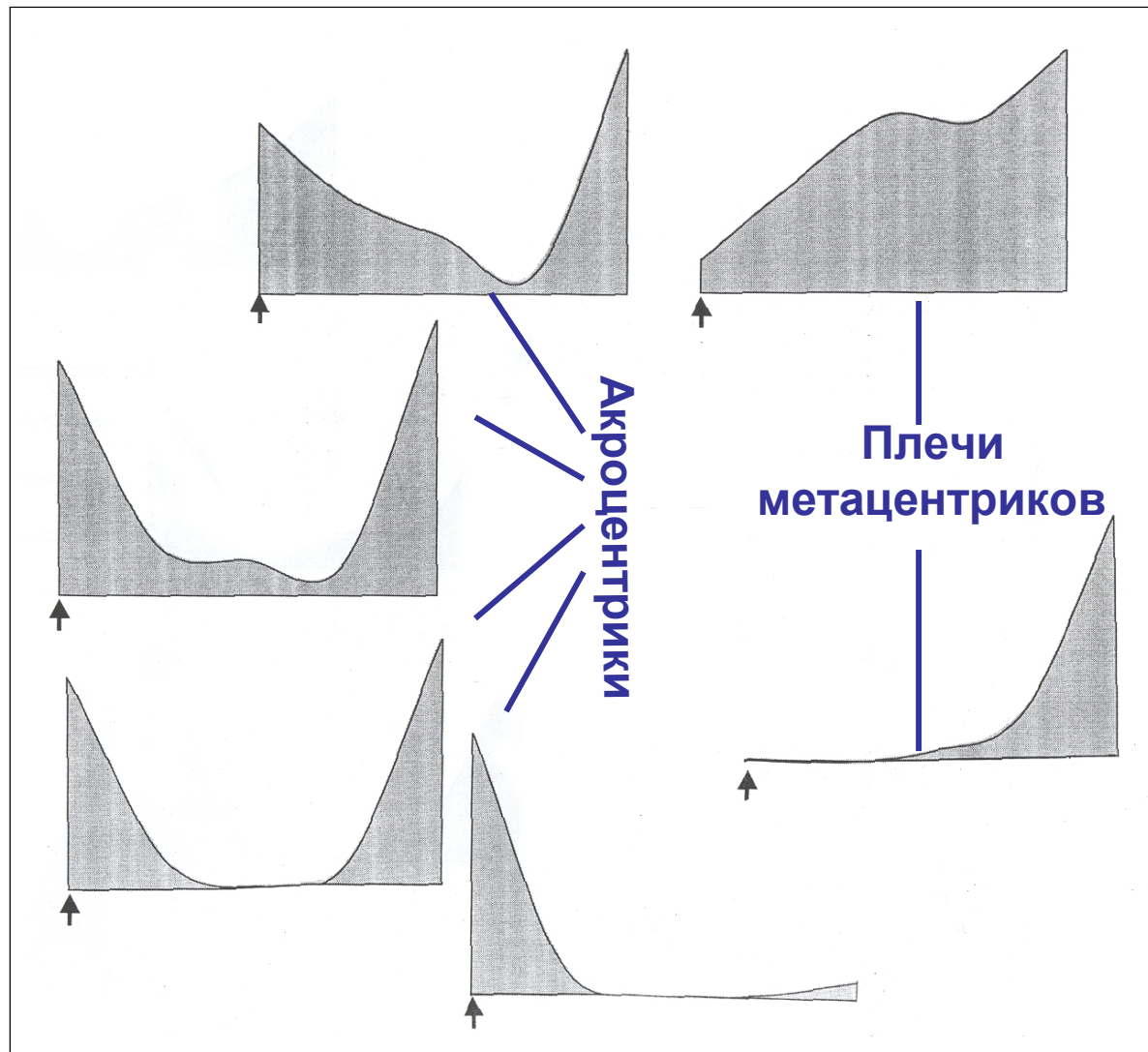
Проксимальное  
положение  
хиазмы



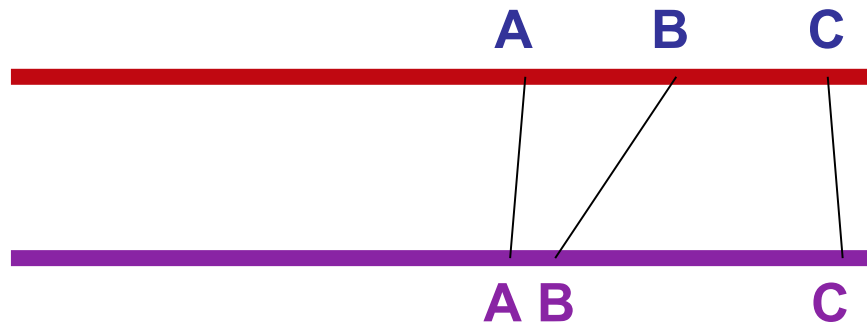
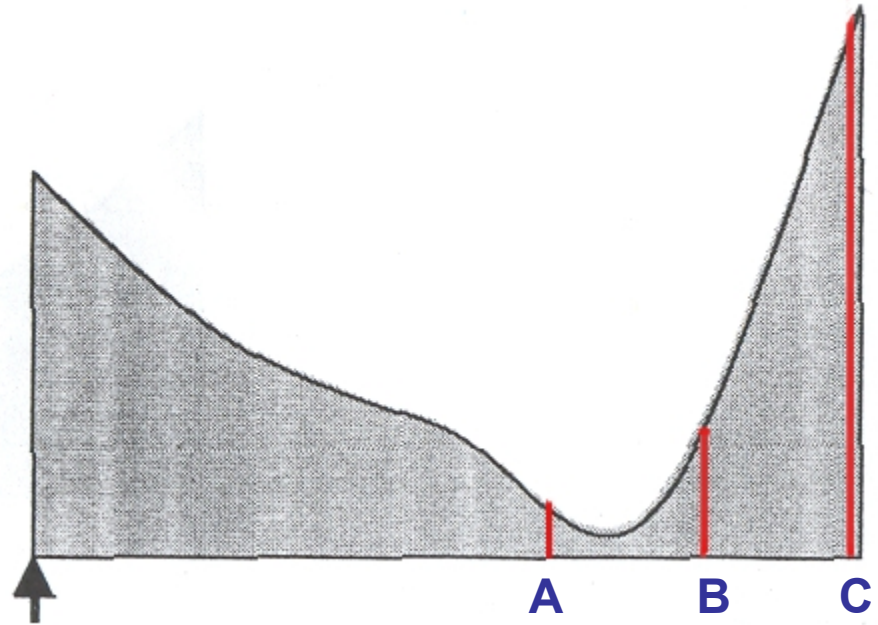


*Распределение  
рекомбинационных  
обменов по длине  
хромосомы не  
равномерно и  
имеет свои  
закономерности*

*Стрелки указывают  
положение центромеры*



Генетические и физические карты совпадают по порядку расположения генов, но отличаются по относительным расстояниям между ними. Причина этого - в неравномерном распределении кроссоверных обменов по длине хромосомы



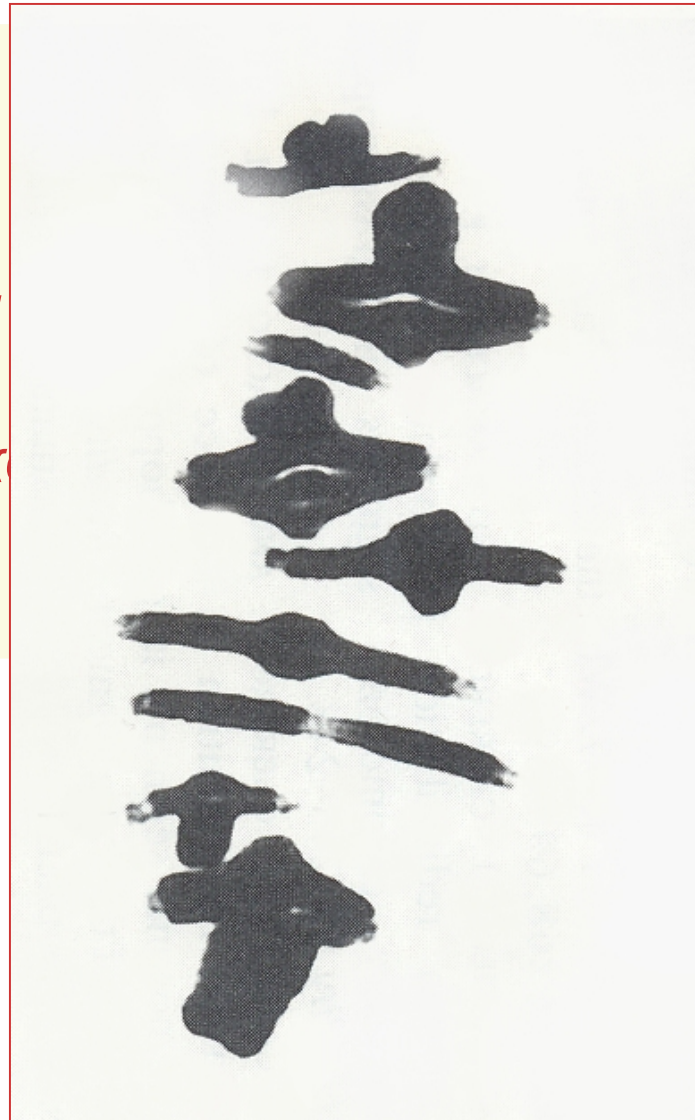
Сопоставление положения генов на **физической** и **генетической** карте

# Ход м

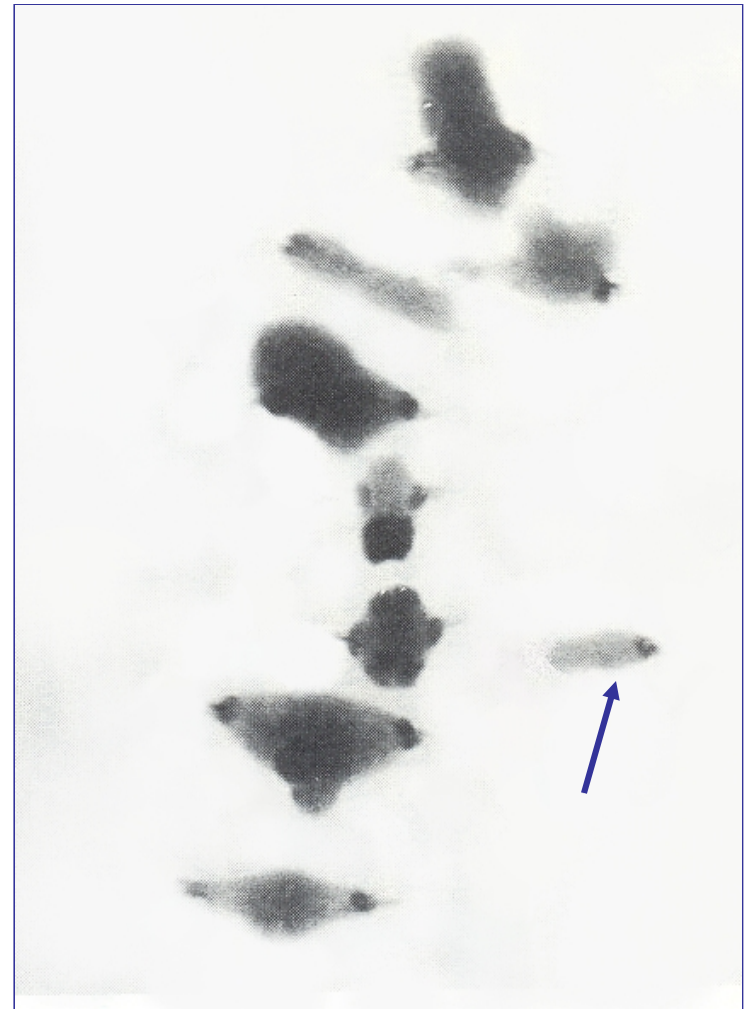
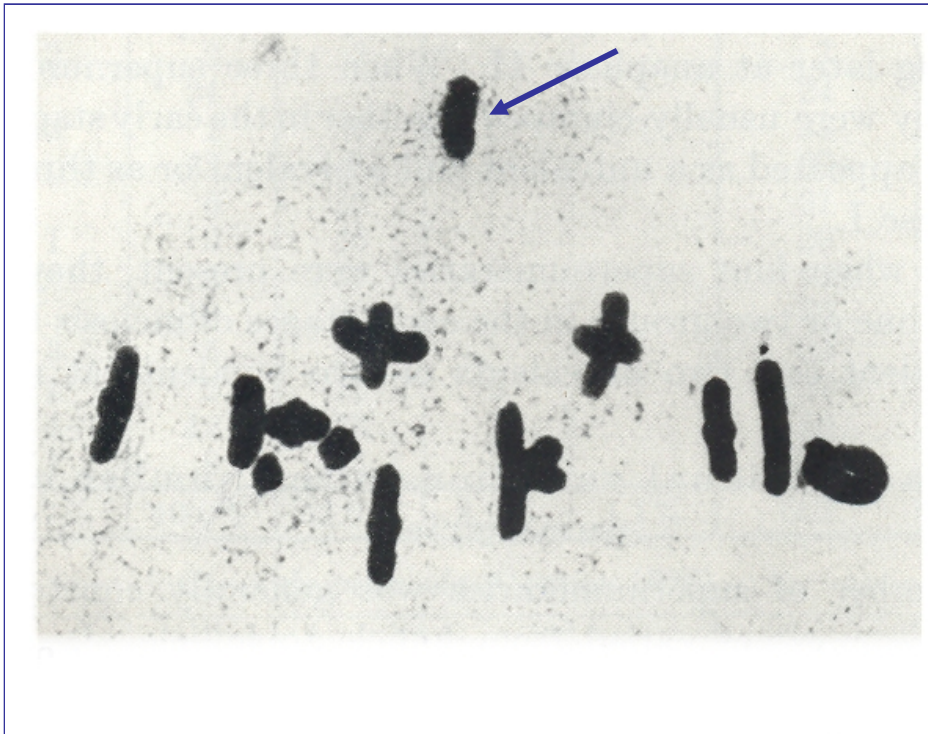




*Центромерный район  
хромосомы, состоящей  
из двух хроматид,  
действует как единый и  
связывается с  
микротрубочками только  
одного полюса  
(монополины).*



*Униваленты в первой  
метафазе  
прикрепляются только к  
одному полюсу*



Расхождение гомологичных хромосом к полюсам происходит только после диссоциации **когезинов**, расположенных в плечах хромосом, после их фосфорилирования.

В центромерных районах хромосом когезины сохраняют целостность до начала анафазы II благодаря белку **шугошину**, который привлекает к когезинам фосфатазу, препятствующую их фосфорилированию.



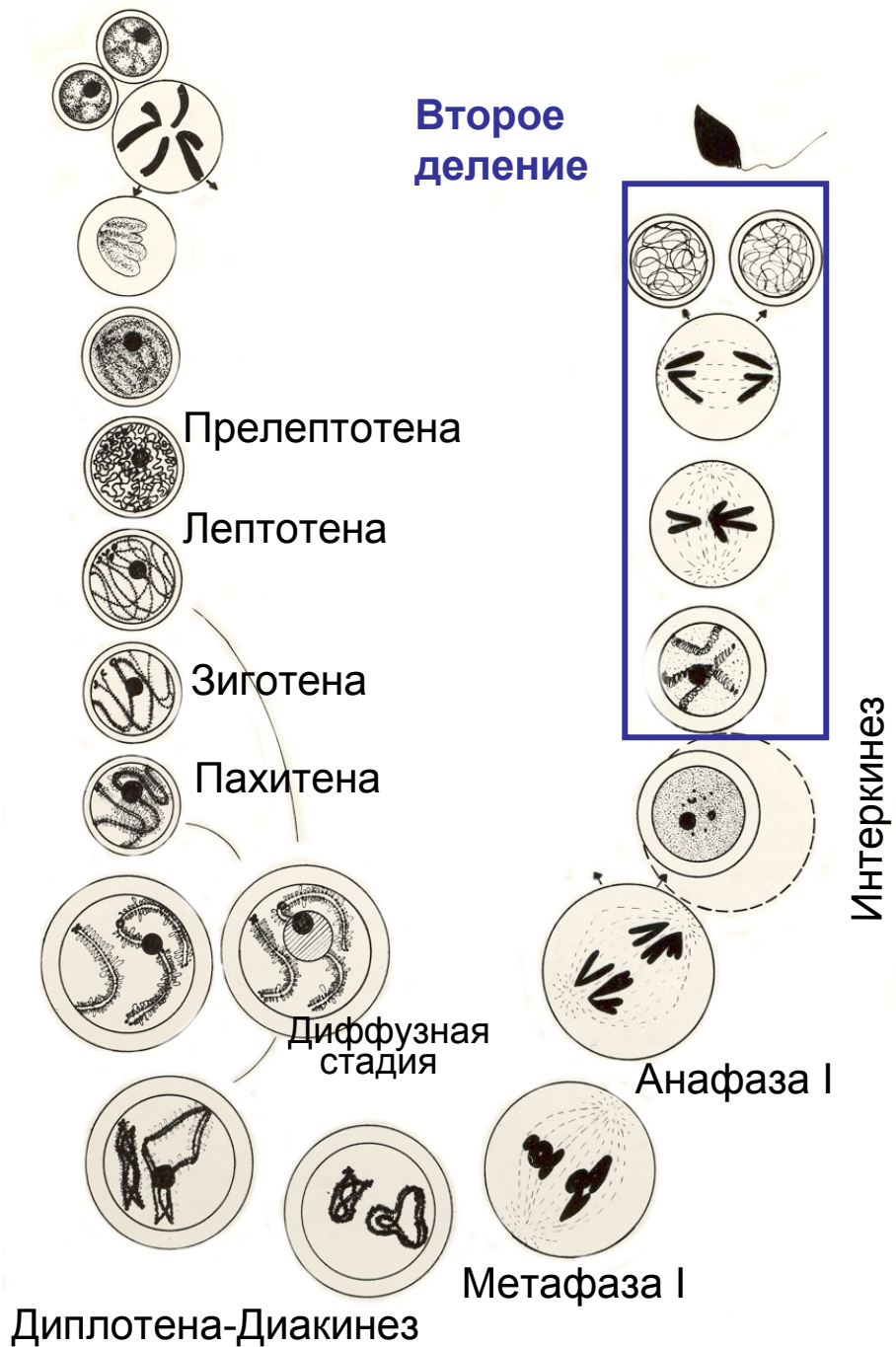
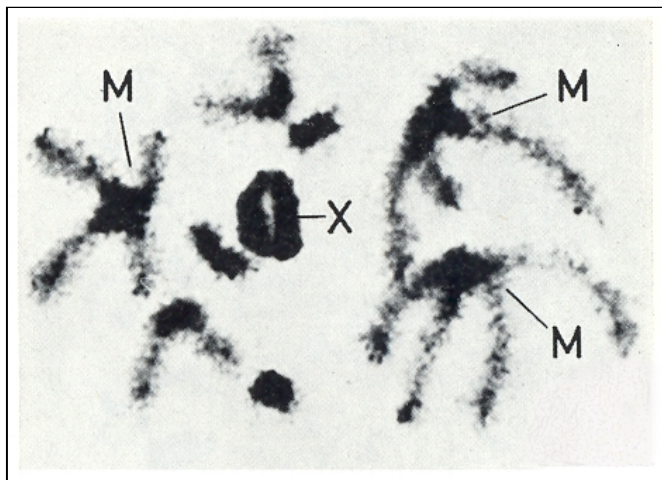


*В интеркинезе  
не происходит  
репликации ДНК.*

*У некоторых  
видов после  
анафазы I сразу  
наступает  
прометафаза II.*

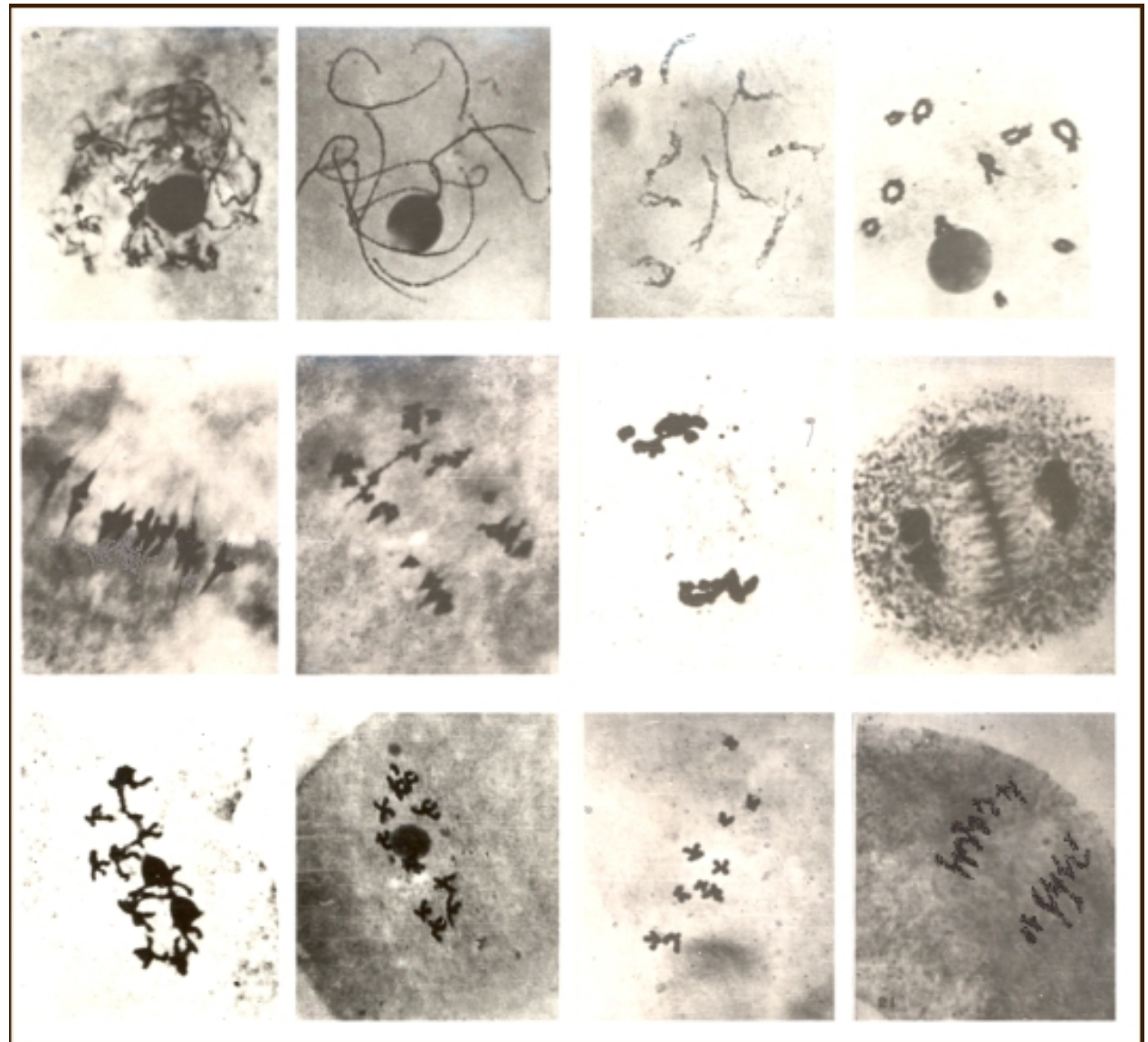


Сперматогониальная метафаза  
и метафаза II мейоза отличаются  
по морфологии хромосом  
(*Stauroderus scalaris*)

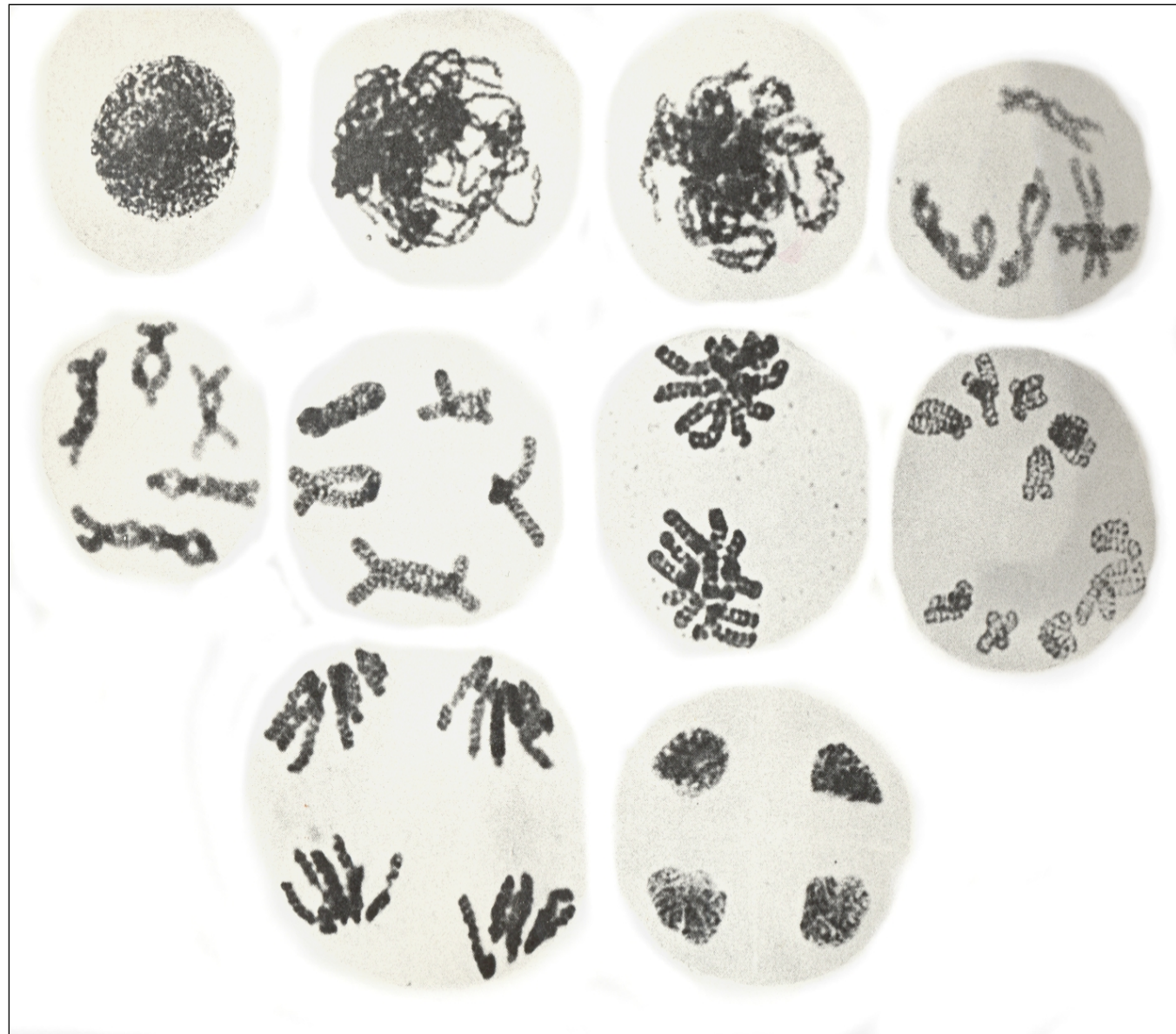




Ход  
мейоза  
у  
кукурузы

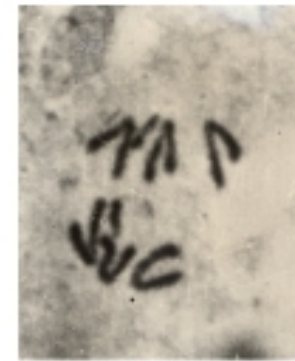
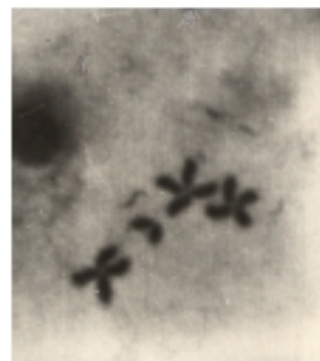
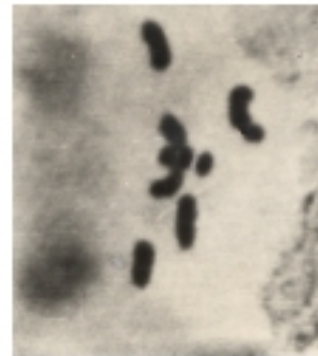
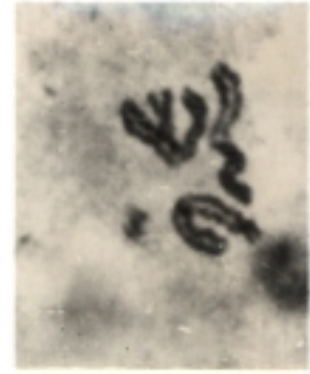
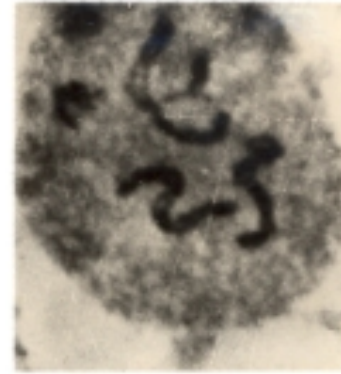
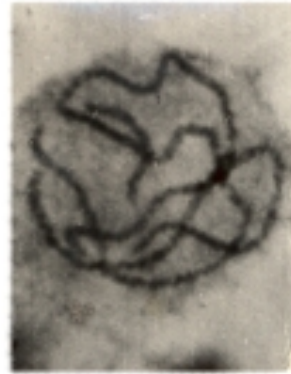


Ход мейоза у  
трилистника  
*Trillium erectum*





Ход мейоза  
у мотыля  
*Chironomus  
riparius*



# Длительность мейоза (в сутках)

