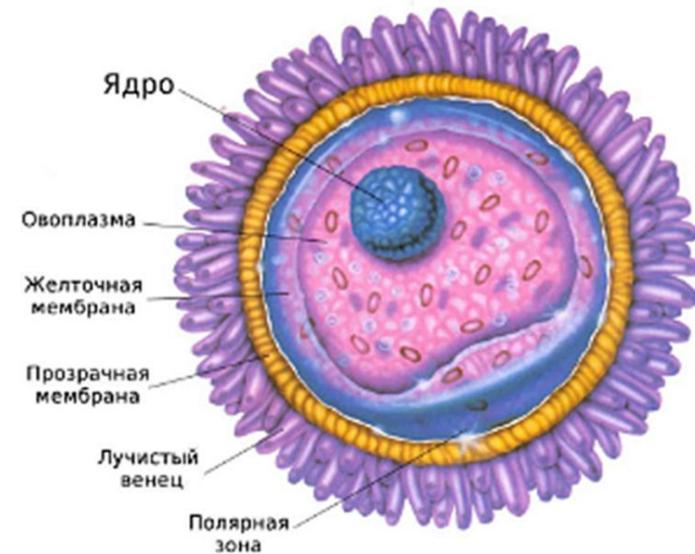


# Лекция 4. Размножение организмов. Мейоз. Гаметогенез у ЖИВОТНЫХ.



- Преемственность поколений организмов в природе обеспечивается **размножением** — способностью воспроизводить себе подобных. Существуют две основные формы размножения: **бесполое и половое**.

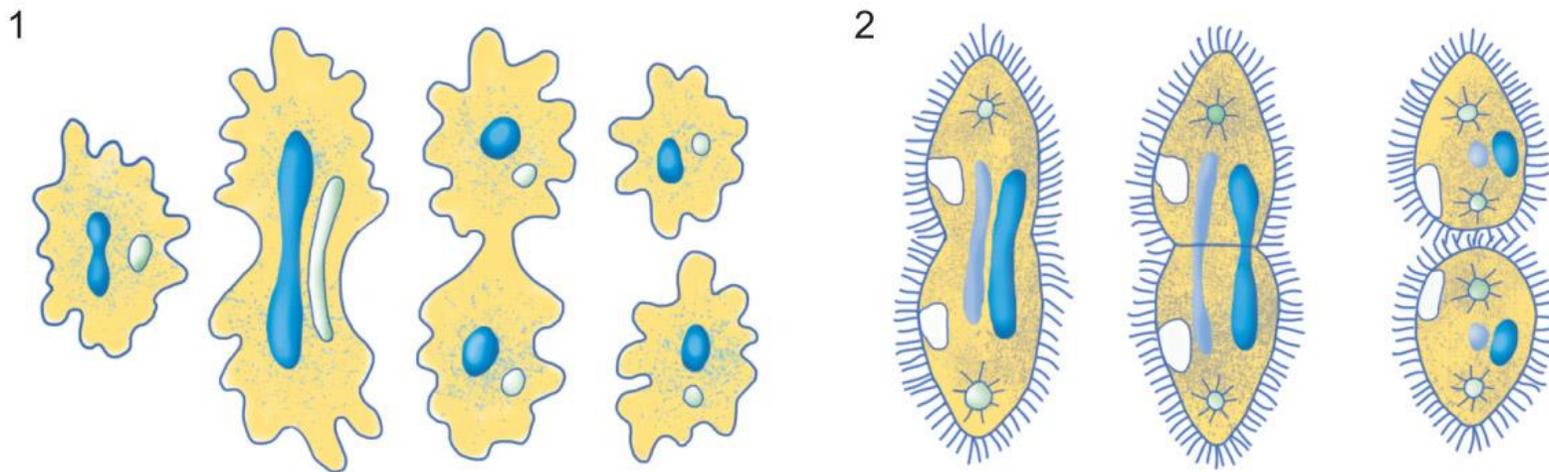
### **Бесполое размножение.**

- **Бесполое размножение** — образование нового организма **из одной или группы клеток исходного материнского организма**. В этом случае в размножении участвует только **одна родительская особь**, которая передаёт свою наследственную информацию дочерним особям. При бесполом размножении образуются идентичные потомки — **клоны** (от греч. κλον — отпрыск, ветвь). В основе бесполого размножения лежит **митотическое деление клетки**.
- Причиной разнообразия особей при бесполом размножении являются случайные наследственные изменения, которые могут появиться в процессе индивидуального развития организма.

## Способы бесполого размножения

- 1) Деление клетки надвое (простое)
- 2) Почкование
- 3) Спорообразование (споруляция)
- 4) Шизогония
- 5) Фрагментация
- 6) Вегетативное размножение
- 7) Полиэмбриония

**1. Простое деление, или деление надвое**, характерно для одноклеточных эукариот. В результате такого деления из одной клетки образуются две дочерние клетки, каждая из которых становится новым организмом. Таким способом размножаются все одноклеточные водоросли и большинство простейших. У некоторых простейших, например у малярийного плазмодия, происходит многократное деление исходной материнской клетки, в результате чего образуется многочисленное потомство.

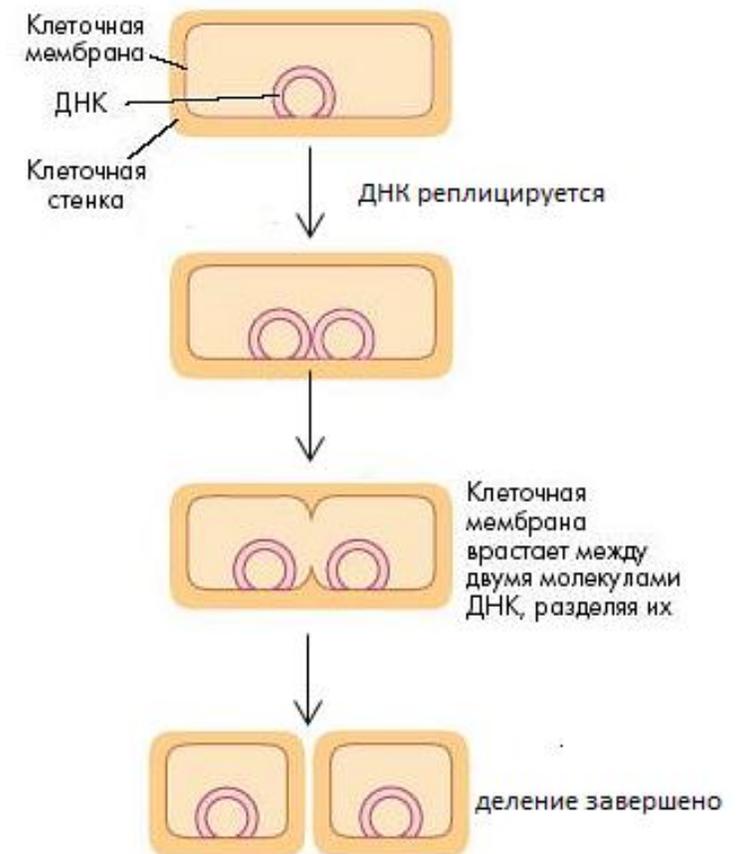


**Деление клеток амебы (1) и инфузории туфельки (2)  
как способ бесполого размножения одноклеточных**

Сходным образом размножаются и прокариоты. У бактерий кольцевая ДНК закрепляется на клеточной мембране и реплицируется. В клетке начинает образовываться поперечная перегородка со стороны прикрепления молекул ДНК. Затем она раздваивается, перемещая закреплённые ДНК в разные части клетки. Рибосомы равномерно распределяются, образуется перетяжка, которая разделяет клетку на две дочерние.

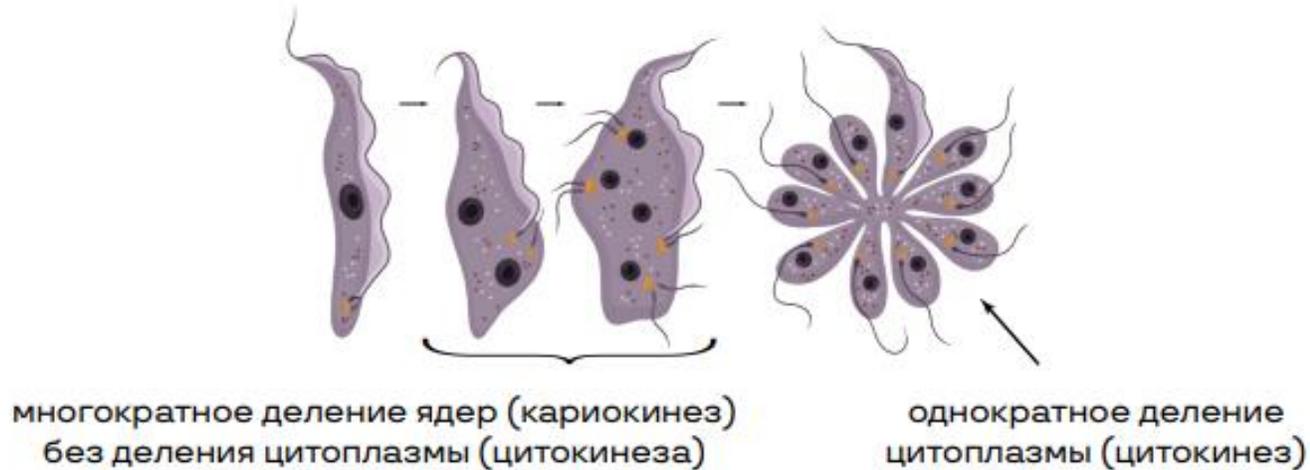
1. Репликация ДНК
2. Синтез мембраны в области контакта ДНК с цитоплазмой
3. Образование поперечной перегородки

•



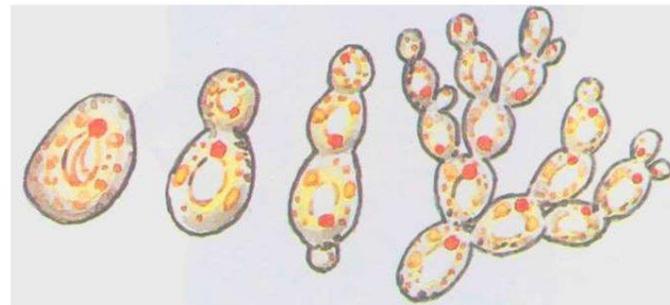
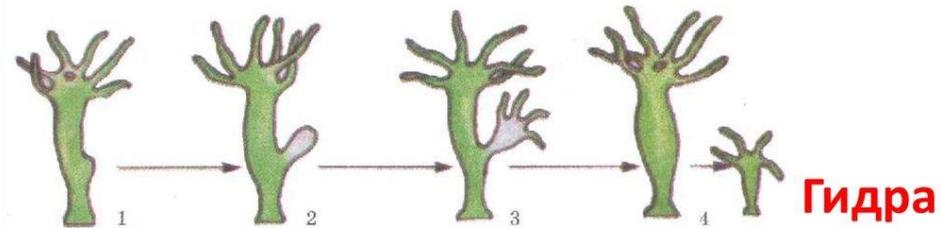
**Шизогония** способ бесполого размножения, во время которого ядро материнской особи делится несколько раз подряд без деления цитоплазмы (цитокинеза), а затем (после образования определенного количества ядер) образовавшаяся многоядерная клетка распадается на множество одноядерных клеток;

характерно для некоторых простейших (трипаносома, малярийный плазмодий).



**2. Почкование** — способ бесполого размножения, при котором от родительской особи отделяется небольшой вырост (почка) и из группы клеток исходного организма образуется дочерний. Такая форма размножения характерна для кишечнополостных и некоторых других животных, а также растений. Почкованием размножаются и одноклеточные грибы — дрожжи, у которых материнская клетка делится не на равные части, как при простом делении, а от неё постоянно отпочковывается меньшая дочерняя особь.

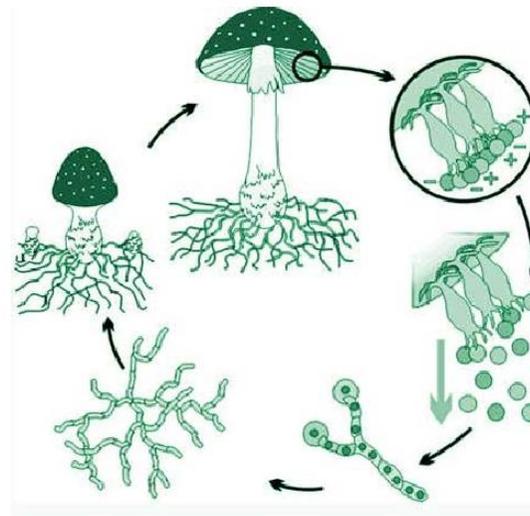
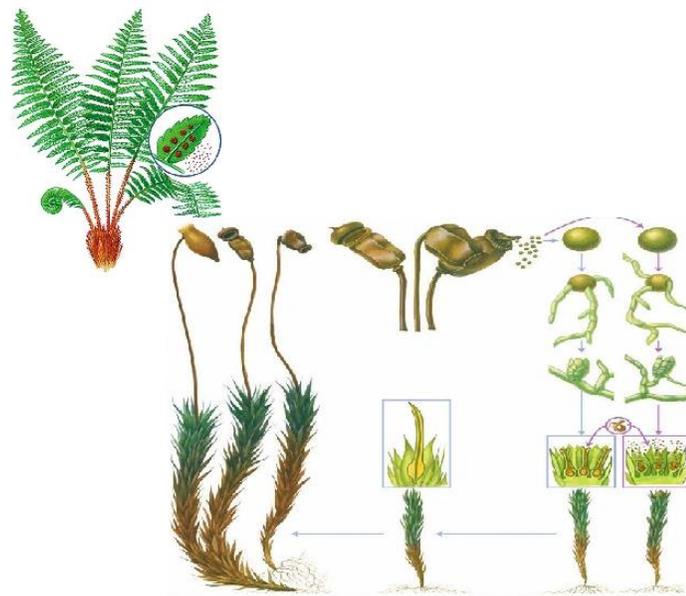
**Почкование**



**Дрожжи**

**3. Размножение спорами (споруляция).** У споровых растений (водорослей, мхов, папоротников) размножение происходит с помощью спор, образующихся в материнском организме. Спора представляет собой небольшую клетку, состоящую из ядра и цитоплазмы. Прорастая, она даёт начало новому организму. Так как споры микроскопически малы, то легко переносятся ветром, водой или животными, что способствует расселению исходного материнского организма. Спорами размножаются и грибы.

### Спорообразование



**4. Вегетативное размножение** — способ бесполого размножения отдельными органами, частями органов или тела. Встречается вегетативное размножение чаще всего у растений. Это размножение стеблями, листьями, побегами, видоизменёнными побегами или их частями, корнями. Способы вегетативного размножения растений: размножение луковицами (тюльпан), подземными столонами — клубнями (картофель), корневищами (пырей), корневыми шишками (георгин), отводками (смородина), корневыми отпрысками (малина), листьями (фиалки), надземными столонами — усам (земляника), выводковыми почками (бриофиллум).



Рис. Вегетативное размножение растений.

**5. Фрагментация** — разделение материнской особи на две части и более, каждая из которых может дать начало новому дочернему организму. Этот способ основан на регенерации — способности организмов восстанавливать недостающие части тела. Наблюдается фрагментация у беспозвоночных животных (кишечнополостных, плоских червей, морских звёзд). Тело животного, разделённое на части, достраивает благодаря такому размножению недостающие фрагменты. Например, при неблагоприятных условиях плоский червь планария распадается на отдельные части, каждая из которых при наступлении благоприятных условий может дать начало новому организму.

- Встречается фрагментация и у растений, например у водорослей, которые могут размножаться частями слоевища (таллома).



**6. Клонирование.** Клонирование - метод получения нескольких идентичных организмов путём бесполого (в том числе вегетативного) размножения. Сравнительно недавно, с 60-х гг. XX в., термин «клонирование» используется в более узком смысле и означает копирование клеток, генов, антител и даже многоклеточных организмов в лабораторных условиях. Ядро клетки содержит весь набор хромосом, а значит, и генов. Помещая клетку в определённые условия, можно заставить её делиться, что в конечном итоге приведёт к образованию нового самостоятельного организма. Опыт клонирования позвоночных животных впервые был поставлен на лягушке и дал положительные результаты.

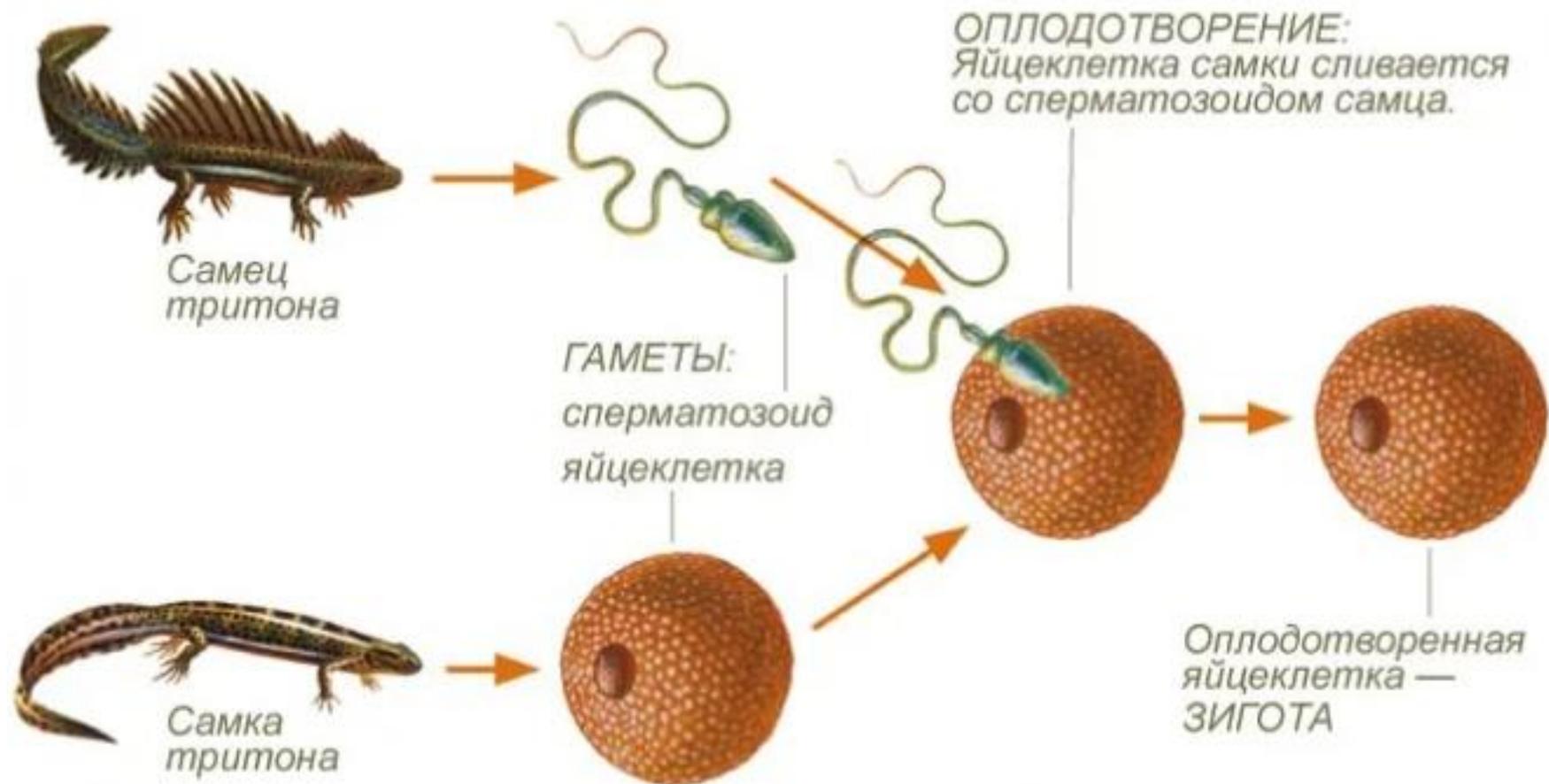


## Половое размножение

**Половое размножение** — это образование нового организма при участии, как правило, двух родительских особей. Новый организм несёт наследственную информацию обоих родителей, причём все потомки генетически будут отличаться друг от друга.

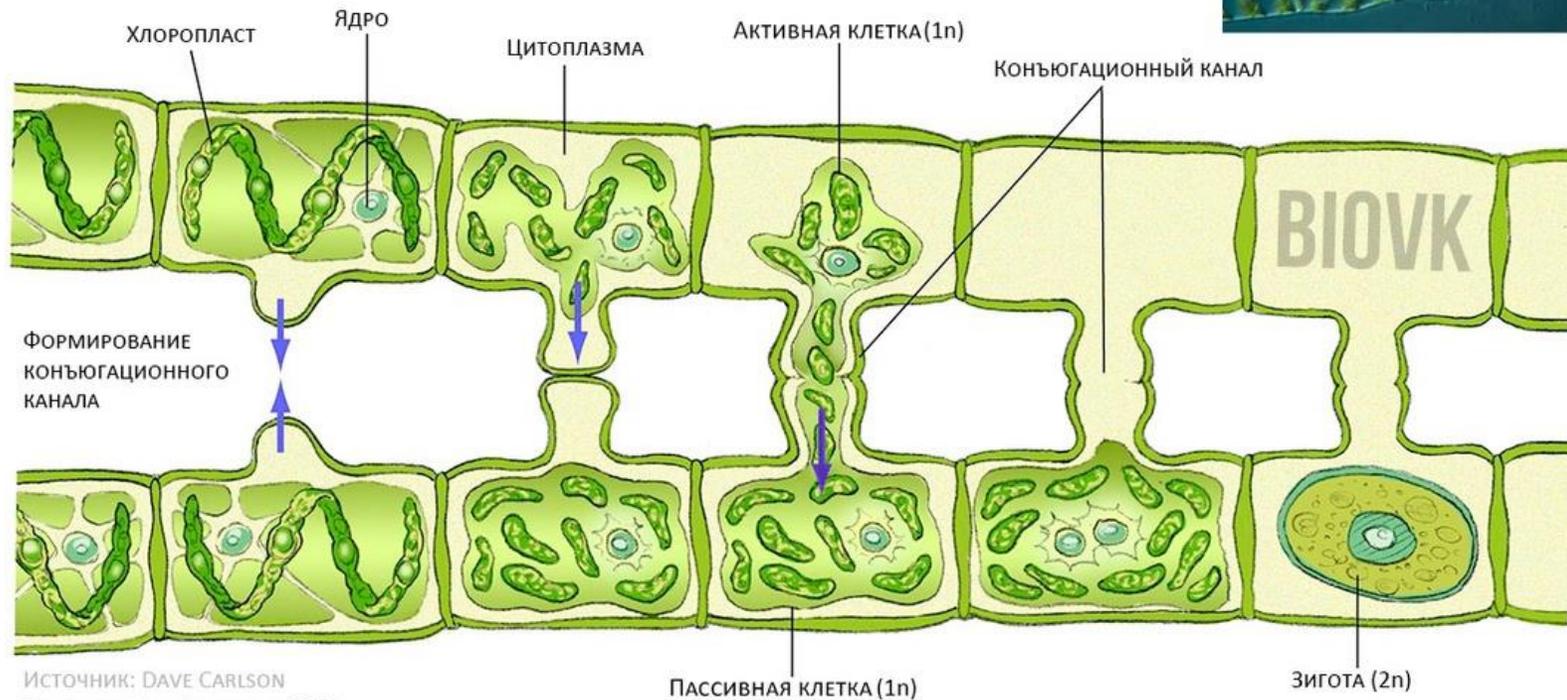
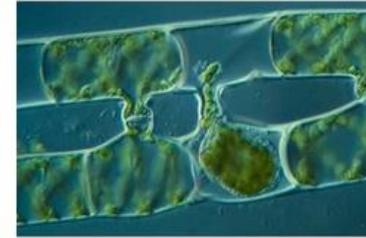
При половом размножении в организме формируются **гаметы** — **специальные половые клетки мужского и женского типа** с гаплоидным набором хромосом. **Мужские гаметы** — **сперматозоиды, или спермии** (если они неподвижны). **Женская гамета** — **яйцеклетка**. Гаплоидные клетки образуются в результате особого типа деления клеток — **мейоза**, при котором число хромосом в дочерних клетках уменьшается в два раза.

При слиянии гаплоидных ядер двух гамет образуется **зигота**, в которой вновь восстанавливается диплоидный набор хромосом. При этом половина всех хромосом является отцовской, а другая половина — материнской.



**Конъюгация.** У водорослей, простейших и низших грибов встречается **конъюгация** (от лат. conjugatio — соединение) — форма полового процесса, при котором сливается содержимое двух внешне сходных безжгутиковых гаплоидных клеток или происходит обмен ядрами между соседними клетками.

## КОНЬЮГАЦИЯ СПИРОГИРЫ



Источник: DAVE CARLSON  
Перевод: АЗАТ КАДИРОВ, 2022

**Партеногенéз** (девственное размножение), одна из форм полового размножения организмов, при которой **женские половые клетки** (яйцеклетки, яйца) **развиваются без оплодотворения**. Партеногенез даёт возможность размножения при редких контактах разнополых особей (например, на экологической периферии ареала), а также возможность резкого увеличения численности потомства (что важно для видов и популяций с большой циклической смертностью). Партеногенез наблюдается у пчёл, ос, муравьёв, дафний, некоторых червей. Партеногенез происходит неодинаково у разных видов.

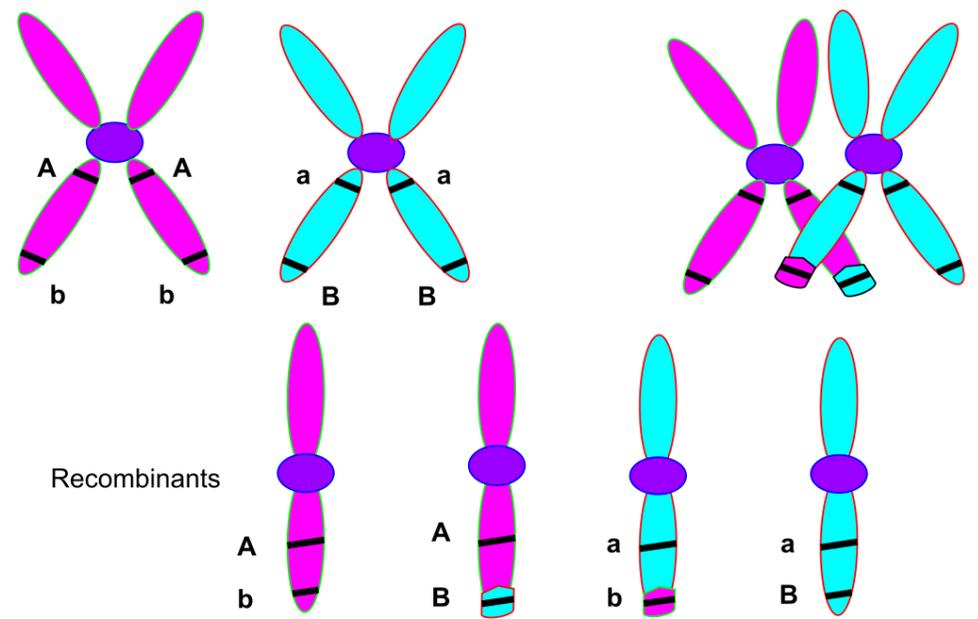
Пример:

у тлей в тёплое время из неоплодотворённых яиц появляется несколько поколений самок, а осенью рождаются самцы. У пчёл партеногенетическое размножение производит только трутней (самцов), а самки и рабочие пчёлы рождаются из оплодотворённых яиц.

## Основные выводы

**Половое размножение** имеет ряд преимуществ по сравнению с бесполом. Во время этого процесса происходит перераспределение генетической информации и её **рекомбинация**, в результате чего появляются особи с новыми признаками. Это приводит к приобретению организмом новых свойств. Половое размножение даёт возможность организмам адаптироваться к изменяющимся условиям среды, повышает их шансы на выживание. Поэтому в **эволюционном плане половое размножение более прогрессивно.**

# Мейоз



Половые клетки животных формируются в результате особого типа деления, при котором число хромосом во вновь образующихся дочерних клетках в два раза меньше, чем в исходной материнской клетке. У растений в жизненном цикле таким способом образуются гаплоидные споры.

**Мейоз** (от греч. meiosis — уменьшение) — это редукционное деление клетки, в процессе которого из одной диплоидной ( $2n$ ) клетки получаются 4 гаплоидные ( $n$ ) клетки.

Так как у дочерних клеток происходит **уменьшение** (редукция) числа хромосом с  $2n$  до  $n$ , такое деление названо **редукционным**.

Для **мейоза** характерны те же стадии, что и для митоза, но мейоз **состоит из двух последовательных процессов** — первого деления мейоза (**мейоз I**) и второго деления мейоза (**мейоз II**). В результате образуются не две, а **четыре** клетки с гаплоидным набором хромосом. Мейоз был открыт у животных в 1882 г. В. Флеммингом.



В. Флеммингом.

В 1888 г. Э. Страсбургер установил явление редукции числа хромосом у растений.



*E. Strasburger*

Э. Страсбургер

## Стадии мейоза

Как и митозу, мейозу предшествует интерфаза, продолжительность которой бывает различной и зависит от вида организма. На этой стадии происходит репликация ДНК — удвоение молекул. Каждая хромосома перед началом деления состоит из двух молекул ДНК, которые образуют две сестринские хроматиды, сцепленные центромерами. Кроме того, за счёт удвоения количества органоидов клетка увеличивается в размерах.

В это время клетка имеет диплоидный набор хромосом ( $2n$ ), а каждая хромосома состоит из двух молекул ДНК, поэтому всего в клетке находится  $4c$  молекул ДНК. Таким образом, перед началом деления набор хромосом и количество ДНК в клетке составляет соответственно  $2n$ ,  $4c$ .

# Мейоз I

## Профаза I.

Профаза первого деления мейоза (мейоз I) значительно длиннее и сложнее, чем в митозе. Её подразделяют на пять стадий: **лептотена**, **зиготена**, **пахитена**, **диplotена**, **диакинез**.

**Лептотена.** Хромосомы спирализуются, становятся хорошо заметными. Каждая состоит из двух сестринских хроматид, но они тесно сближены и создают впечатление одной тонкой нити. Отдельные участки хромосом, интенсивно окрашенные за счёт более сильной спирализации, называют хромомерами.

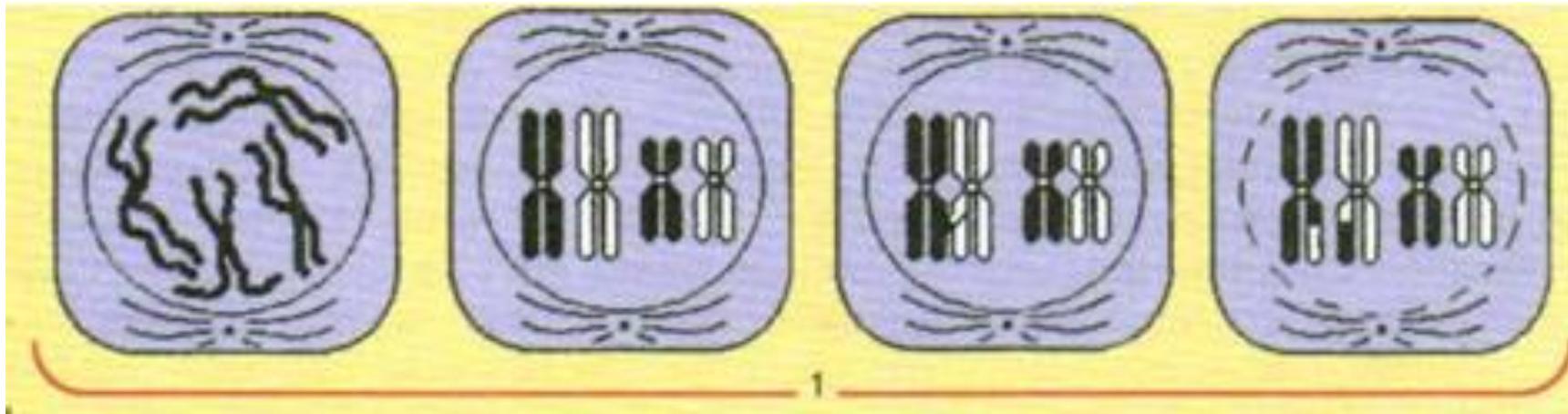
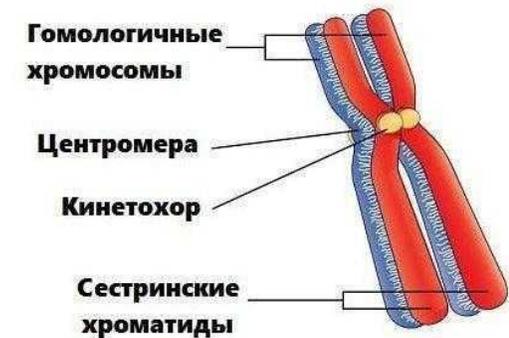
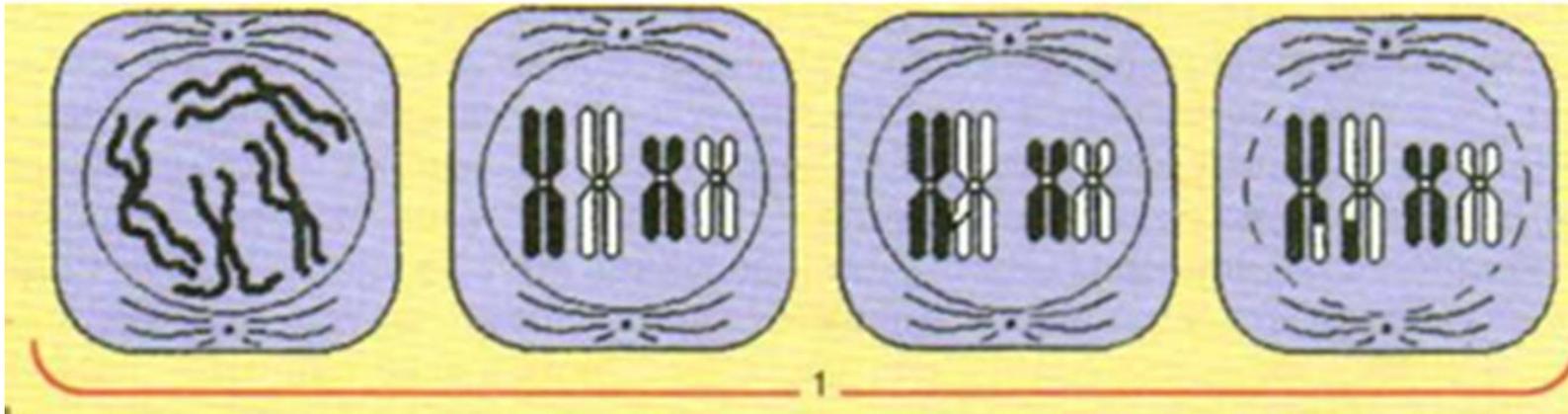
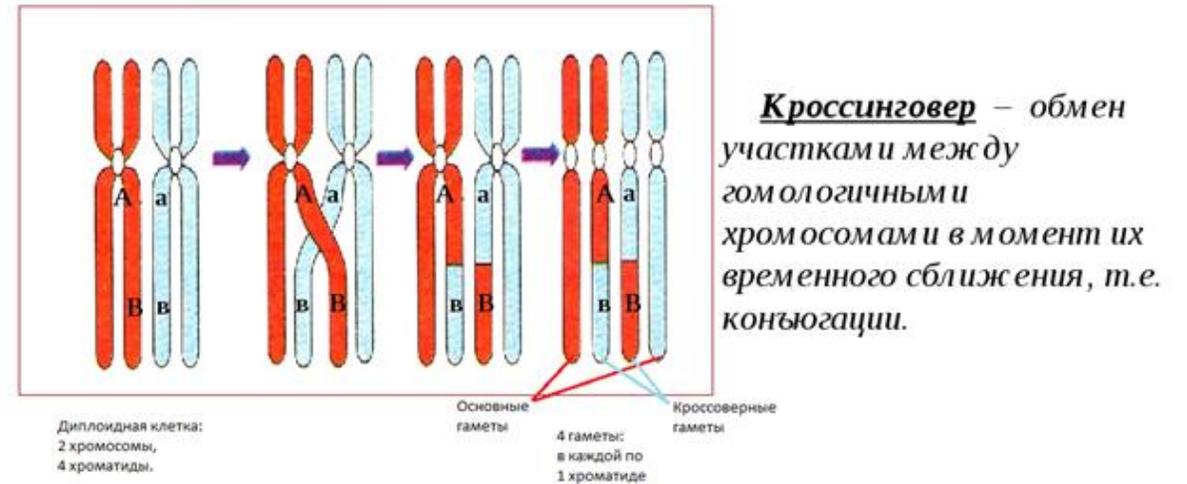
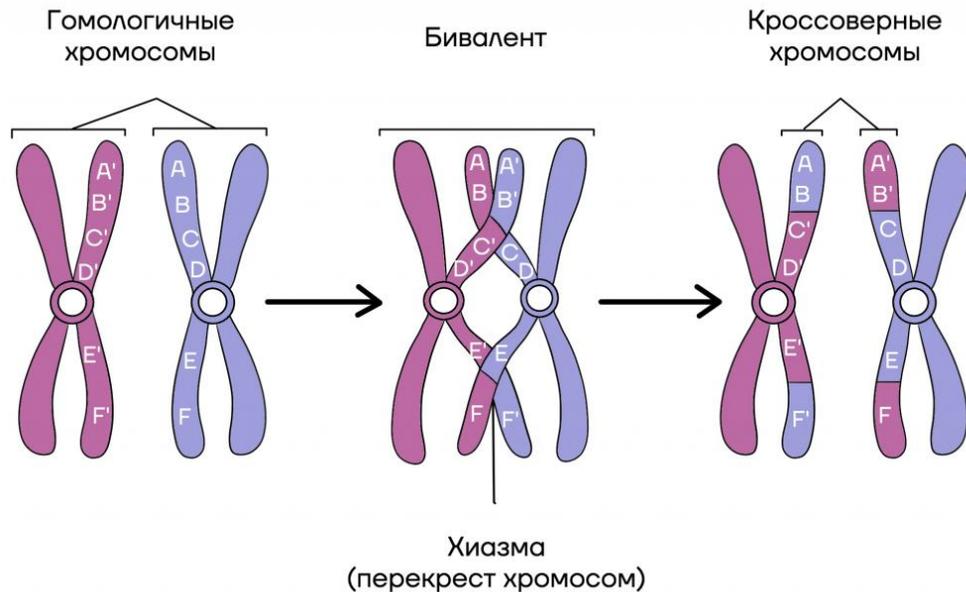


Рис. Профаза I

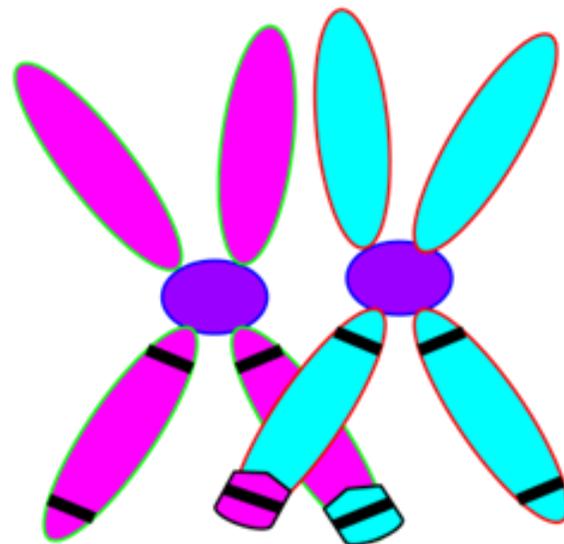
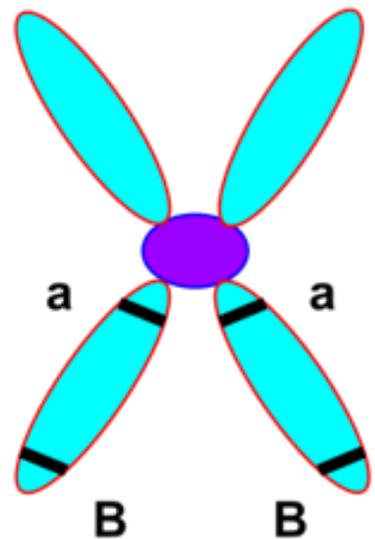
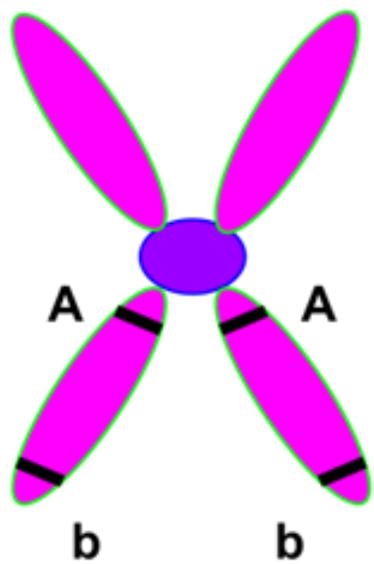
**Зиготена.** Происходит **конъюгация** — **сближение гомологичных хромосом**. Они попарно соединяются, как бы накладываясь друг на друга, причём однотипные участки с одинаковыми генами соприкасаются друг с другом. Пары конъюгированных гомологичных хромосом образуют **биваленты** — **двойные хромосомы**. Каждая гомологичная хромосома состоит из двух сестринских хроматид, значит, биваленты фактически представляют собой тетрады, состоящие из четырёх хроматид.



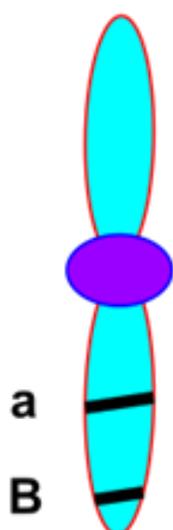
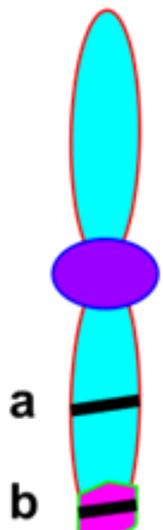
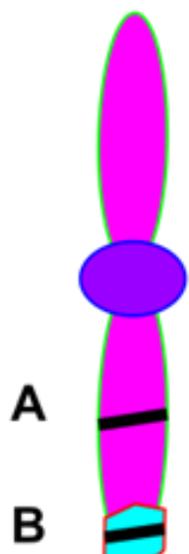
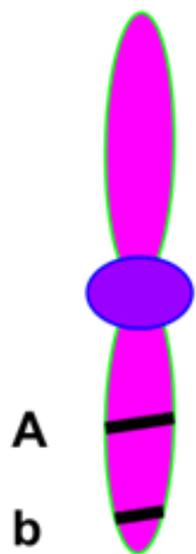
**Пахитена.** Достаточно длительная стадия, так как именно на этой стадии во время конъюгации может происходить обмен участками гомологичных хромосом — **кроссинговер** (от англ. crossingover — перекрёст). Между несестринскими хроматидами двух гомологичных хромосом начинается обмен некоторыми генами, что приводит к изменению их взаимного расположения в хромосомах — **генетической рекомбинации**. Следовательно, в результате кроссинговера изменяется набор генов в хромосомах делящейся клетки, что ведёт к изменчивости. К концу этой стадии мейоза биваленты укорачиваются и утолщаются.



**Кроссинговер** – обмен участками между гомологичными хромосомами в момент их временного сближения, т.е. конъюгации.



Recombinants



**Диплотена.** Гомологичные хромосомы начинают как бы отталкиваться друг от друга. Конъюгация заканчивается, однако хромосомы ещё остаются связанными друг с другом в точках, в которых происходил кроссинговер. В таком состоянии они могут находиться довольно долго.

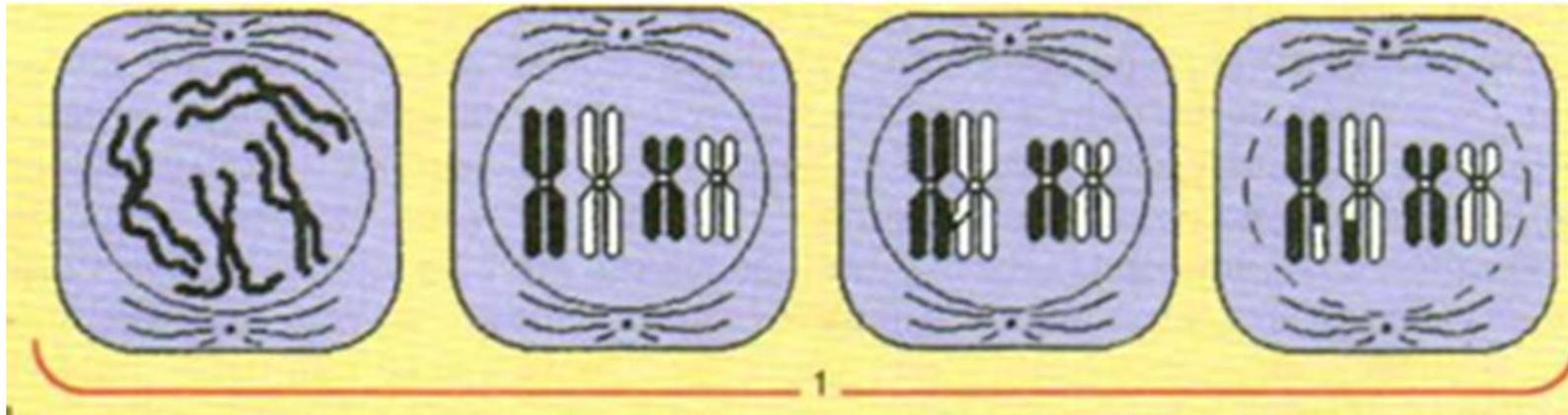
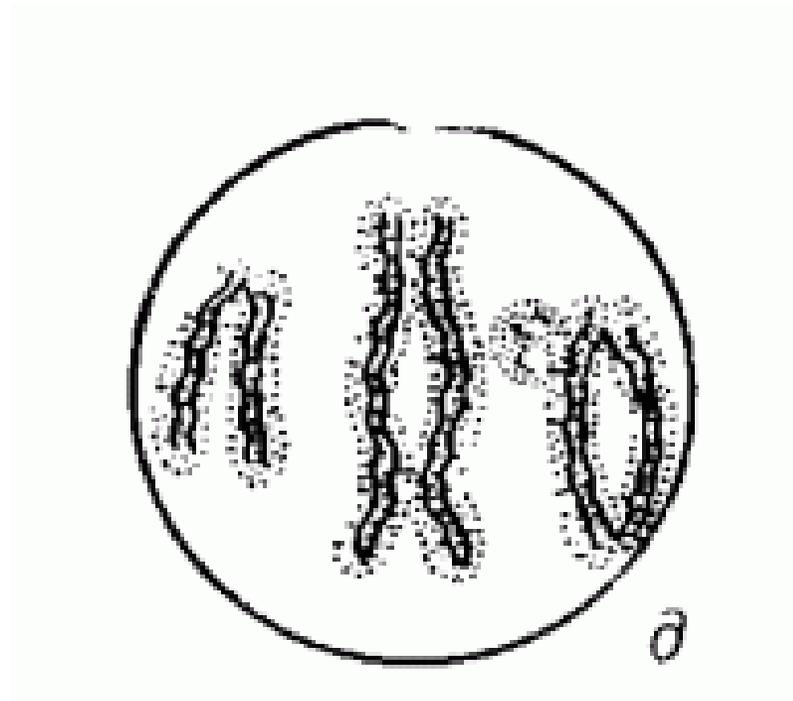
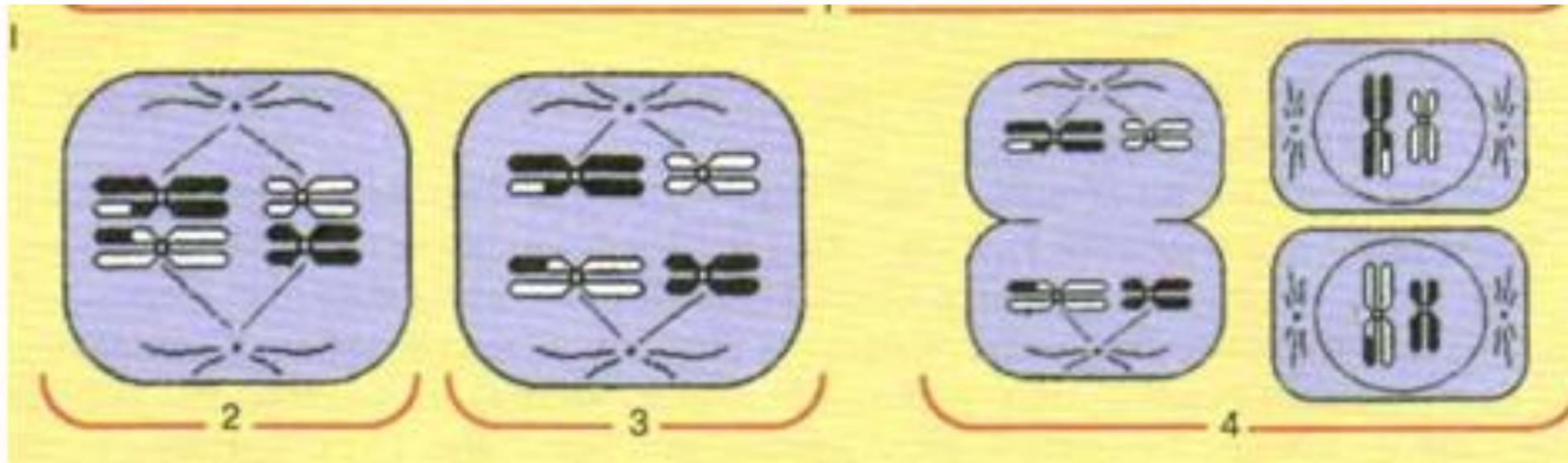


Рис. Профаза I

**Диакинез.** Гомологичные хромосомы продолжают отталкиваться друг от друга и остаются соединёнными только в некоторых точках. Они приобретают определённую форму и теперь хорошо заметны. Каждый бивалент состоит из четырёх хроматид, сцепленных попарно центромерами. Ядерная мембрана постепенно исчезает, центриоли расходятся к полюсам клетки, и образуются нити веретена деления. Профаза I занимает 90% всего времени мейоза.

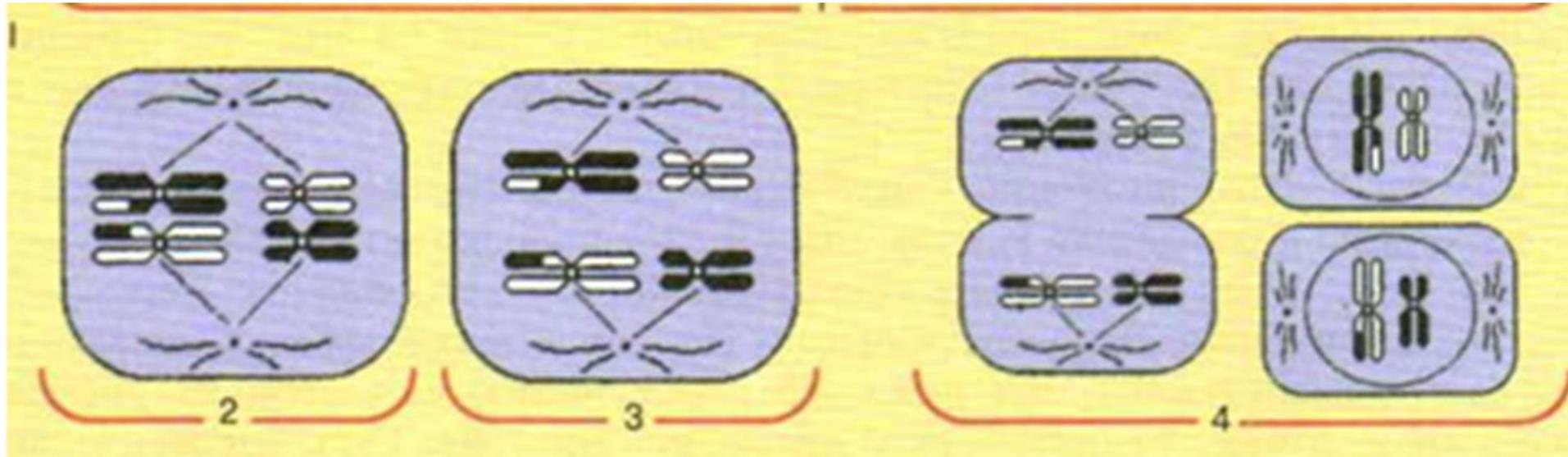


**Метафаза I.** Гомологичные хромосомы попарно в виде бивалентов выстраиваются в экваториальной зоне клетки над плоскостью экватора и под ней. Образуется метафазная пластинка. Гомологичных хромосом соединяются с нитями веретена деления.



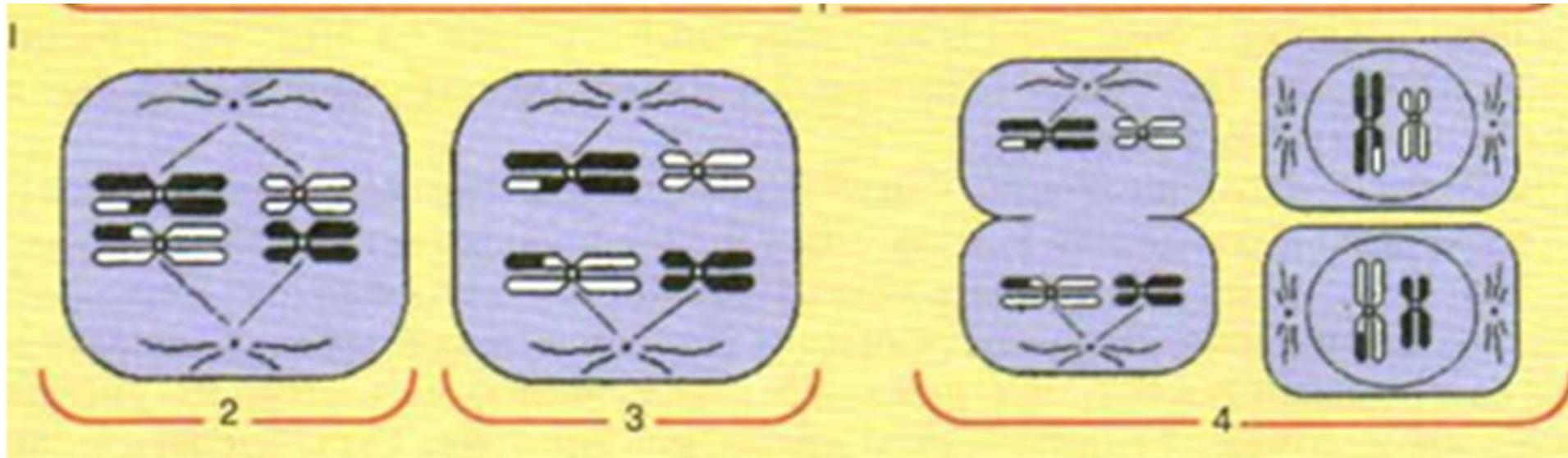
2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I.

**Анафаза I.** Гомологичные хромосомы расходятся к полюсам клетки. Это основное отличие мейоза от митоза. Таким образом, у каждого полюса оказывается только одна хромосома из пары, т. е. происходит уменьшение числа хромосом вдвое — **редукция**.



2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I.

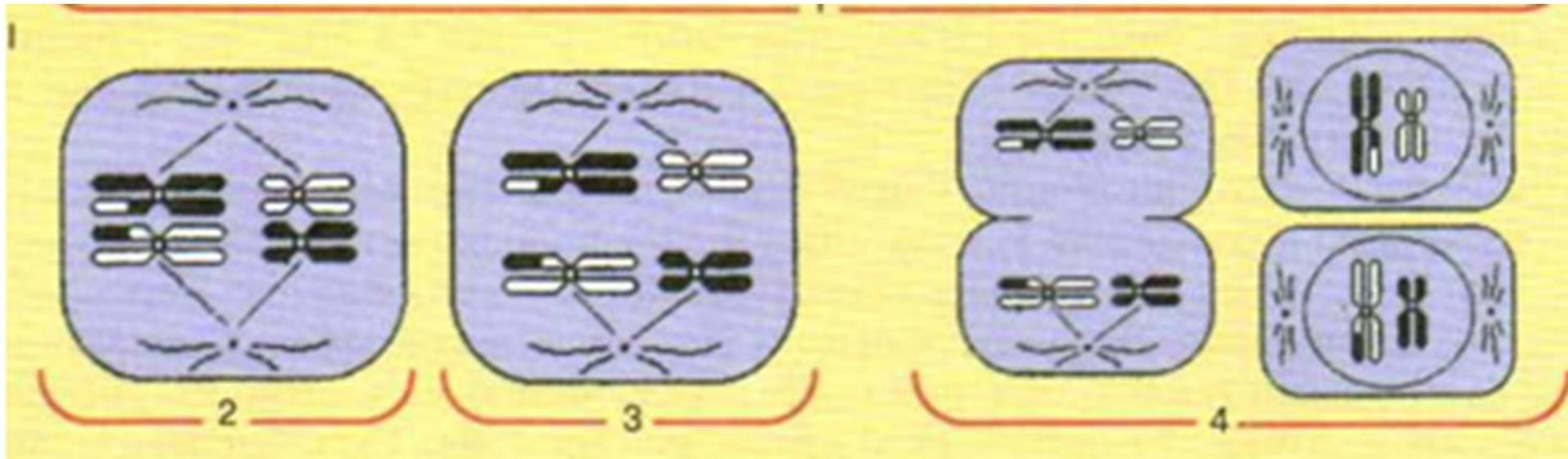
**Телофаза I.** Формируется ядерная оболочка и ядро. Хромосомы по-прежнему состоят из двух хроматид, но теперь они не идентичны друг другу вследствие произошедшего кроссинговера. Число хромосом и ДНК в каждом ядре равно соответственно  $n$ ,  $2c$ .



2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I.

Первое деление мейоза завершается цитокинезом — делится всё остальное содержимое клетки. В цитоплазме образуется перетяжка, и возникают две клетки с гаплоидным набором хромосом.

Образование двух клеток происходит не всегда. Иногда телофаза завершается только формированием двух гаплоидных ядер — кариокинезом.



2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I.

Между первым и вторым делениями мейоза происходит **интеркинез** (от лат. *inter* — между). Он занимает очень короткий период (у животных), но может и вообще отсутствовать (у растений). В отличие от интерфазы в интеркинезе репликации ДНК не происходит, поэтому число хромосом и количество ДНК в клетках или ядрах остаются неизменными. Обе клетки или ядра после **интеркинеза** приступают ко второму делению мейоза.

## Мейоз II

**Мейоз II** полностью идентичен митозу и протекает в двух клетках (ядрах) синхронно. Здесь происходят **два главных события: расхождение сестринских хроматид и образование гаплоидных клеток.**

**Профаза II.** Хромосомы спирализуются, укорачиваются и утолщаются. Ядерная мембрана исчезает, образуется веретено деления. Эта стадия значительно короче профазы I. При отсутствии интеркинеза (у растений) профазы II в мейозе может вообще отсутствовать.

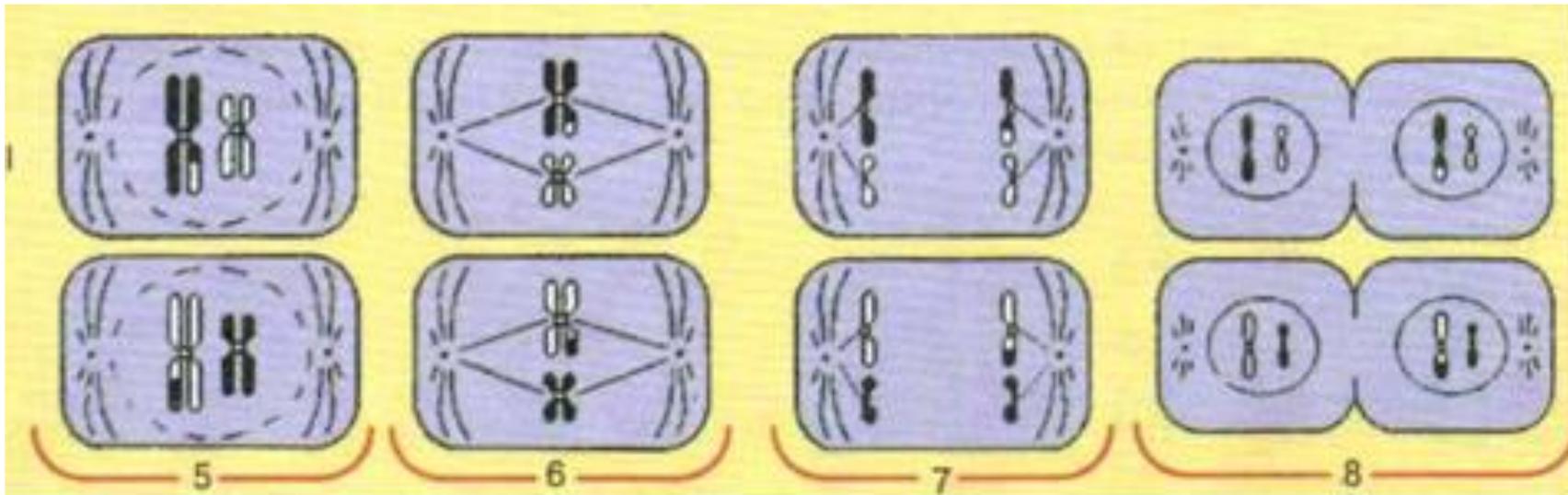


Рис. Мейоз II (5—8): 5 — профазы II; 6 — метафазы II; 7 — анафазы II, 8 — телофазы II

# Мейоз II

**Метафаза II.** Хромосомы выстраиваются в плоскости экватора. Нити веретена деления соединены с центромерами. В мейозе II веретено деления чаще образуется перпендикулярно веретену первого деления.

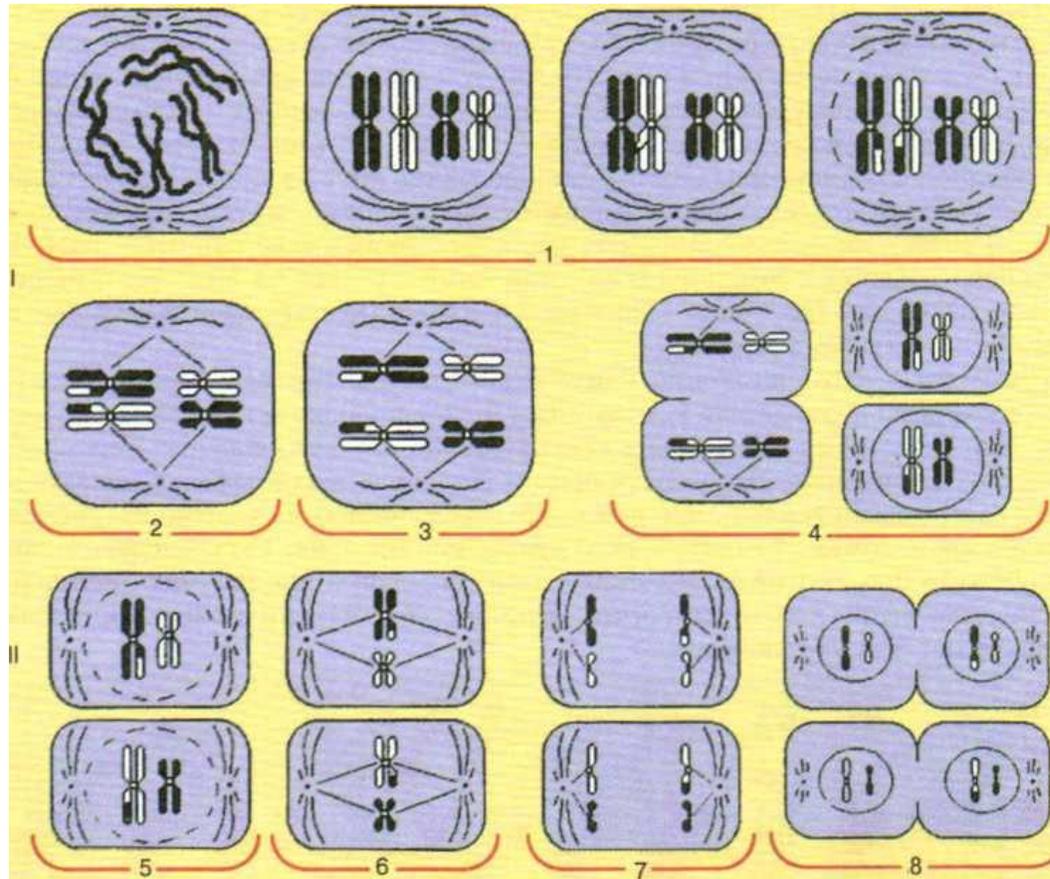


Рис. Мейоз I (1—4): 1 — профаза I; 2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I. Мейоз II (5—8): 5 — профаза II; 6 — метафаза II; 7 — анафаза II, 8 — телофаза II

# Мейоз II

**Анафаза II.** Центромеры делятся. К полюсам клетки расходятся сестринские хроматиды, которые теперь становятся хромосомами. У каждого полюса собирается гаплоидный набор хромосом, где каждая хромосома состоит теперь из одной молекулы ДНК и, соответственно, из одной хроматиды.

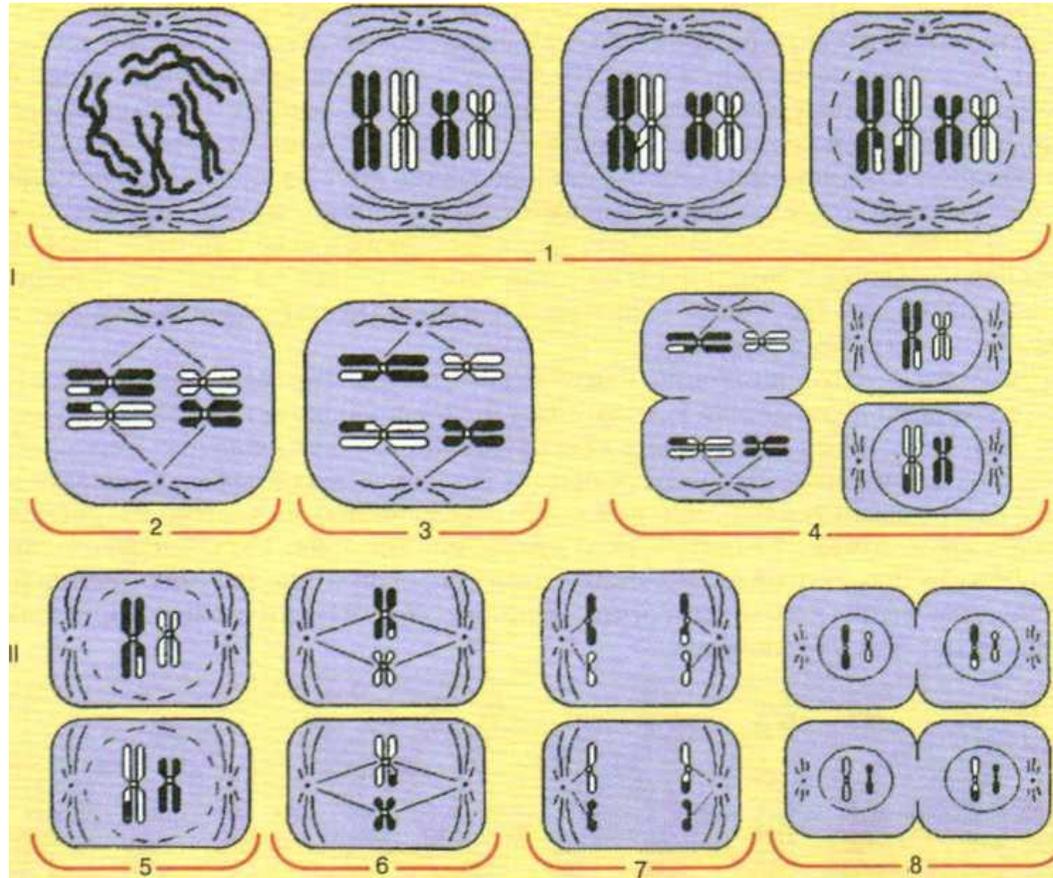


Рис. Мейоз I (1—4): 1 — профаза I; 2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I. Мейоз II (5—8): 5 — профаза II; 6 — метафаза II; 7 — анафаза II, 8 — телофаза II

# Мейоз II

**Телофаза II.** Хромосомы деспирализуются, становятся плохо различимыми. Нити веретена деления исчезают. Формируется ядерная мембрана. Далее происходит цитокинез, как и в митозе. Образуются 4 гаплоидных ядра или 4 гаплоидные клетки. Число хромосом и ДНК в каждом образовавшемся ядре или клетке равно соответственно  $n$ ,  $c$ .

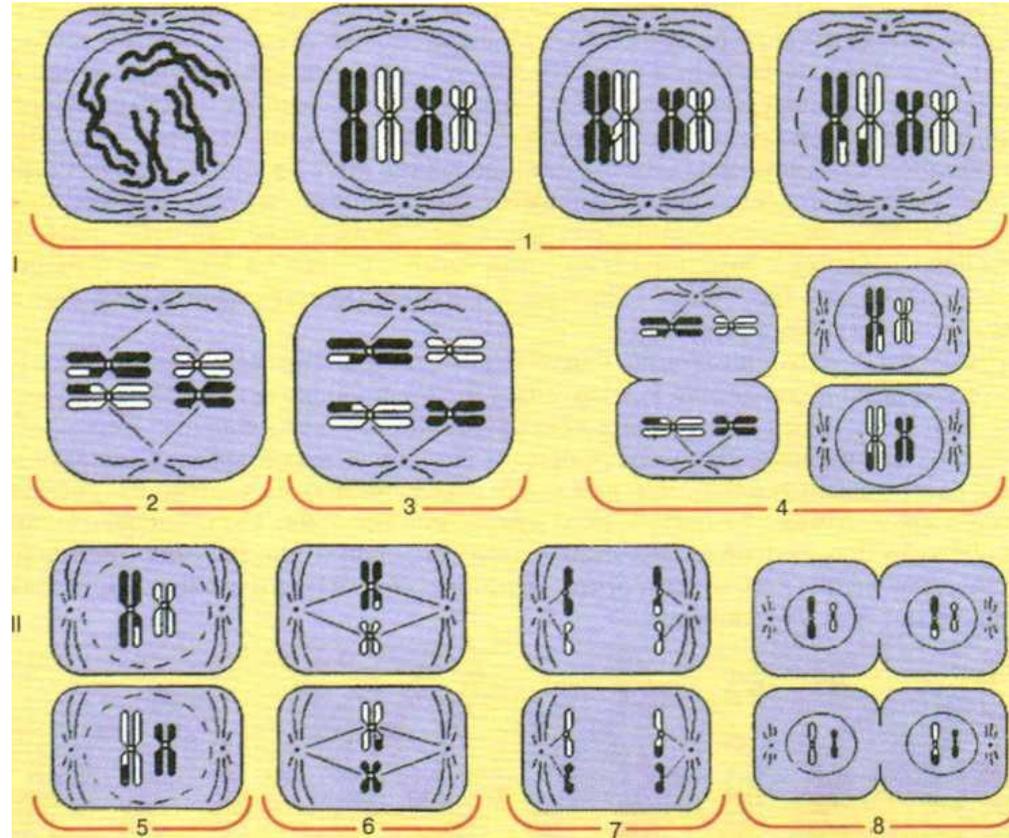


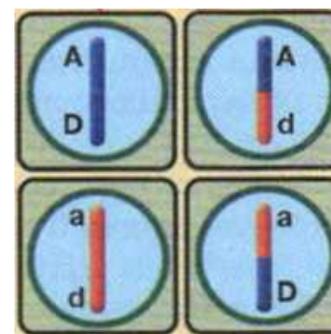
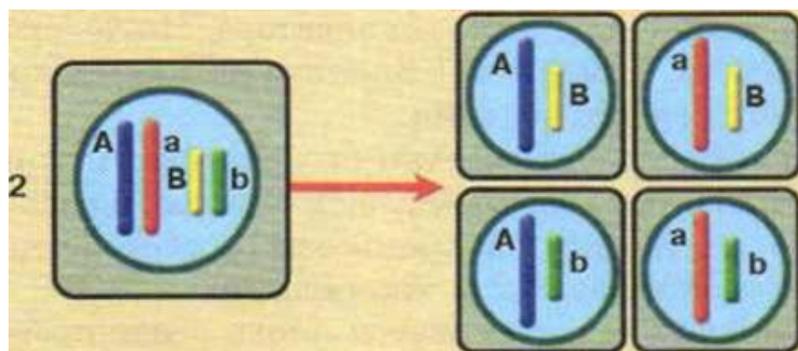
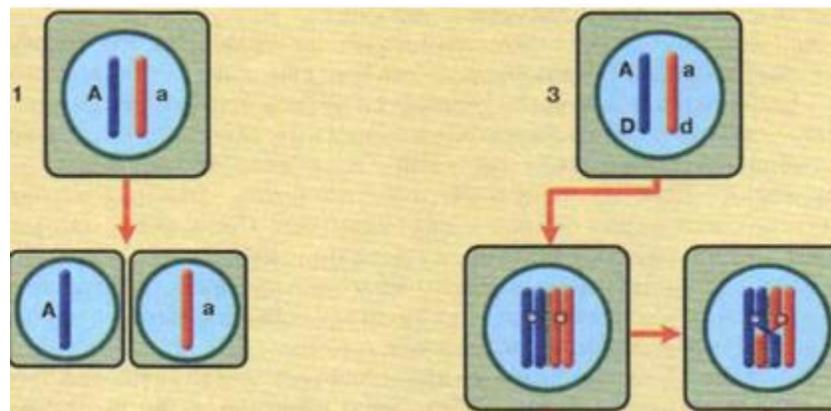
Рис. Мейоз I (1—4): 1 — профаза I; 2 — метафаза I; 3 — анафаза I; 4 — телофаза I. Мейоз II (5—8): 5 — профаза II; 6 — метафаза II; 7 — анафаза II, 8 — телофаза II

## Биологический смысл мейоза

1. Образование гаплоидных ядер или клеток, которые в ходе полового размножения сливаются, и в зиготе восстанавливается диплоидный набор. Этот процесс обеспечивает постоянный набор хромосом у вновь образующихся организмов при половом размножении.
2. Образование клеток, обладающих рекомбинированным набором генетического материала (большая способность к приспособленности).
3. Лежит в основе комбинативной изменчивости (случайное расхождение хромосом и кроссинговер).

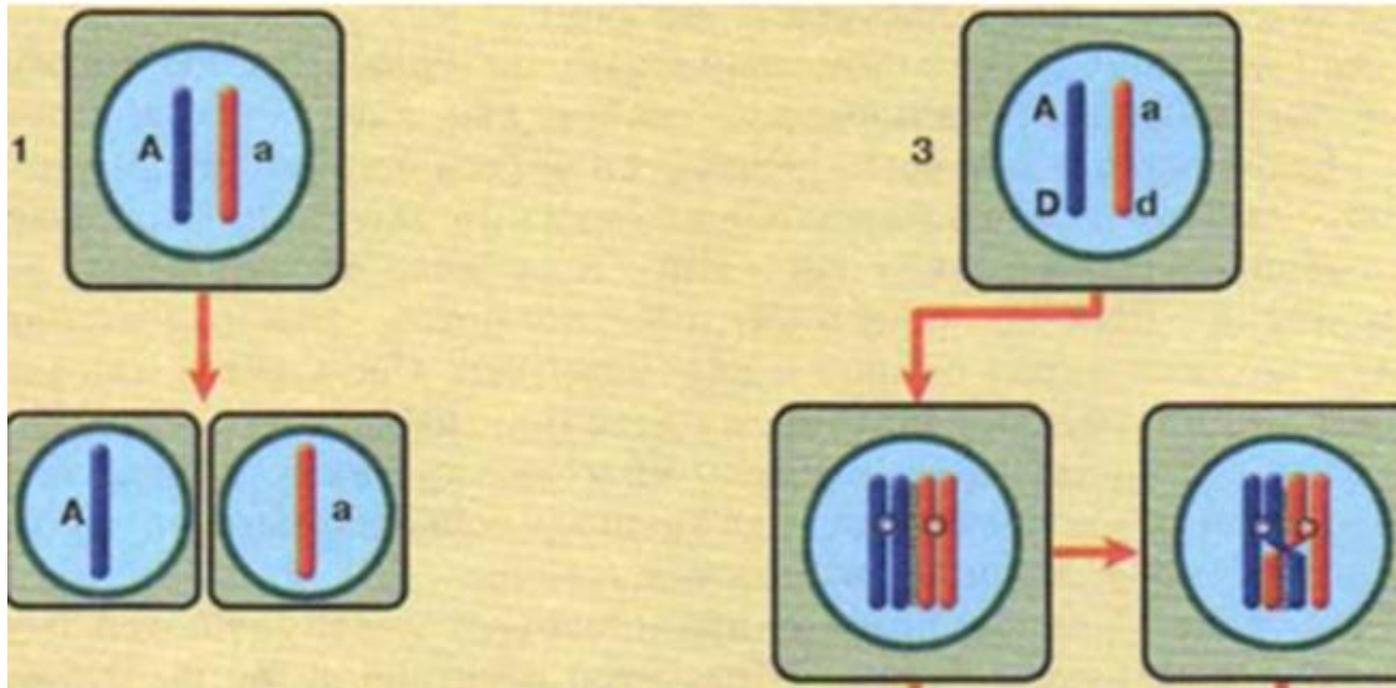
## Поведение хромосом в мейозе.

Мейоз обеспечивает появление разнообразных по качеству генетической информации половых клеток — **гамет**. Это связано с особым поведением хромосом в мейозе.



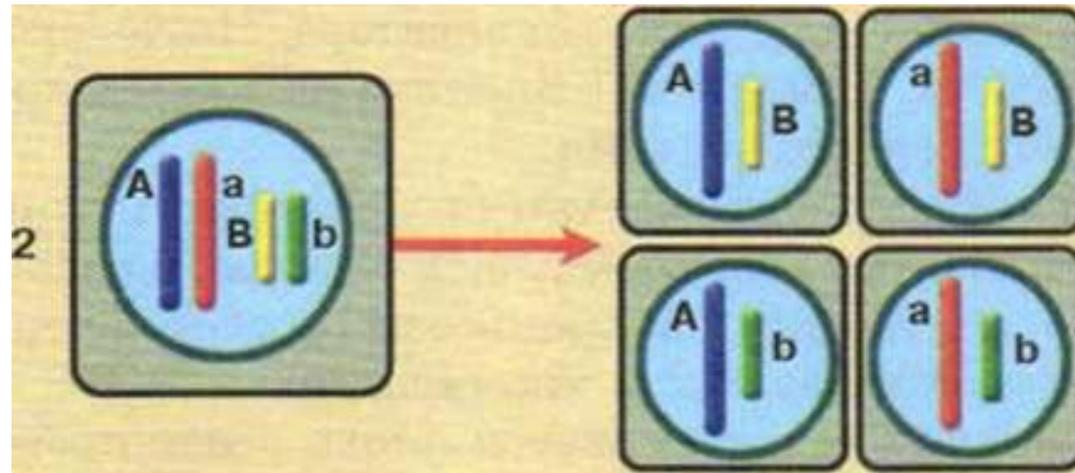
Поведение хромосом в мейозе: 1 — распределение гомологичных хромосом; 2 — независимое распределение негомологичных хромосом; 3 — кроссинговер и нарушение сцепления генов

1. В мейозе гомологичные хромосомы всегда попадают в разные гаметы. Так как они могут нести разные по качеству признаки, то образующиеся гаметы не идентичны по генному набору.



Поведение хромосом в мейозе: 1 — распределение гомологичных хромосом;

2. Негомологичные хромосомы расходятся в гаметы произвольно, независимо друг от друга. Это связано со случайным расположением бивалентов в мейозе I и их независимым расхождением в анафазе I. Следовательно, отцовские и материнские хромосомы распределяются в гаметах случайным образом. Этот процесс, называемый независимым распределением, приводит к увеличению числа типов гамет и является основой генетического разнообразия организмов, способных к половому размножению.



Число типов гамет у диплоидных организмов можно определить по формуле

$$N = 2^n,$$

где  $N$  — число типов гамет,  $n$  — число пар хромосом организма.

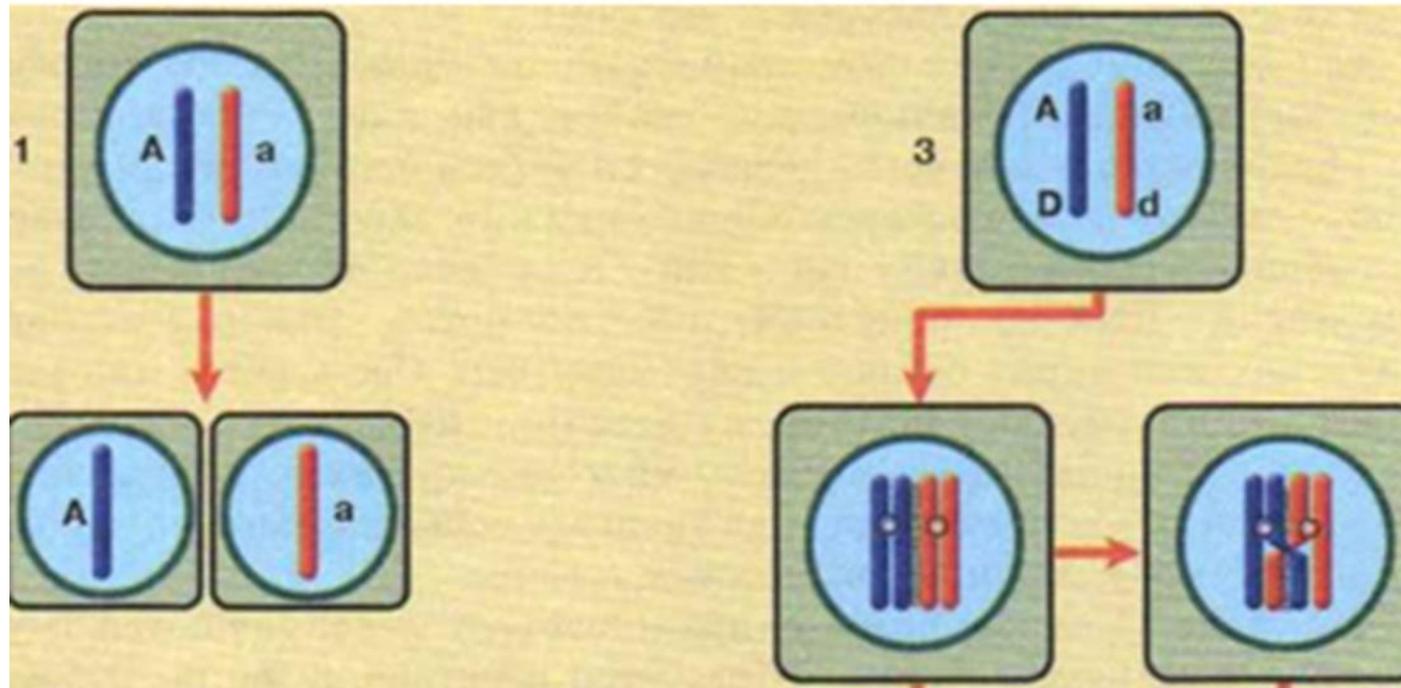
Например, кариотип у дрозофилы равен 8, число пар хромосом — 4:

$$N = 2^4 = 16$$

У человека кариотип составляет 46 хромосом, число пар — 23.

$$N = 2^{23} = 8\,388\,608$$

3. Конъюгация и кроссинговер способствуют рекомбинации генов: изменяется их сочетание в хромосомах, что приводит к увеличению разнообразия гамет. Если было бы возможно учесть все варианты кроссинговера, то число типов гамет (N) возросло бы в несколько раз.



3 — кроссинговер и нарушение сцепления генов

## Мейоз в жизненном цикле организмов

Мейоз в жизненном цикле организма (от одного полового размножения до другого) происходит один раз. У животных мейоз происходит при образовании гамет из исходных материнских диплоидных клеток. У растений мейоз наблюдается при формировании гаплоидных спор. Из таких спор в некоторых случаях может развиваться гаплоидное поколение, у которого гаметы образуются уже в результате митоза. Но иногда у одноклеточных организмов, грибов, низших растений мейоз происходит сразу после образования зиготы, и в этом случае из гаплоидных клеток — спор — развивается взрослый гаплоидный организм.

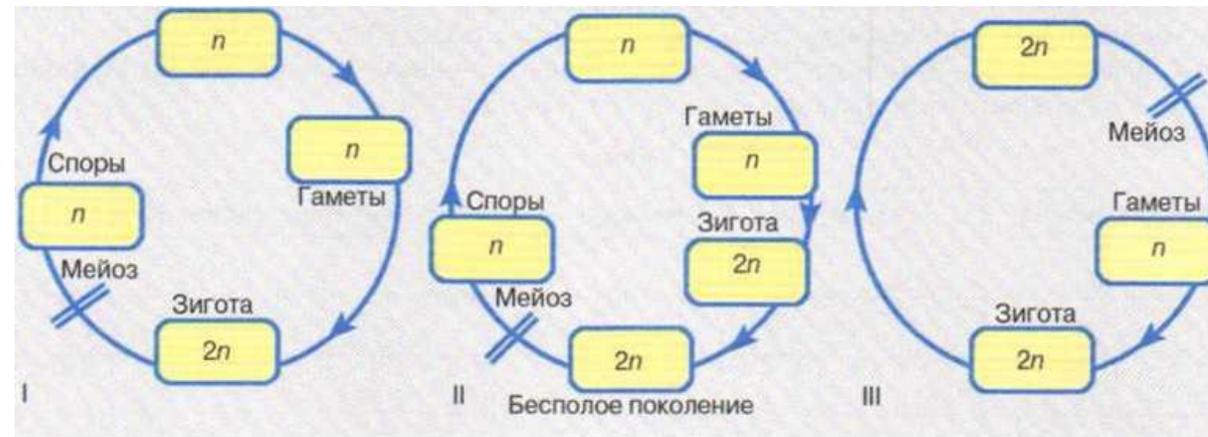
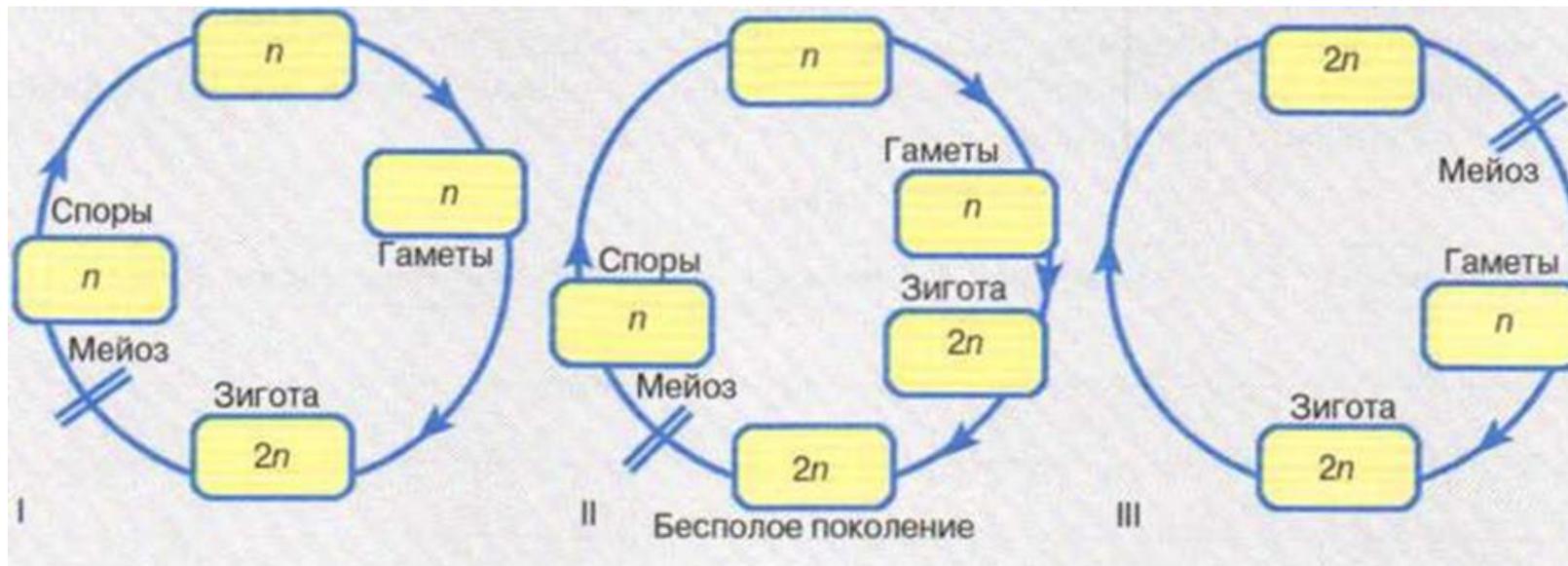
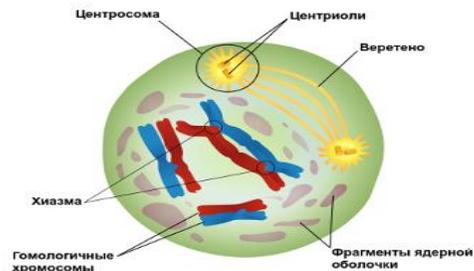


Рис. Схема жизненных циклов организмов: I — жизненный цикл низших растений (водорослей) и грибов (мейоз происходит сразу после образования зиготы, взрослое поколение гаплоидное); II — жизненный цикл высших растений (мейоз имеет место перед спорообразованием, взрослый организм может быть как гаплоидным, так и диплоидным); III — жизненный цикл животных (мейоз происходит перед образованием гамет, зигота и взрослый организм диплоидные)

Таким образом, цикл полового размножения всегда включает чередование гаплоидного и диплоидного поколения клеток. У многоклеточных животных и высших растений диплоидная фаза длительная. Она соответствует взрослому организму. Фаза гаплоидных клеток непродолжительна. Однако у некоторых организмов гаплоидная фаза соответствует взрослому состоянию, а диплоидной является только оплодотворённая яйцеклетка — зигота.

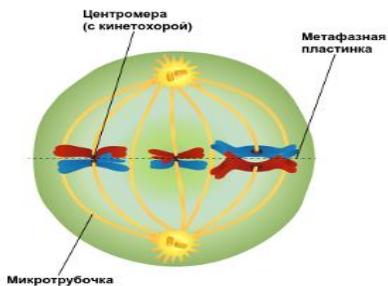


# МЕЙОЗ I



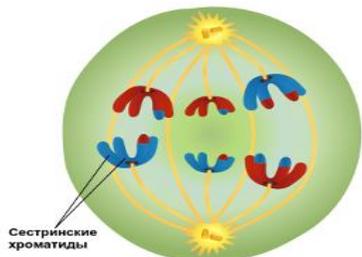
**Профаза I**

Хромосомы конденсируются, ядро растворяется. Происходит кроссинговер.



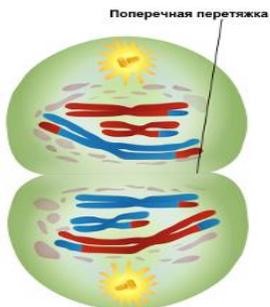
**Метафаза I**

Пары гомологичных хромосом движутся к экватору клетки.



**Анафаза I**

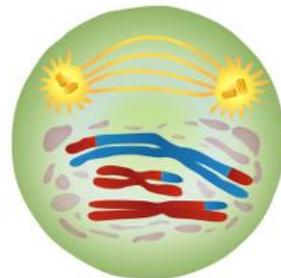
Гомологичные хромосомы движутся к противоположным полюсам клетки.



**Телофаза I & цитокинез**

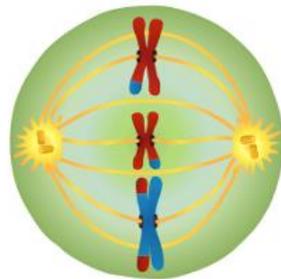
Хромосомы собираются у полюсов клетки. Цитоплазма разделяется.

# МЕЙОЗ II



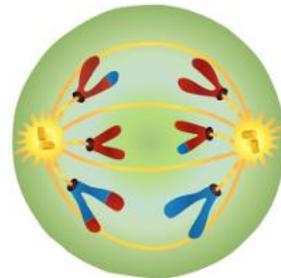
**Профаза II**

Новое веретено деления формируется вокруг хромосом.



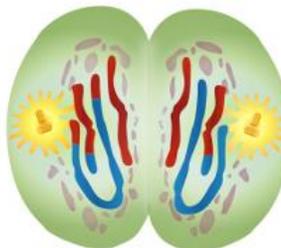
**Метафаза II**

Хромосомы метафазы II выстраиваются в линию у экватора.



**Анафаза II**

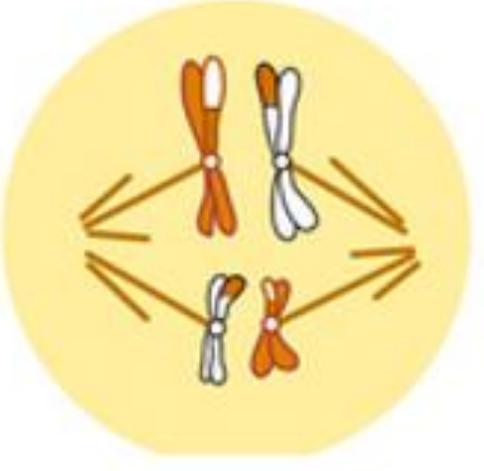
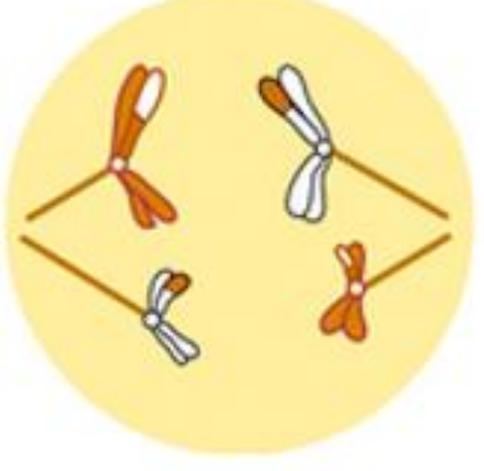
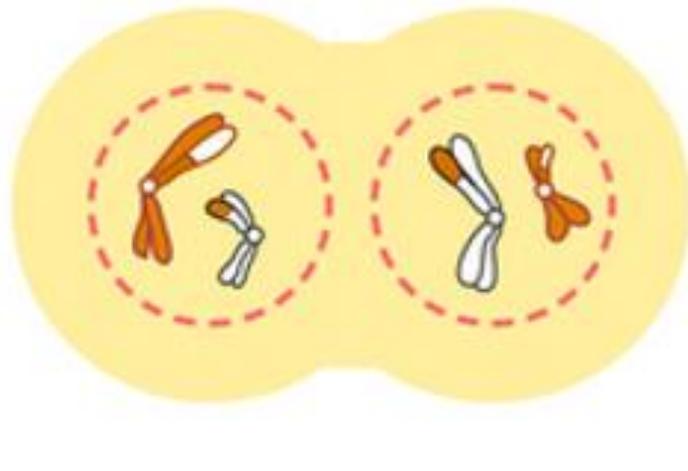
Центромеры разделяются. Хроматиды движутся к противоположным полюсам клетки.



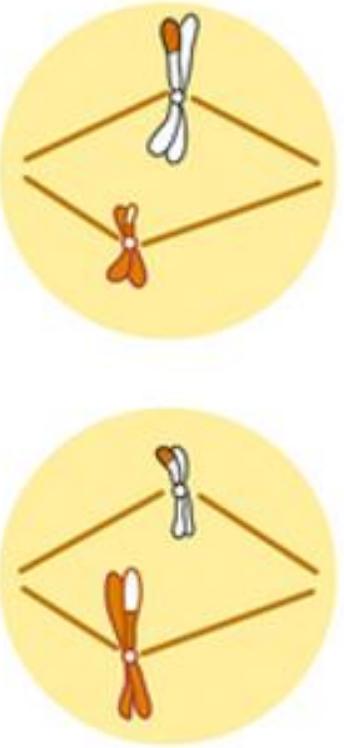
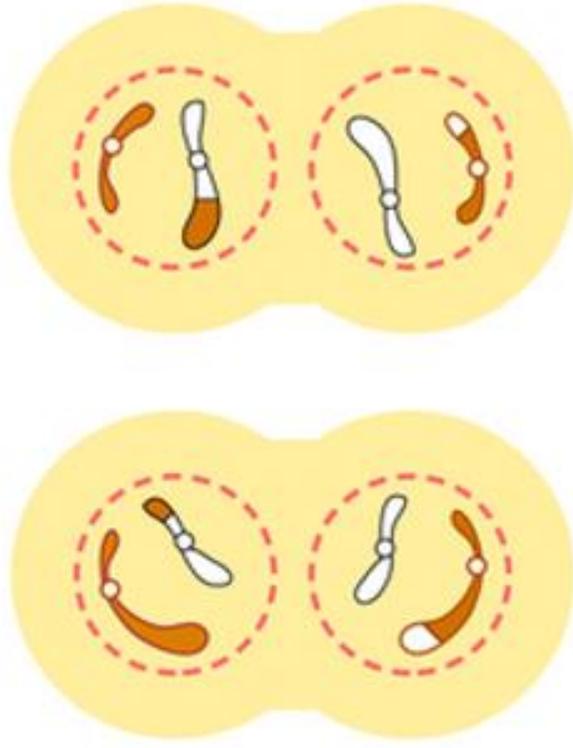
**Телофаза II & цитокинез**

Ядерная оболочка формируется около каждого набора хромосом. Цитоплазма разделяется.

**Первое деление мейоза:**

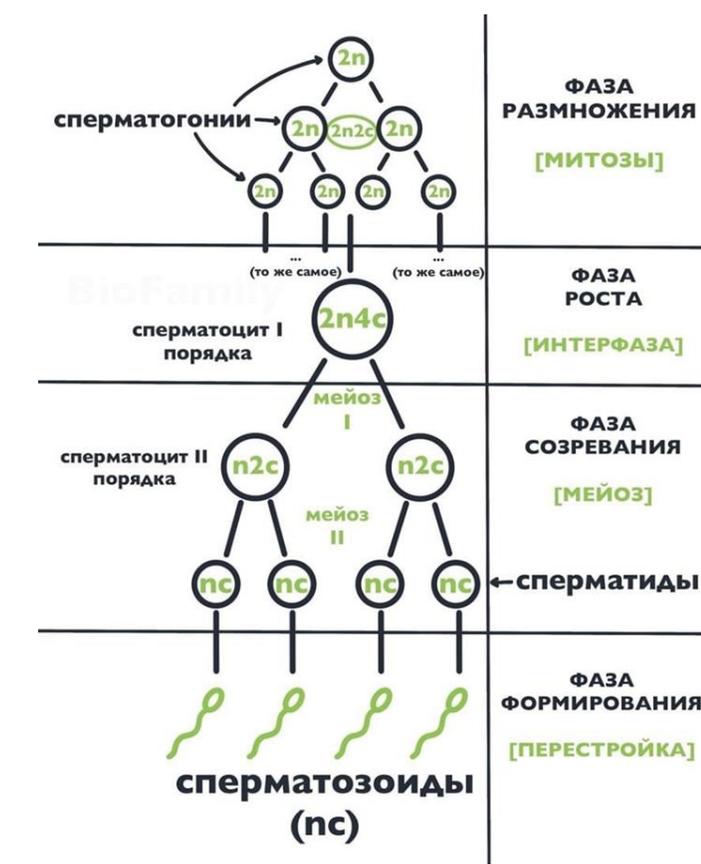
<b>Профаза I</b>	<b>Метафаза I</b>	<b>Анафаза I</b>	<b>Телофаза I</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исчезновение ядерной оболочки</li> <li>2. Спирализация хромосом</li> <li>3. Расхождение центриолей к полюсам</li> <li>4. Образование нитей веретена деления</li> <li>5. Конъюгация и кроссинговер</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расположение пар гомологичных хромосом у экватора клетки</li> <li>2. Присоединение нитей веретена деления к каждой хромосоме</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расхождение к полюсам пар гомологичных двухроматидных хромосом</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Образование двух дочерних клеток с гаплоидным набором двухроматидных хромосом</li> <li>2. Цитокинез.</li> </ol>
<b>2n4c</b>	<b>2n4c</b>	<b>n2c – у полюсов</b> <b>2n4c – в целой клетке</b>	<b>n2c</b>
			

**Второе деление мейоза:**

<b>Профаза II</b>	<b>Метафаза II</b>	<b>Анафаза II</b>	<b>Телофаза II</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спирализация хромосом.</li> <li>2. Расхождение центриолей к полюсам клетки.</li> <li>3. Образование нитей веретена деления.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расположение двуххроматидных хромосом на экваторе клетки.</li> <li>2. Прикрепление нитей веретена деления к центромерам.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разделение центромер и расхождение сестринских хроматид к полюсам.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Цитокинез.</li> <li>2. Восстановление ядерной оболочки.</li> <li>3. Образование четырёх гаплоидных клеток.</li> </ol>
<b>n2c</b>	<b>n2c</b>	<b>nc – у полюсов</b> <b>2n2c – в целой клетке</b>	<b>nc</b>
			

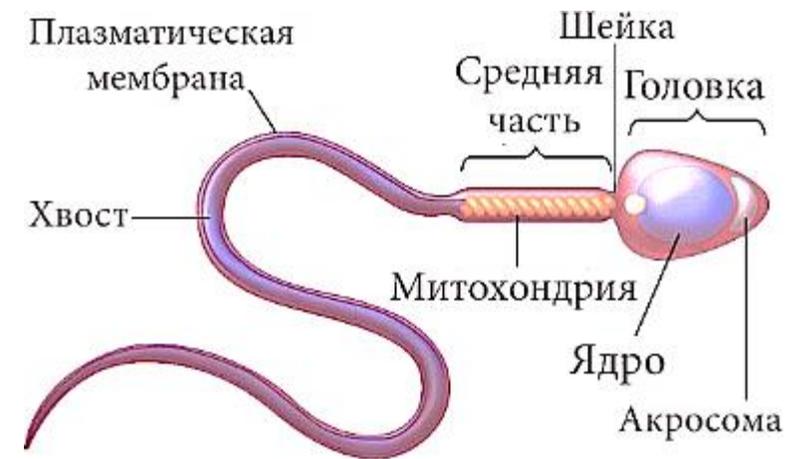
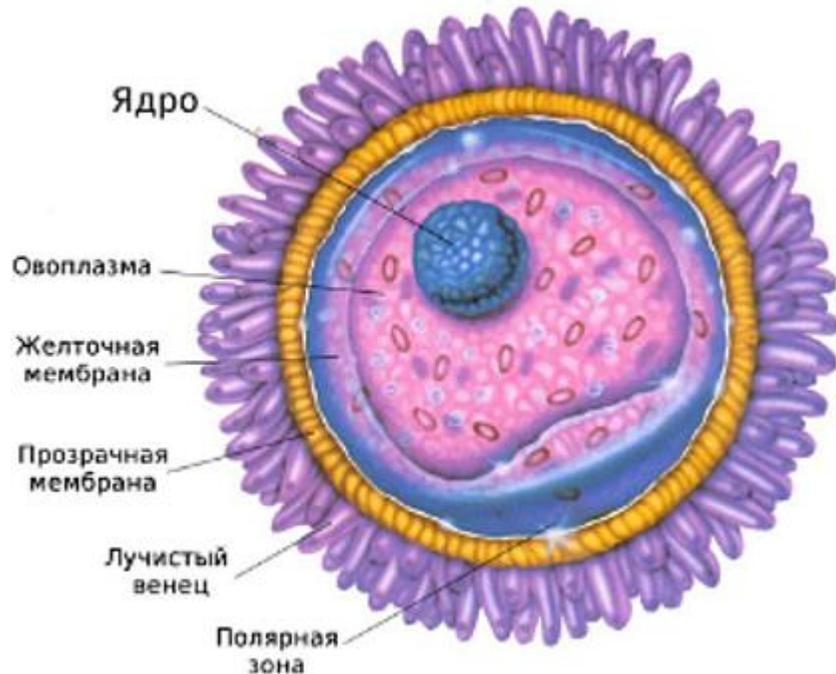


# ГАМЕТОГЕНЕЗ У ЖИВОТНЫХ



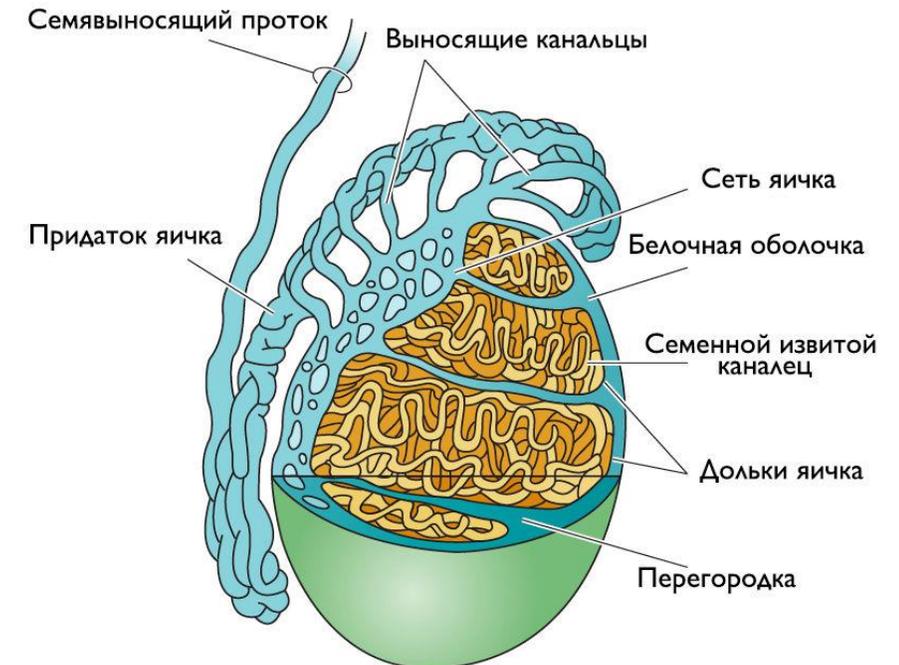
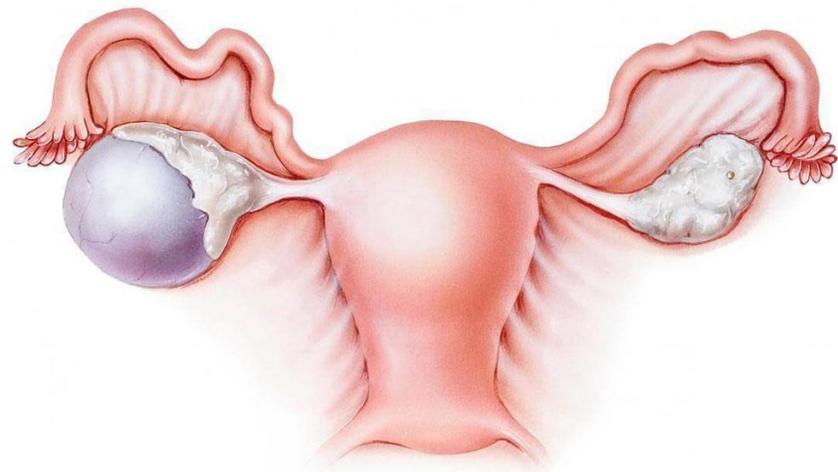
**Гаметогенез** (от греч. gamete — жена, gametes — муж, genesis — возникновение) — процесс образования половых клеток. В основе гаметогенеза животных лежит мейоз. Образующиеся гаметы имеют гаплоидный набор хромосом, тогда как у взрослых организмов он диплоидный.

Половые клетки бывают **мужские и женские**. Мужские половые клетки называются **сперматозоидами**, а женские — **яйцеклетками**. Процесс образования сперматозоидов — **сперматогенез**, яйцеклеток — **оогенез** (или овогенез).



**Половые железы.** Гаметы формируются в **половых железах (гонадах)** у животных или специализированных клетках у губок и кишечнополостных (так как половые железы у них отсутствуют и гаметы возникают из различных соматических клеток).

Первичные половые клетки развиваются **у самцов в семенниках и у самок в яичниках.**



- Биологические виды, у которых все организмы делятся в зависимости от производимых ими клеток на самцов и самок, называются **раздельнополыми**.
- Встречаются виды, у которых один и тот же организм может образовывать как мужские, так и женские половые клетки. Такие организмы называются гермафродитами (беспозвоночные животные (моллюски, плоские и кольчатые черви), круглоротые (миксины) и рыбы (морской окунь)). В этом случае организмы, как правило, имеют ряд приспособлений, препятствующих самооплодотворению.

- У большинства низших животных гаметы вырабатываются в течение всей жизни, у высших — только в период половой активности, с момента полового созревания до затухания деятельности желёз в старости.

Гаметогенез протекает последовательно, в три стадии, в соответствующих зонах гонад и заканчивается созреванием гамет.

**1. Зона размножения.** В ней содержатся **первичные половые клетки с диплоидным набором хромосом**. Клетки в этой зоне делятся митозом, что способствует значительному увеличению их количества. Период интенсивного деления первичных половых клеток митозом называют **периодом размножения**.

**2. Зона роста.** В следующей зоне половых желёз деления клеток не происходит. Клетки только растут и запасают питательные вещества. **Это период роста**. Он соответствует интерфазе перед мейотическим делением. Клетки этой зоны гонад имеют диплоидный набор хромосом.

**3. Зона созревания.** В этой зоне в результате мейоза формируются и созревают гаметы. Этот период называют **периодом созревания**.

## Сперматогенез

**Сперматогенез** (от греч. sperma — семя и genesis — возникновение) — процесс образования мужских половых клеток — сперматозоидов.

В зоне размножения в сперматогенной ткани семенников в результате митоза образуются многочисленные **первичные половые клетки** — **сперматогонии** — с диплоидным набором хромосом. Закладка первичных клеток **сперматогониев** происходит в эмбриональном развитии; их интенсивное деление наблюдается только после достижения организмом половой зрелости.

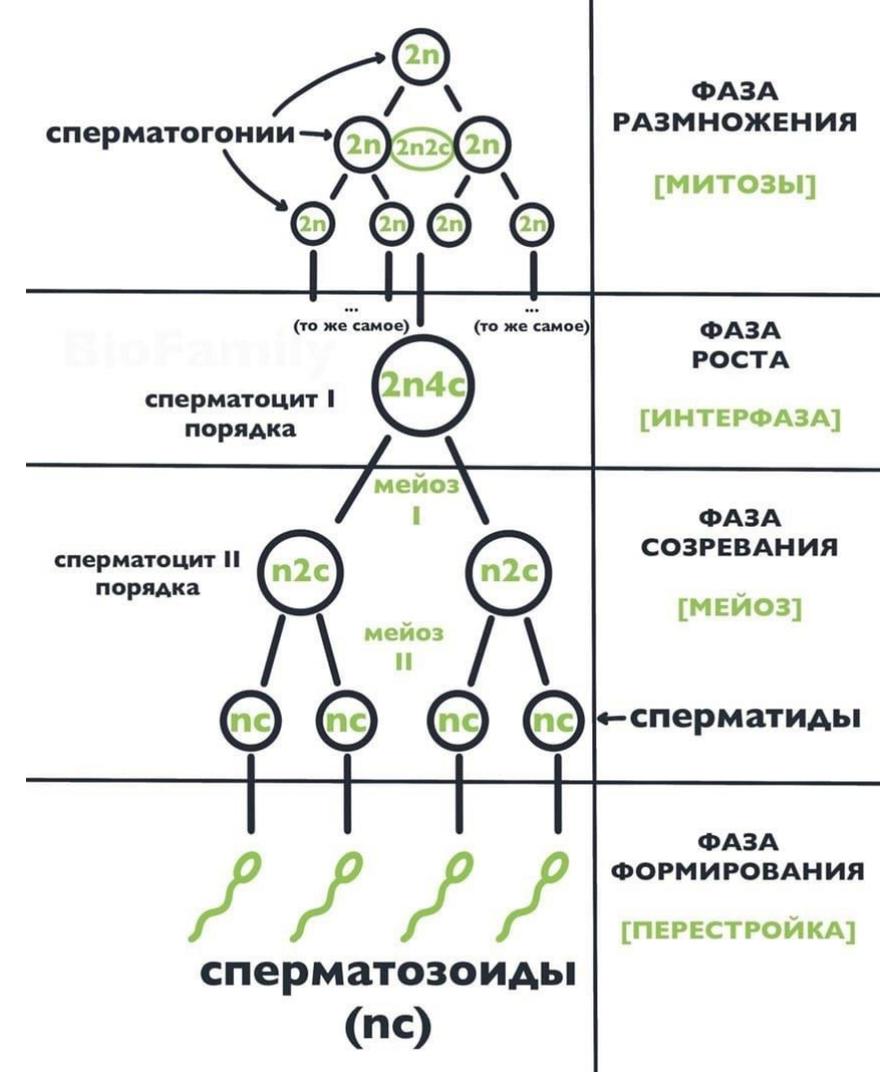
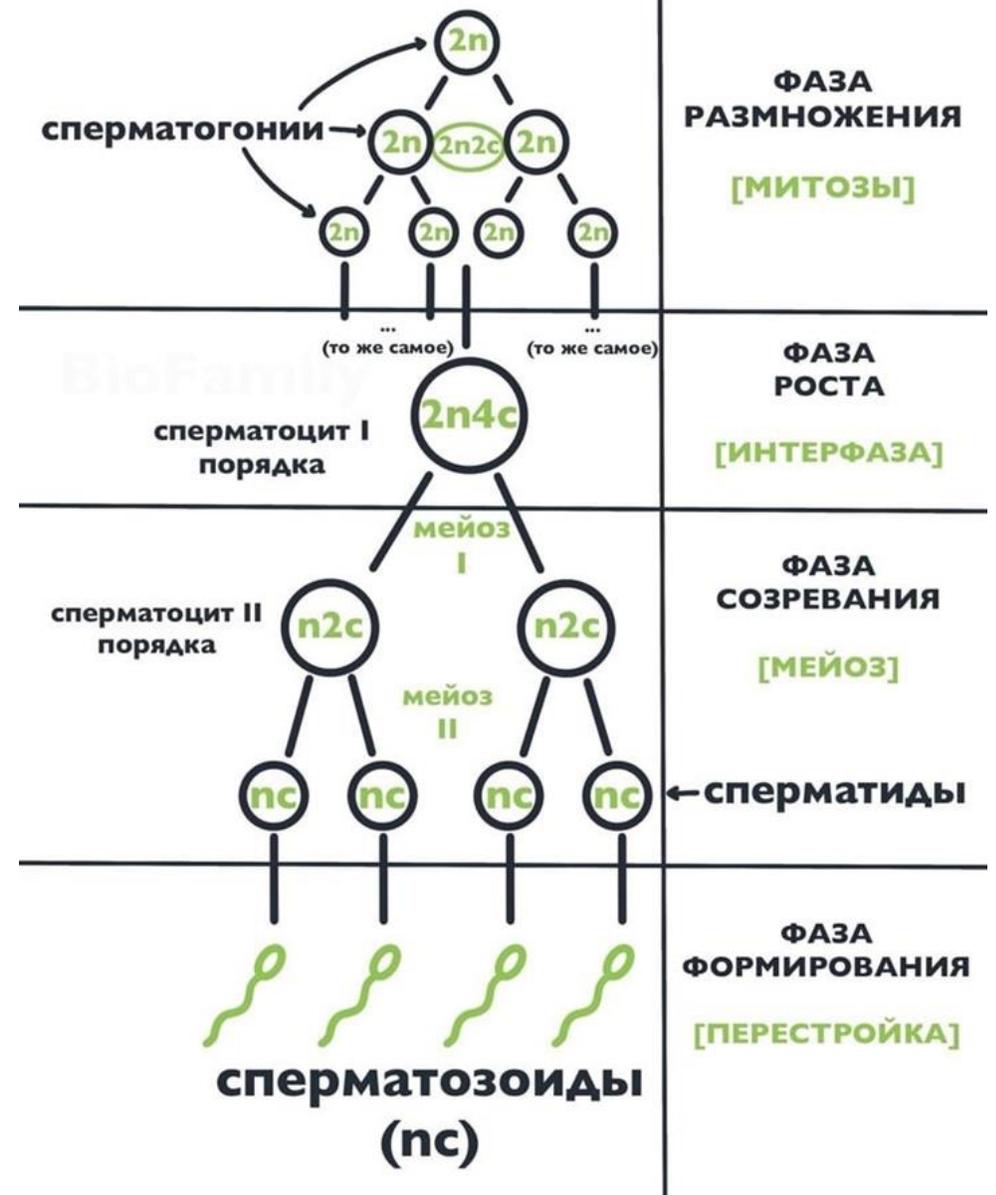


Рис. Сперматогенез

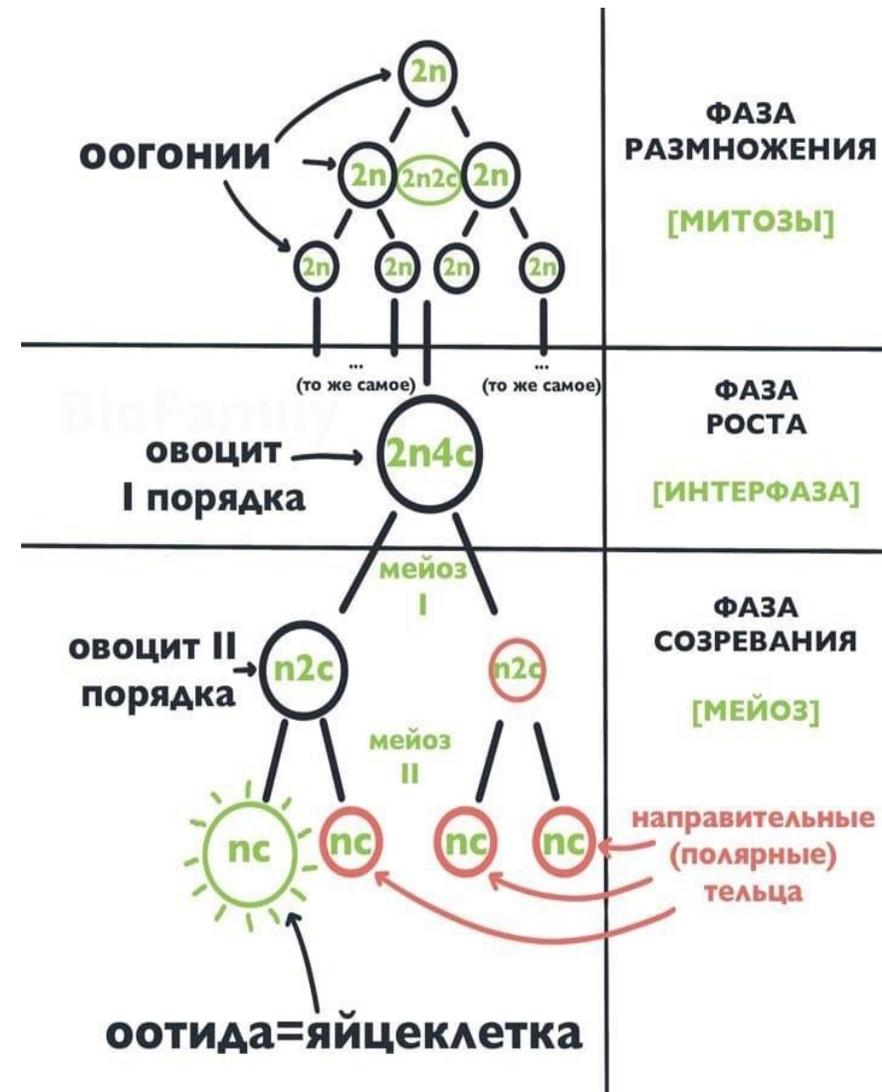
С наступлением у организма периода полового созревания в зоне роста **сперматогонии** незначительно увеличиваются в размерах, и из каждой клетки развивается **сперматоцит 1-го** порядка, готовый к мейозу. В зоне созревания в результате первого деления мейоза образуются две клетки — **сперматоциты 2-го** порядка, а после второго деления мейоза развиваются четыре клетки — предшественники гамет — **сперматиды с гаплоидным набором хромосом**. Все четыре клетки, одинаковые по величине, претерпевают сложную клеточную дифференцировку в фазе **формирования** и превращаются в четыре сперматозоида.



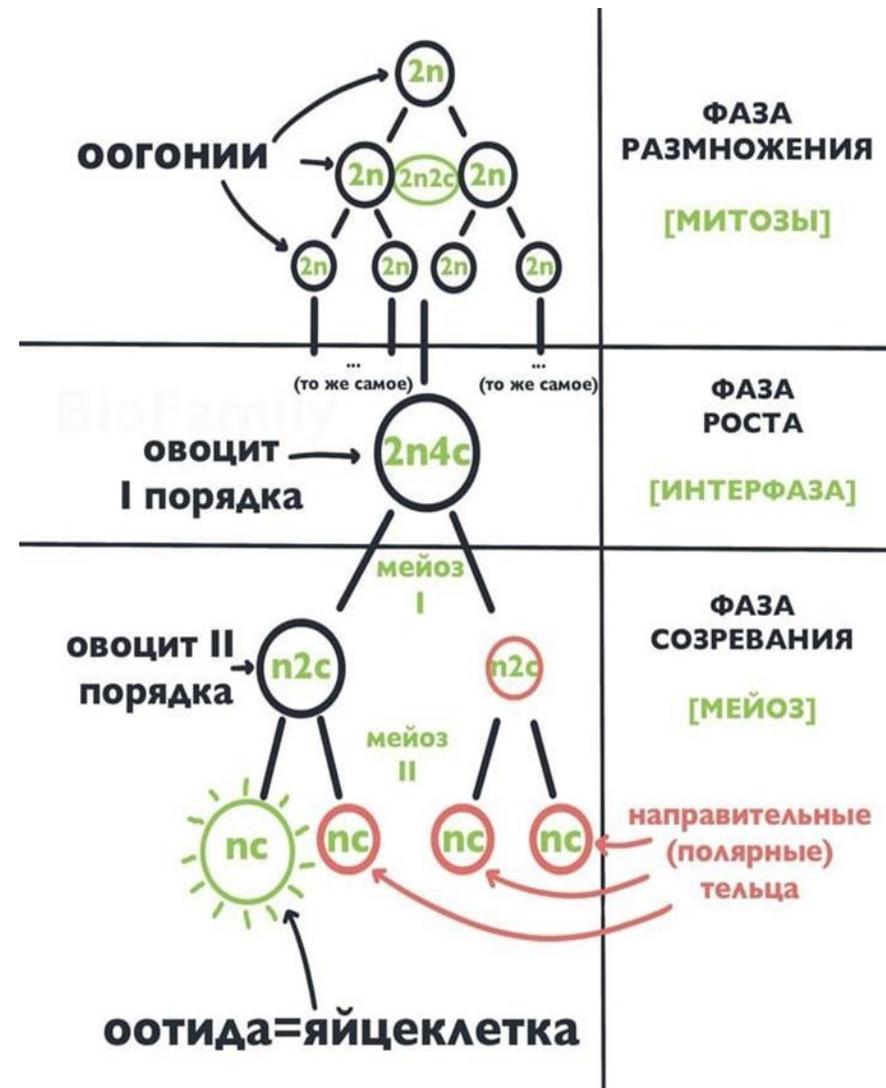
## Оогенез

**Оогенез** (от греч. oon — яйцо и genesis — возникновение) — процесс образования женских половых клеток — **яйцеклеток**.

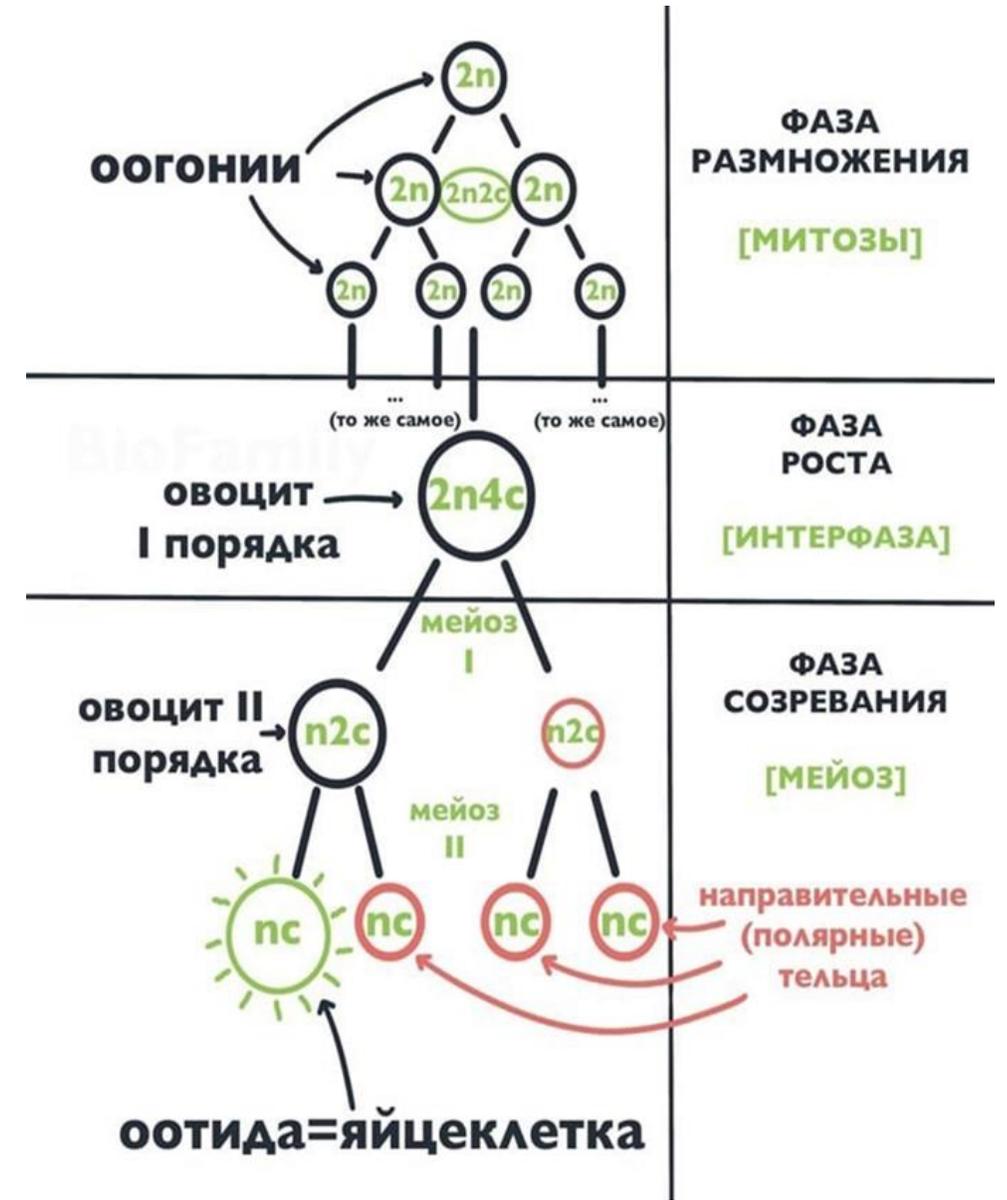
В зоне размножения в оогенной ткани яичников находятся многочисленные первичные половые клетки — **оогонии** — с диплоидным набором хромосом. После ряда митотических делений каждый из них превращается в **ооцит 1-го** порядка, который начинает интенсивно расти в зоне роста и накапливать питательные вещества в виде зёрен желтка. Процесс роста ооцита значительно продолжительнее, чем сперматоцита.



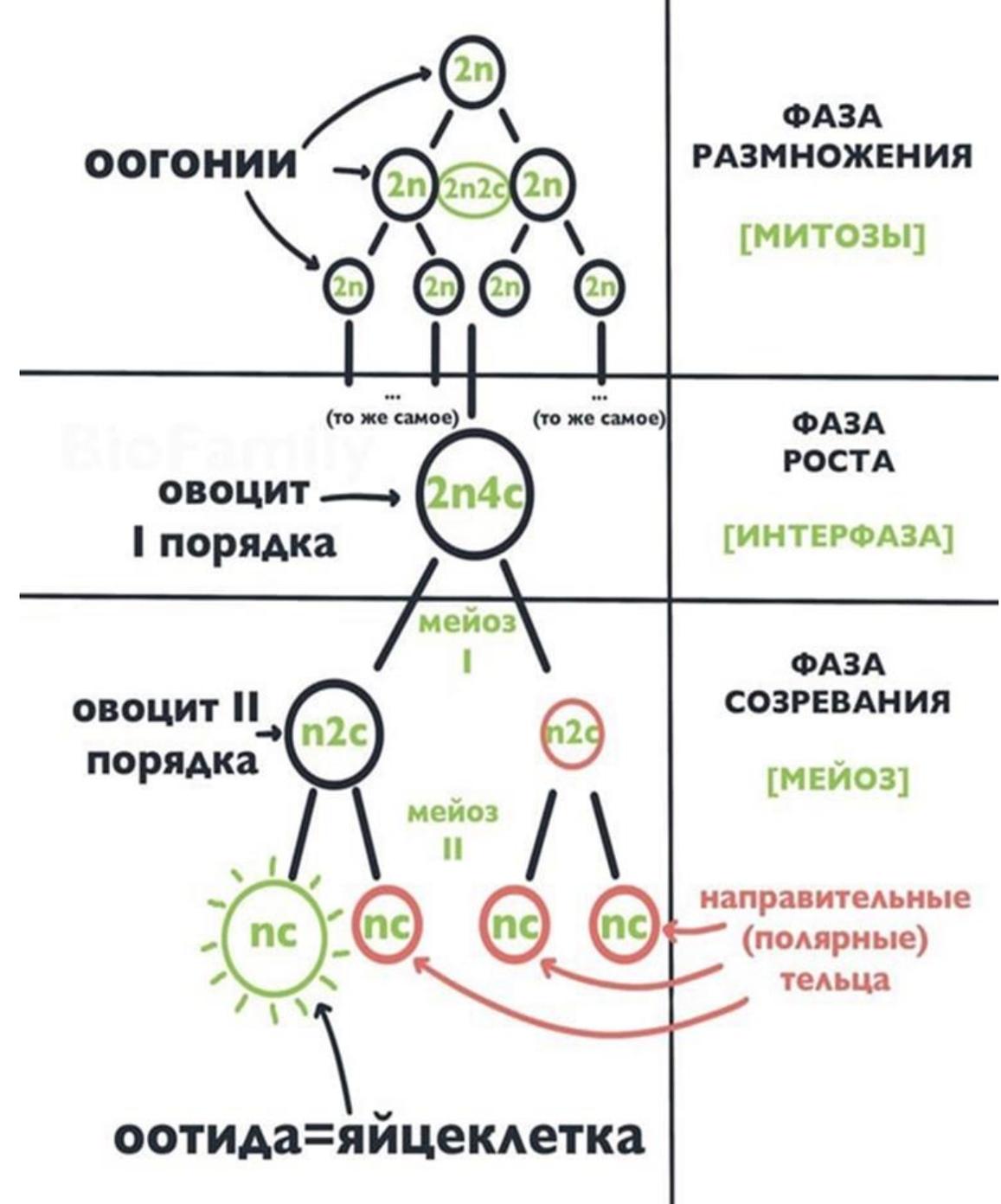
В зоне созревания **ооцит 1-го** порядка приступает к мейозу, но весь процесс деления может длиться долго (несколько дней или лет), в зависимости от вида организма. Например, у млекопитающих деление, начатое в эмбриональном состоянии, приостанавливается на профазе I до периода полового созревания самки. Позже под влиянием половых гормонов мейоз возобновляется. После первого деления созревания образуются одна крупная клетка — **ооцит 2-го** порядка, куда переходят все питательные вещества, и одна мелкая клетка — **первичное полярное (направительное) тельце**, которое состоит фактически из ядра и небольшого количества цитоплазмы



Второе деление созревания также ассиметрично. Из ооцита 2-го порядка образуются одна крупная клетка — яйцеклетка, в которой находятся все питательные вещества, и одно вторичное полярное (направительное) тельце. Из первичного полярного тельца образуются два мелких вторичных полярных тельца. У большинства позвоночных животных второе деление мейоза ооцита 2-го порядка приостанавливается на стадии метафазы II, а образование яйцеклетки завершается после оплодотворения.



Таким образом, при оогенезе из каждой исходной клетки оогонии образуются **одна крупная яйцеклетка** с гаплоидным набором хромосом и **три полярных (направительных) тельца**, которые редуцируются. Они служат только для равномерного распределения хромосом в мейозе.



## Основные отличия оогенеза от сперматогенеза заключаются в следующем:

1. Количество **оогониев**, вступивших в стадию созревания, закладывается на этапе **эмбрионального развития**, а **сперматогонии** начинают активно делиться при наступлении **половой зрелости**, и этот процесс идёт непрерывно;
2. В процессе сперматогенеза образуются **четыре гаметы**, а в процессе оогенеза — только **одна**;
3. Окончательно процесс **оогенеза** завершается только после **оплодотворения**. Большое число сперматозоидов повышает вероятность оплодотворения, а питательные вещества крупной яйцеклетки обеспечивают развитие будущего зародыша.

## Строение половых клеток.

У большинства видов организмов мужские и женские гаметы отличаются друг от друга

- **Сперматозоиды были открыты в 1677 г. А. Левенгуком.** Это небольшие подвижные клетки, состоящие из головки, шейки и жгутика (хвоста). В головке находится ядро с гаплоидным набором хромосом. На заострённом конце головки располагается пузырёк — акросома — с ферментами, способными разрушать оболочку яйцеклетки. Акросома является производным аппарата Гольджи. Когда головка соприкасается с яйцеклеткой, содержимое акросомы освобождается и растворяет её оболочку. В шейке располагаются центриоли и многочисленные митохондрии, обеспечивающие энергией движение сперматозоида. Жгутик служит для осуществления движения сперматозоида и по строению сходен со жгутиком простейших.

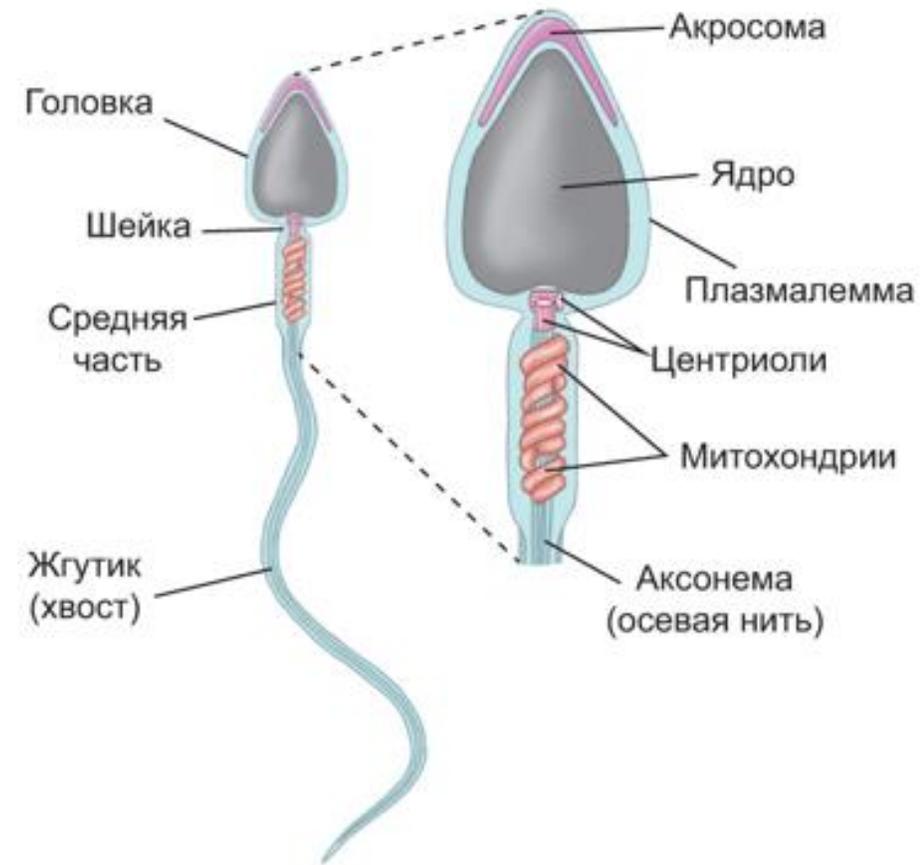


Схема строения сперматозоида

Все образующиеся при сперматогенезе сперматозоиды имеют одинаковые размеры. В них находится минимальное количество органоидов: ядро, митохондрии, центриоли и ферментный пузырёк — акросома. При оплодотворении центриоли вместе с ядром проникают в яйцеклетку и обеспечивают образование первого веретена деления у зиготы. Гормон, обеспечивающий сперматогенез у млекопитающих, называют **тестостероном**. Он вырабатывается половыми железами.

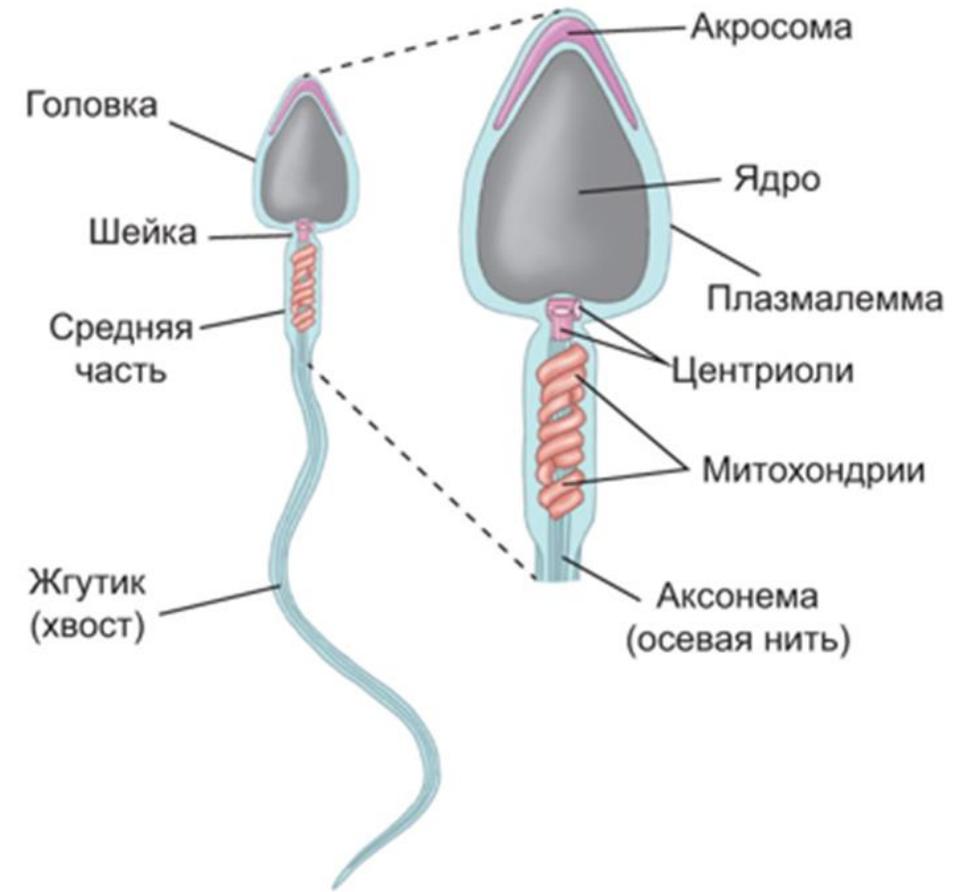


Схема строения сперматозоида

## Яйцеклетка

Яйцеклетка была открыта в 1827 г. русским учёным Карлом Максимовичем Бэр. Она представляет собой округлую, крупную, неподвижную клетку, содержащую ядро, все органоиды и много питательного вещества в виде желтка. Оогенез у млекопитающих происходит под контролем гормона **прогестерона**. Яйцеклетка у любого вида животных всегда значительно крупнее сперматозоида. Размеры яйцеклетки зависят от особенностей развития организма: длительность эмбриогенеза, развития в организме матери или вне его. Питательные вещества яйцеклетки обеспечивают развитие зародыша на начальной стадии (у млекопитающих, рыб, амфибий) или на всём протяжении эмбриогенеза (у птиц, рептилий).

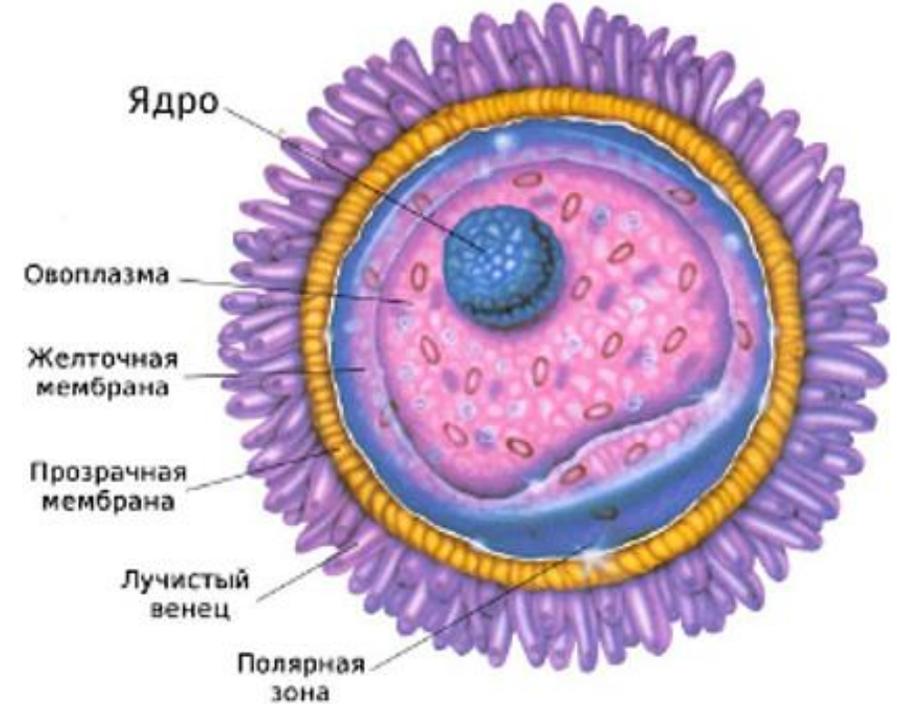


Рис. Схема строения яйцеклетки

- Поверх плазмалеммы яйцеклетка может быть окружена еще одной или несколькими оболочками. Они выполняют главным образом защитную функцию. Различают **первичные, вторичные и третичные** оболочки яйцеклеток.
- **Первичная оболочка**, называемая **желточной**, имеется у яйцеклеток почти всех животных, за исключением губок и большинства кишечнополостных. Эта оболочка является производной цитоплазматической мембраны. Она обеспечивает видоспецифичное узнавание сперматозоидов, благодаря чему половые клетки особей одного вида не сливаются с гаметам других видов живых организмов.
- Вторичные оболочки формируются за счет функционирования специальных клеток, окружающих яйцеклетку. Например, у млекопитающих яйцеклетки окружены несколькими слоями **фолликулярных клеток** — так называемым **лучистым венцом**. В процессе развития женской гаметы фолликулярные клетки обеспечивают ее питание, участвуют в формировании блестящей оболочки (названной так из-за ее оптических свойств), а также вырабатывают гормоны, которые стимулируют созревание будущей яйцеклетки.

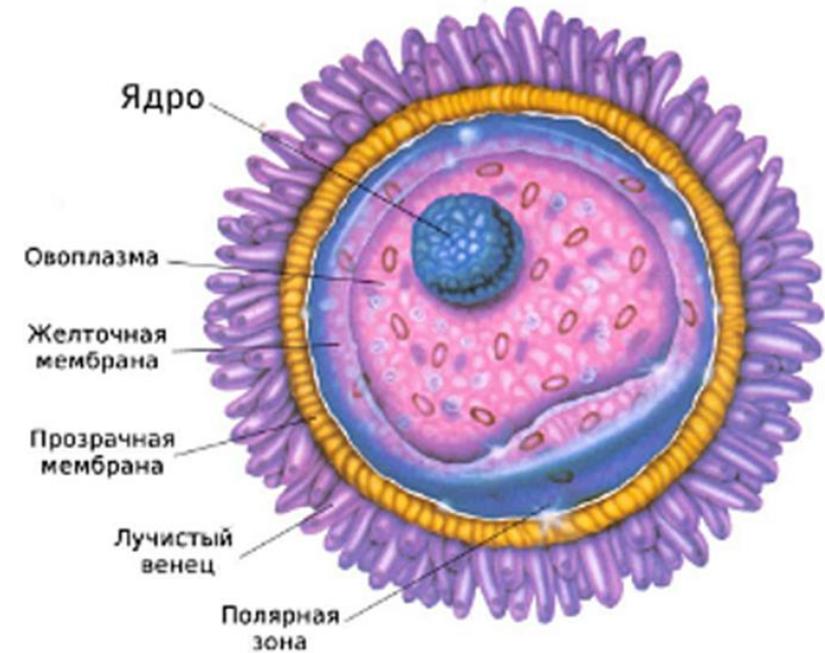


Рис. Схема строения яйцеклетки

Женские половые клетки некоторых животных (амфибий, рептилий, птиц и др.) имеют также третичные оболочки. Ими яйцеклетки покрываются благодаря деятельности особых секреторных клеток, входящих в состав стенок яйцеводов. Так, у птиц яйцеклетка во время прохождения по яйцеводу сначала окружается белковой оболочкой, затем двумя подскорлуповыми, скорлуповой и надскорлуповой.

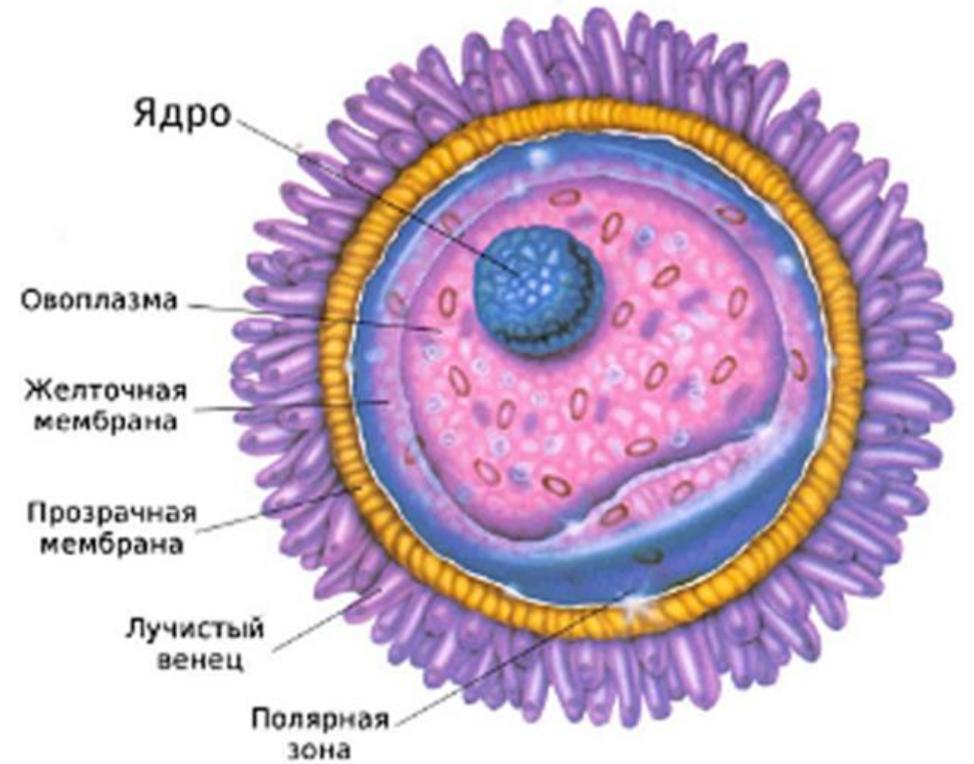


Рис. Схема строения яйцеклетки

Размеры яйцеклеток у разных организмов различны. Размеры яйцеклеток у млекопитающих составляют в среднем десятые доли миллиметра, у амфибий и рыб — в пределах одного сантиметра, а у рептилий и птиц достигают нескольких сантиметров. В отличие от яйцеклеток сперматозоиды значительно меньше. У млекопитающих их размеры варьируются от 0,001 до 0,008 мм (длина головки).

Организмы	Размеры яйцеклетки (в мм)
Аскарида	0,04
Моллюски, иглокожие	1,4
Лососевые рыбы	6—9
Лягушка	1,5
Крокодил	50
Курица	30
Страус	80
Кошка	0,13
Корова	0,15
Человек	0,10

### Способы размножения

Способ размножения	Особенности	Организмы
Бинарное деление	Митотическое деление материнской клетки на две дочерние.	Простейшие (саркодовые)
Множественное деление	Многократное митотическое деление ядра материнской клетки с последующей цитотомией.	Простейшие (жгутиковые, споровики)
Спорообразование	Развитие новой особи из специализированных клеток — спор.	Прокариоты Грибы Водоросли Мхи Плауны Папоротники
Бесполое Вегетативное	Развитие новой особи путём отделения от материнского организма части вегетативного органа.	Семенные растения
Почкование	Развитие новой особи на теле материнского организма из особой клетки или группы клеток — почки.	Инфузории Дрожжевые грибы Губки Кишечнополостные
Фрагментация	Деление особи на две или более части, каждая из которых даёт начало новому организму.	Нитчатые водоросли Плоские черви Иглокожие
Полиэмбриония	Развитие из одной зиготы нескольких жизнеспособных зародышей.	Семенные растения Млекопитающие

Способ размножения	Особенности	Организмы
Половое	Обоеполое Размножение с участием особей противоположных полов, у каждой из которых образуется только один тип половых клеток — гамет.	Большинство многоклеточных животных
	Гермафродитное Размножение с участием особей, каждая из которых способна образовывать как мужские, так и женские половые клетки — гаметы.	Кишечнополостные Плоские черви Кольчатые черви Моллюски
	Партеногенетическое Развитие новой особи из половой клетки одной из родительских особей без её оплодотворения.	Ракообразные Насекомые Рыбы Земноводные Рептилии Птицы

Таблица 51

## Сравнение бесполого и полового размножения

Особенности	Тип размножения	
	Бесполое	Половое
Количество особей, принимающих участие в размножении	Одна	Как правило, две
Исходные клетки	Соматические	Половые

Окончание табл. 51

Особенности	Тип размножения	
	Бесполое	Половое
Тип клеточного деления исходных клеток	Митоз	Мейоз
Наследственный материал	Дочерние организмы являются точной копией материнского	Потомки генетически отличаются от родителей и друг от друга
Биологическое значение	Поддержание постоянства кариотипа в череде поколений	Поддержание генетического разнообразия за счёт рекомбинации наследственного материала родителей в генотипах потомков