



# Задачи 1 типа

- Хромосомный набор соматических клеток пшеницы равен **28**. Определите хромосомный набор и число ДНК в клетках кончика корня перед началом митоза, в метафазе и в конце телофазы митоза. Поясните, какие процессы происходят в эти периоды и как влияют на изменение числа ДНК и хромосом.
- В клетках одного из видов пшеницы содержится **28** хромосом. Определите число хромосом и молекул ДНК при образовании пыльцы в тычинке на стадиях профазы мейоза I, профазы мейоза II и телофазы мейоза II. Объясните полученные результаты.
- Общая масса молекул ДНК в **46** хромосомах ядра соматической клетки человека составляет  **$6 \times 10^{-9}$**  мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в интерфазе, конце телофазы мейоза I и телофазы мейоза II. Ответ поясните.

**КАРИОКИНЕЗ**

Интерфаза	Профаза	Метафаза
КАРИОКИНЕЗ		ЦИТОКИНЕЗ

Рис. 57. Схема митоза в животной клетке

риода идёт подготовка к удвоению ДНК, иначе последующее можно. В этот период в клетке увеличивается содержание обходимых для синтеза ДНК, количество органоидов — с тех клетку на две клетки.

Синтетический период (S-фаза) — в этот период происходит удвоение, молекул ДНК. С этого момента каждая хромосома хроматиды.

Постсинтетический период (G<sub>2</sub>) — длится от окончания чала митоза. За этот период завершается подготовка к удвоению центриоли, синтезируются белки, участвующие в делении.

На этом интерфаза заканчивается, и начинается сам четырёх последовательных фаз: *профаза, метафаза, анафаза, телофаза* (см. рис. 57). Длительность митоза составляет приблизительно Профаза. Хромосомы компактизируются и утолщаются. стоит на двух хроматид, соединённых в области центроме и ядрышки исчезают. К концу профазы центриоли расходятся и начинается образование веретена деления.

В метафазу хромосомы ещё больше компактизируются, к плоскости клетки (см. рис. 57).

В анафазе центромеры делится, и хроматиды разделяются ния нитей веретена деления сестринские хроматиды расходятся. С этого момента их называют дочерними, каждая из хроматиды.

Телофаза характеризуется десинхронизацией хромосом, которые становятся плохо различимыми. Формируются ядерные оболочки, вновь становятся заметными ядрышки. Нити веретена деления исчезают. После образования двух ядер начинается деление цитоплазмы (*цитокинез*). Между новыми растительными клетками образуется перегородка, а в животных возникает поперечная перегородка, разделяющая дочерние клетки, идентичные родительской, с диплоидным набором хромосом (табл. 7).

Таким образом, из одной родительской клетки при митозе образуются две одинаковые дочерние клетки, идентичные родительской, с диплоидным набором хромосом (табл. 7).

Биологическое значение митотического деления очень велико, поскольку:

- 1) митоз обеспечивает генетическую стабильность путём точного распределения генетического материала между дочерними клетками;
- 2) митоз обеспечивает постоянство строения клеток, а вместе с тем и постоянство строения органов и систем многоклеточных организмов;
- 3) митоз позволяет увеличить число клеток, благодаря чему происходит рост;
- 4) митоз позволяет замещать мерные клетки, обеспечивая регенерацию;
- 5) митоз — основа большинства способов бесполого, в частности вегетативного, размножения.

**Мейоз.** Во время процесса полового размножения происходит оплодотворение, т. е. слияние ядер мужской и женской половых клеток, называемых *гаметами*. Получившаяся в результате оплодотворения клетка называется *зиготой*. Ядро зиготы содержит двойной (диплоидный) набор хромосом (2n4c), и, пройдя митозом, всегда даёт начало всему многоклеточному организму растения или животного. Но для того чтобы в зиготе получился двойной набор хромосом, необходимо, что-

**КАРИОКИНЕЗ**

Профаза I	Метафаза I — анафаза I	Телофаза I

Рис. 58. Схема мейоза

Профаза I. Хромосомы компактизируются и утолщаются. стоит на двух хроматид, соединённых в области центроме и ядрышки исчезают. К концу профазы центриоли расходятся и начинается образование веретена деления.

В метафазу хромосомы ещё больше компактизируются, к плоскости клетки (см. рис. 57).

В анафазе центромеры делится, и хроматиды разделяются ния нитей веретена деления сестринские хроматиды расходятся. С этого момента их называют дочерними, каждая из хроматиды.

# Задачи 2 типа



□ В соматической клетке тела рыбы **56** хромосом. Какой набор хромосом имеет сперматозоид рыбы? В ответе запишите только число хромосом.

□ В ядрах клеток слизистой оболочки кишечника позвоночного животного **20** хромосом. Какое число хромосом и ДНК будет иметь ядро яйцеклетки и зиготы этого животного?

□ Общая масса всех молекул ДНК в **46** хромосомах одной соматической клетки человека в начале интерфазы составляет около  **$6 \times 10^{-9}$**  мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в ядрах клеток при овогенезе непосредственно перед началом мейоза и в анафазе мейоза **I**. Объясните полученные результаты.

## § 21. РАЗВИТИЕ ГАМЕТ. ОПЛОДОТВОРЕНИЕ

- В чём биологический смысл мейоза?
- В чём принципиальное различие в процессах созревания яйцеклеток и сперматозоидов?

Развитие гамет. Процесс развития половых клеток (гамет) называется гаметогенезом. У разных организмов гаметогенез происходит в различных органах. Например, у мхов и папоротникообразных сперматозоиды и яйцеклетки воспроизводятся в половых органах — антеридиях и архегониях.

У голосеменных и покрытосеменных растений спермии формируются в пыльцевых зёрнах, а яйцеклетка — в зародышевом мешке. У многоклеточных животных, в том числе и человека, мужские и женские гаметы образуются в семенниках и яичниках.

Развитие женских половых клеток называется овогенезом, а мужских — сперматогенезом (рис. 67). В яичниках женщины приблизительно с 12 до 50 лет созревают и теоретически могут быть оплодотворены 400 яйцеклеток. У мужчины с 12 лет и до конца жизни формируются около триллиона ( $10^{12}$ ) сперматозоидов. В сутки в семенниках запасается около 500 млн новых гамет.

Фаза размножения — первая фаза гаметогенеза млекопитающих, в частности человека. Предшественники половых клеток многократно делятся митозом, сохраняя диплоидный набор хромосом в ядрах. Таким образом, увеличивается количество будущих гамет. У самцов млекопитающих этот процесс идёт с момента наступления половой зрелости до глубокой старости. У самок млекопитающих первичные половые клетки делятся только в период их эмбрионального развития и до наступления полового созревания сохраняются в яичнике.

Фаза роста — вторая фаза формирования гамет. На этой фазе будущие гаметы растут, в их ядрах происходит репликация ДНК. Особенно сильно увеличивается и размеры будущей яйцеклетки.

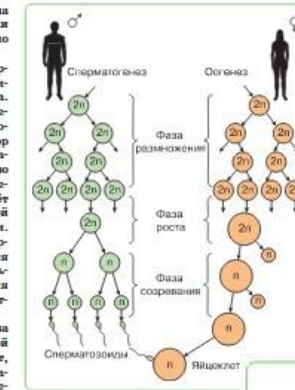


Рис. 67. Схема сперматогенеза и овогенеза

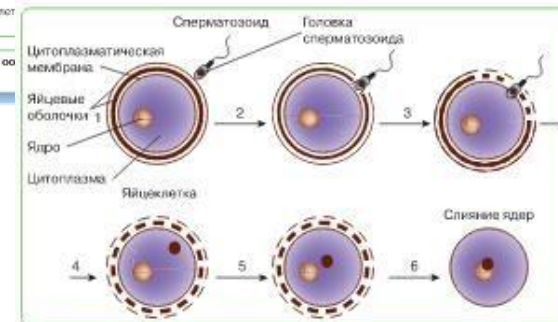
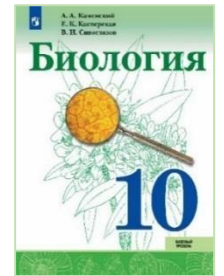


Рис. 68. Оплодотворение у животных



# Задачи 3 типа

- ❑ В клетках эндосперма семян лилии **21** хромосома. Как изменится число хромосом и молекул ДНК в конце телофазы мейоза **I** и мейоза **II** по сравнению с интерфазой у этого организма? Ответ поясните.
- ❑ В кариотипе лука содержится **16** хромосом. Определите число хромосом в анафазе митоза в клетках эндосперма, если у него триплоидный набор хромосом. Ответ поясните.
- ❑ Какой хромосомный набор характерен для микроспоры, которая образуется в пыльнике, и спермия цветкового растения? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки.
- ❑ Какой хромосомный набор характерен для клеток пыльцевого зерна и спермиев сосны? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки.

Ядро сперматоида и цитоплазма яйцеклетки увеличивается примерно до размера ядра яйцеклетки. Оба ядра двигаются навстречу друг другу и сливаются. Таким образом, в образовавшейся клетке (зиготе) восстанавливается диплоидный набор хромосом, и начинается её дробление — многократное деление митозом.

Для оплодотворения необходим один сперматозоид, однако оплодотворение возможно лишь в том случае, когда и половые пути женщины попадают одновременно около 200 млн сперматозоидов. Дело в том что сперматозоидам приходится пройти до оплодотворения очень большой для их размеров путь, да ещё и в агрессивной химической среде. И подавляющее большинство их до яйцеклетки не доходит.

Двойное оплодотворение у цветковых растений. У покрытосеменных (двуклоных) растений особый вид оплодотворения (рис. 69). В пыльниках тычинок из материнских диплоидных клеток в результате мейоза образуются гаплоидные микроспоры. Каждая микроспора делится митозом, образуя также две гаплоидные клетки — вегетативную и генеративную, которые формируют пыльцевое зерно.

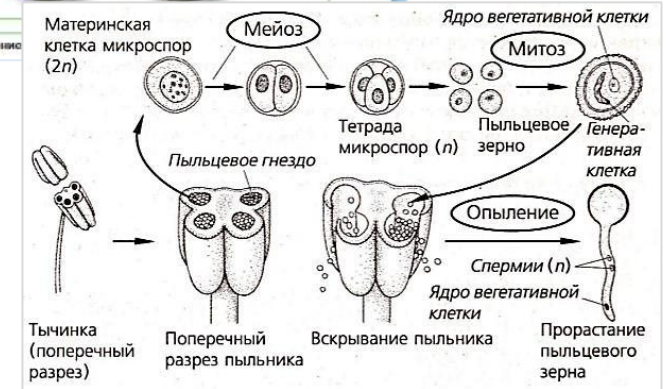
Пыльцевое зерно покрыто двумя оболочками и представляет собой мужской гаметофит. При попадании пыльцевого зерна на рыльце пестика (см. рис. 69) вегетативная клетка прорастает, образуя пыльцевую трубку, которая в своём росте стремится к яичнику с находящейся в ней яйцеклеткой. Генеративная клетка перемещается в пыльцевую трубку и делится митозом, образуя две спермии.

В яичнике пестика из материнской клетки в результате мейоза образуются 4 гаплоидные мегаспоры. Три из них отмирают, а оставшаяся делится митозом, формируя 8-ми клеточный зародышевый мешок, одна из клеток которого является яйцеклеткой. Две гаплоидные клетки сливаются, образуя центральную диплоидную клетку. Зародышевый мешок является женским гаметофитом, поскольку в нём созревает женская гамета — яйцеклетка.

После того как пыльцевая трубка прорастает в семязачаток, один из спермиев оплодотворяет яйцеклетку, и образуется диплоидная зигота. Другой спермий сливается с центральной клеткой зародышевого мешка. Таким образом, у покрытосеменных растений при оплодотворении происходит два слияния, т. е. двойное оплодотворение. В результате первого слияния возникает зигота, из которой



Рис. 69. Оплодотворение

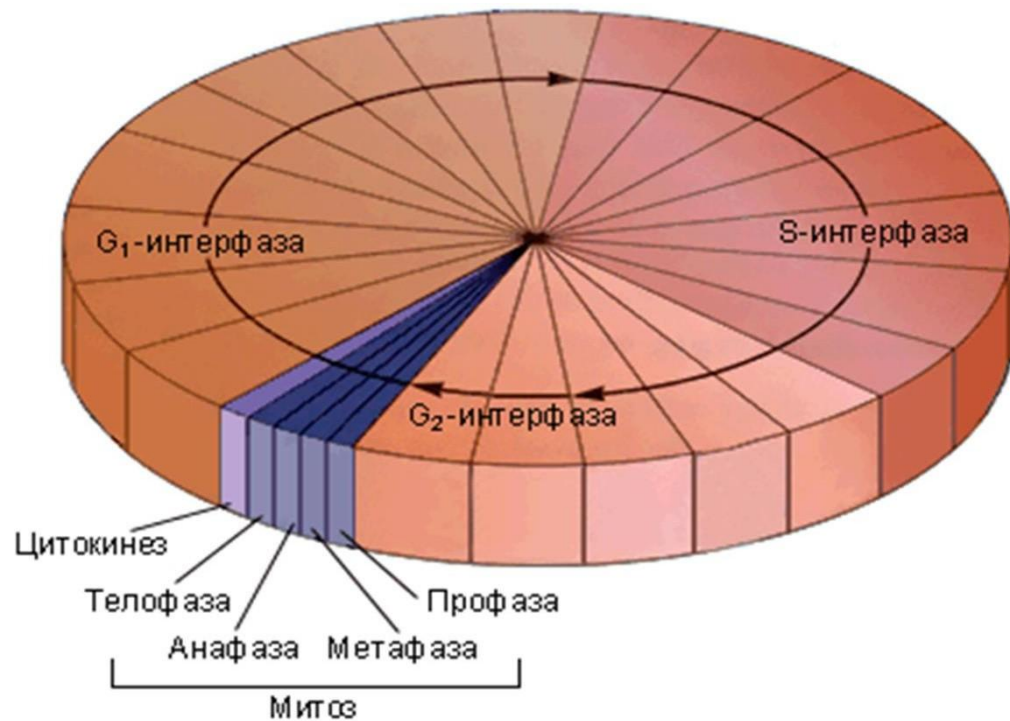






# На что обратить внимание?

## Клеточный цикл



### ИНТЕРФАЗА:

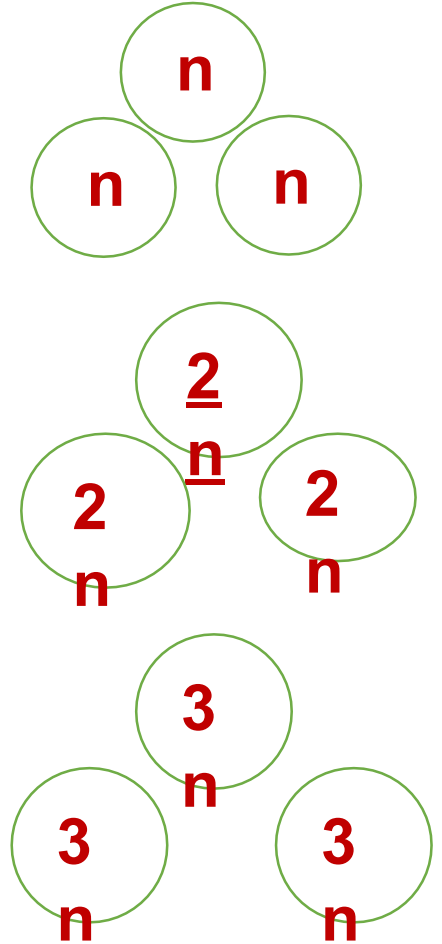
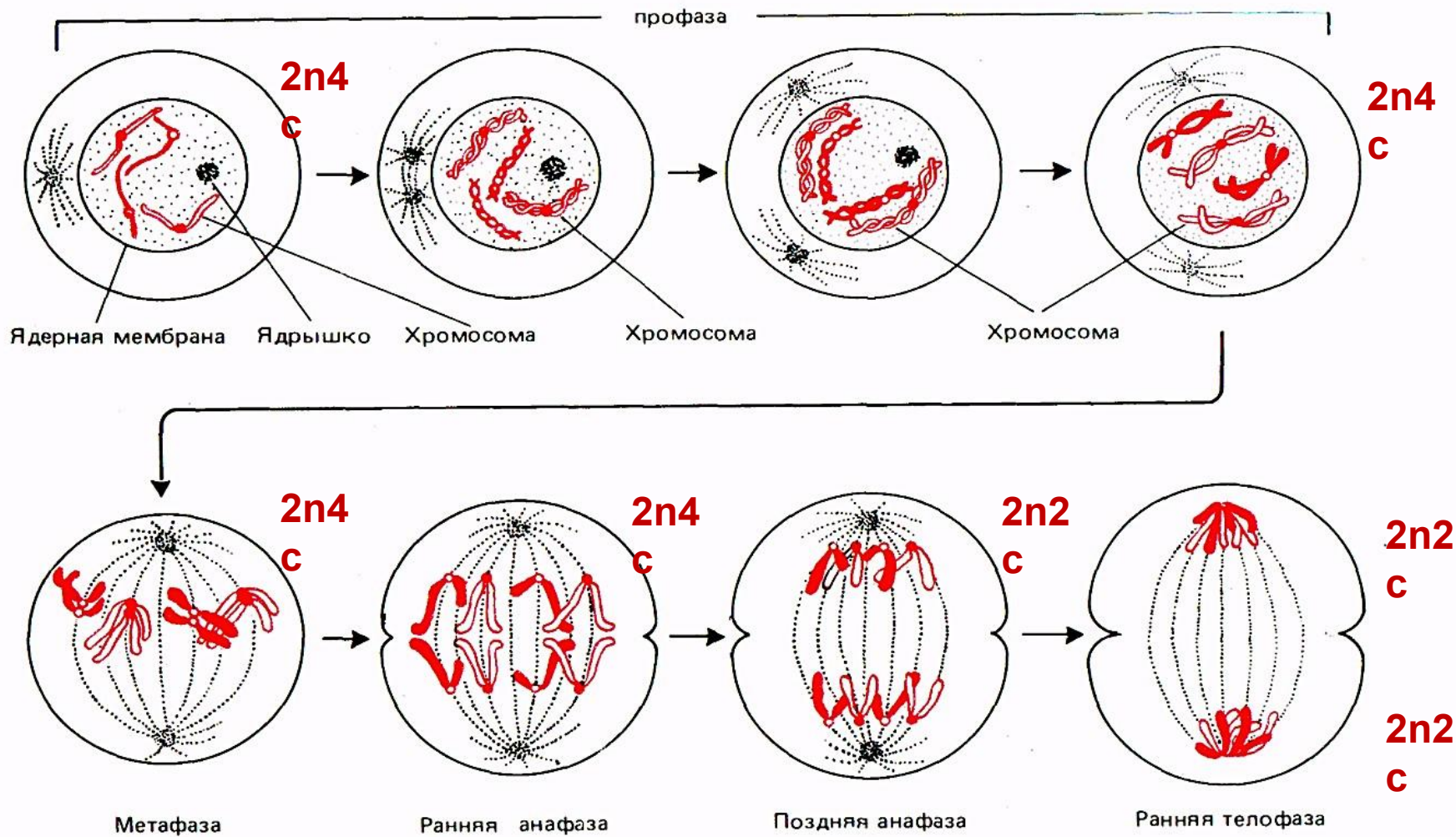
- 1) **Пресинтетический период (G<sub>1</sub>):**
  - подготовка к синтезу ДНК,
  - образование РНК, белков, ферментов
  - синтеза ДНК,
  - увеличивается число органоидов.

Содержание хромосом ( $n$ ) и ДНК ( $c$ ) равно **2n2c**.
- 2) **Синтетический период (S):**
  - репликация ДНК,
  - образование двуххроматидных хромосом – **2n4c**.
- 3) **Постсинтетический период (G<sub>2</sub>):**
  - удвоение центриолей,
  - синтез белков,
  - завершается рост.



# На что обратить внимание?

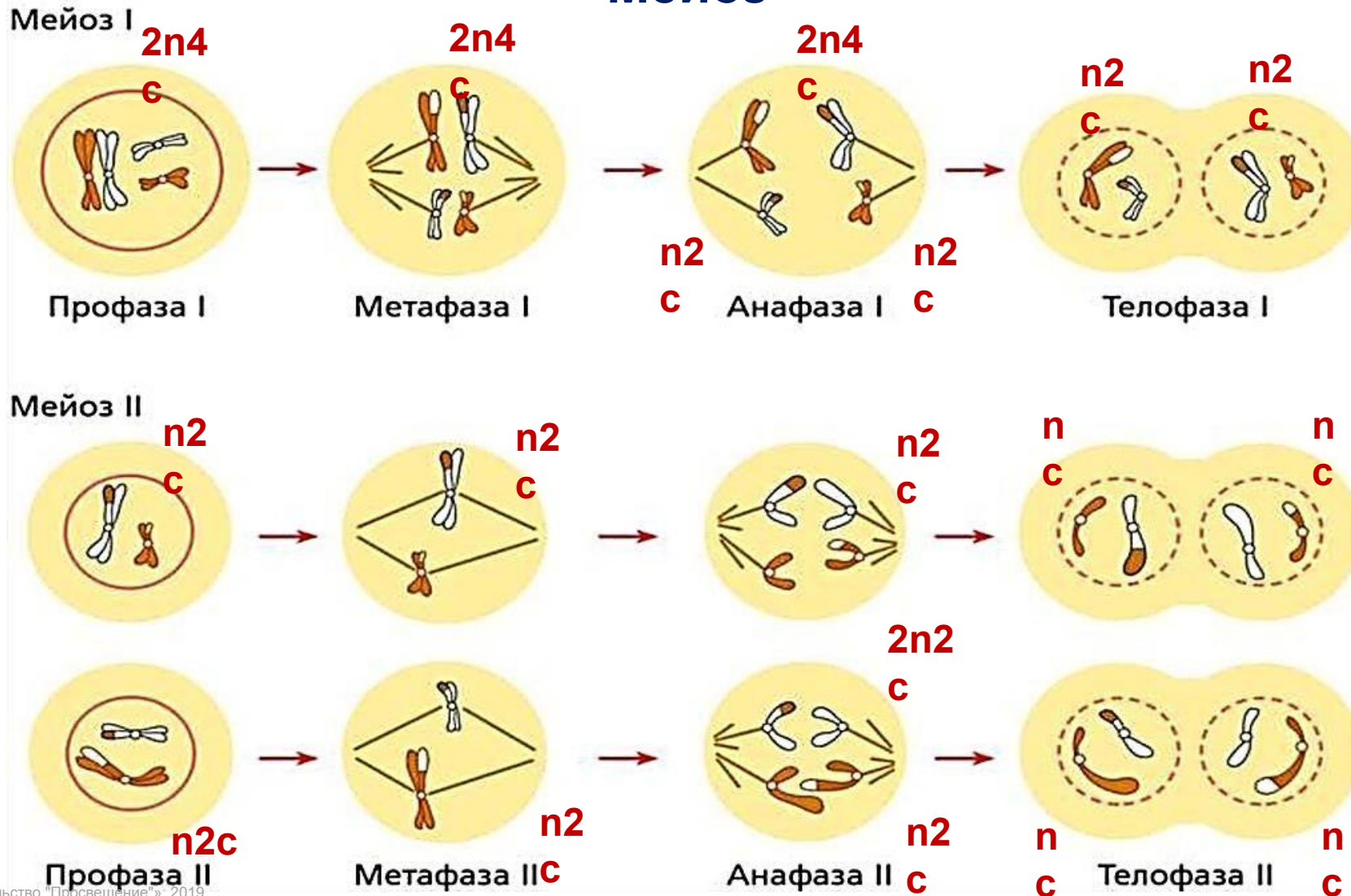
## МИТОЗ



# На что обратить внимание?



## Мейоз



Интеркинез  
(короткая  
интерфаза)



# Найдем неточности в сравнении!

## Сравнение митоза и

Признаки <b>мейоза</b>	Митоз	Мейоз
Где происходит?	1. Происходит в <b>соматических</b> клетках	1. Происходит в <b>созревающих половых</b> клетках
Основой какого процесса является	2. Лежит в основе <b>бесполого</b> размножения	2. Лежит в основе <b>полового</b> размножения
Особенности деления:	3. <b>Одно</b> деление	3. <b>Два</b> последовательных деления
А) интерфаза	А) удвоение молекул ДНК происходят в <b>интерфазе</b> перед делением	А) удвоение молекул ДНК происходит только перед <b>первым</b> делением, перед вторым <b>интерфазы нет</b>
Б) профаза	Б) <b>нет</b> конъюгации	Б) <b>есть</b> конъюгация
В) метафаза	В) удвоенные хромосомы выстраиваются по экватору <b>отдельно</b>	В) удвоенные хромосомы выстраиваются по экватору <b>парами (бивалентами)</b>
Результаты	7. Образуются <b>две диплоидные клетки</b> (соматические клетки)	7. Образуются <b>четыре гаплоидные клетки</b> (будущие половые клетки)

# Сравним правильно!

	МИТОЗ	МЕЙОЗ
С Х О Д Н О С Т В О	1. Сходные механизмы, с помощью которых хромосомы и др. клеточные органеллы реплицируются. 2. Перед митозом и мейозом происходит самоудвоение хромосом, спирализация и удвоение молекул ДНК. 3. Сходны механизмы перемещения структур 4. Сходны механизмы цитокинеза. 5. Имеют одинаковые фазы деления	
О Т Л И Ч И Я	1. Одно деление	1. Два деления
	2. В интерфазе – набор хромосом – $2n$	2. В интерфазе I – набор хромосом $2n$ , в интерфазе II – набор хромосом – $1n$
	3. В профазе – гомологичные хромосомы обособлены, хиазмы не образуются, кроссинговер не происходит	3. В профазе I – гомологичные хромосомы конъюгируют, хиазмы образуются, кроссинговер может быть.
	4. В метафазе – по экватору выстраиваются хромосомы	4. В метафазе I – по экватору выстраиваются биваленты (гомологичные хромосомы)
	5. В анафазе – расхождение к полюсам хроматид. Хроматиды идентичны.	5. В анафазе I – расхождение к полюсам гомологичных хромосом (состоящих из двух хроматид). Хромосомы неидентичны.
	6. Образуются 2 дочерние клетки с $2n$ хромосом (подобно родительской клетке).	6. Образуются 4 клетки с $n$ хромосом. Число хромосом в дочерних клетках вдвое меньше, чем в родительских. Дочерние клетки содержат только по одной из каждой пары гомологичных хромосом.
	7. При образовании соматических клеток и др.	7. При гаметогенезе у животных и спорогенезе у растений





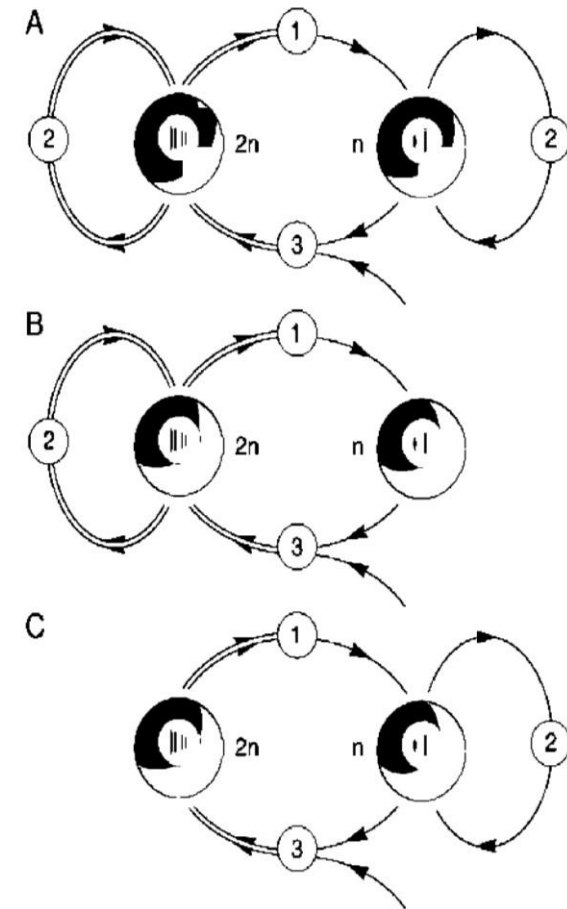
# На что обратить внимание?

## Типы

**Зиготный (начальный) мейоз** свойственен многим грибам и водорослям. Происходит в зиготе сразу после оплодотворения и приводит к образованию спор или гамет. В жизненном цикле организмов преобладает *гаплофаза*, а *диплофаза* редуцирована до зиготы.

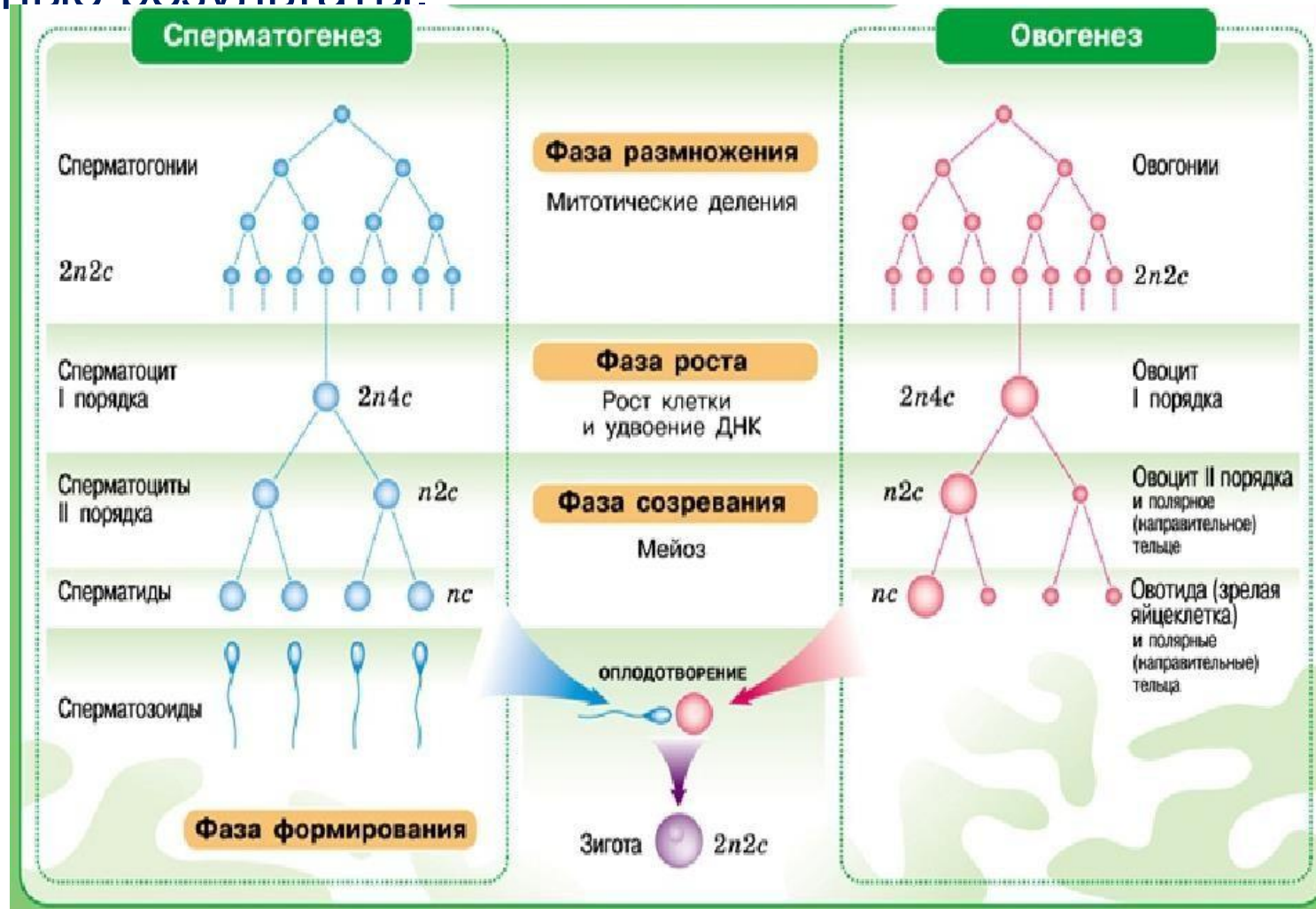
**Споровый (промежуточный) мейоз** характерен для высших растений, у которых в жизненном цикле чередуются поколения спорофита и гаметофита. Мейоз идет в клетках диплоидного спорофита (*диплофаза*). В результате спорогенеза образуются споры с гаплоидным числом хромосом. Они развиваются, делясь митозом, в гаметофит (*гаплофаза*), продуцирующий гаметы, слияние которых в зиготу опять дает начало диплоидному спорофиту. Характерен также для грибов.

**Гаметный (конечный) мейоз** наблюдается у животных, а также у некоторых простейших и ряда низших растений. В этом случае мейоз происходит во время гаметогенеза, и гаплофазе соответствуют гаметы (яйцеклетки и сперматозоиды).



1 – мейоз (редукция); 2 – митоз (деление); 3 – оплодотворение. Место мейоза в жизненном цикле: А – спорового; В – гаметного; С – зиготного.  $2n$  – диплоидная фаза;  $n$  – гаплоидная фаза

Общая масса всех молекул ДНК в 46 хромосомах одной соматической клетки составляет около  $6 \cdot 10^9$  мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в ядре при овогенезе перед началом деления, в конце телофазы мейоза I и мейоза II. Объясните полученные результаты.



Решение:

- 1) перед началом деления в процессе репликации число ДНК удваивается и масса ДНК равна  $2 \cdot 6 \cdot 10^{-9} = 12 \cdot 10^{-9}$  мг;
- 2) первое деление мейоза редукционное, число хромосом становится в 2 раза меньше, но каждая хромосома состоит из двух молекул ДНК (сестринских хроматид), поэтому в телофазе мейоза I масса ДНК равна  $12 \cdot 10^{-9} : 2 = 6 \cdot 10^{-9}$  мг;
- 3) после мейоза II каждое ядро в клетке содержит однохроматидные хромосомы гаплоидного набора, поэтому в телофазе мейоза II масса ДНК равна  $6 \cdot 10^{-9} : 2 = 3 \cdot 10^{-9}$  мг.

Ответ: масса ДНК перед началом деления  $12 \cdot 10^{-9}$  мг, в конце телофазы мейоза I -  $6 \cdot 10^{-9}$  мг, в конце телофазы мейоза II -  $3 \cdot 10^{-9}$  мг



Общая масса ДНК в одном соматическом ядре клетки человека составляет  $6 \cdot 10^{-12}$  г. Посчитайте массу ДНК в ядре эритроцита человека. Объясните свои расчёты. Ответ дайте в микрограммах (мкг).

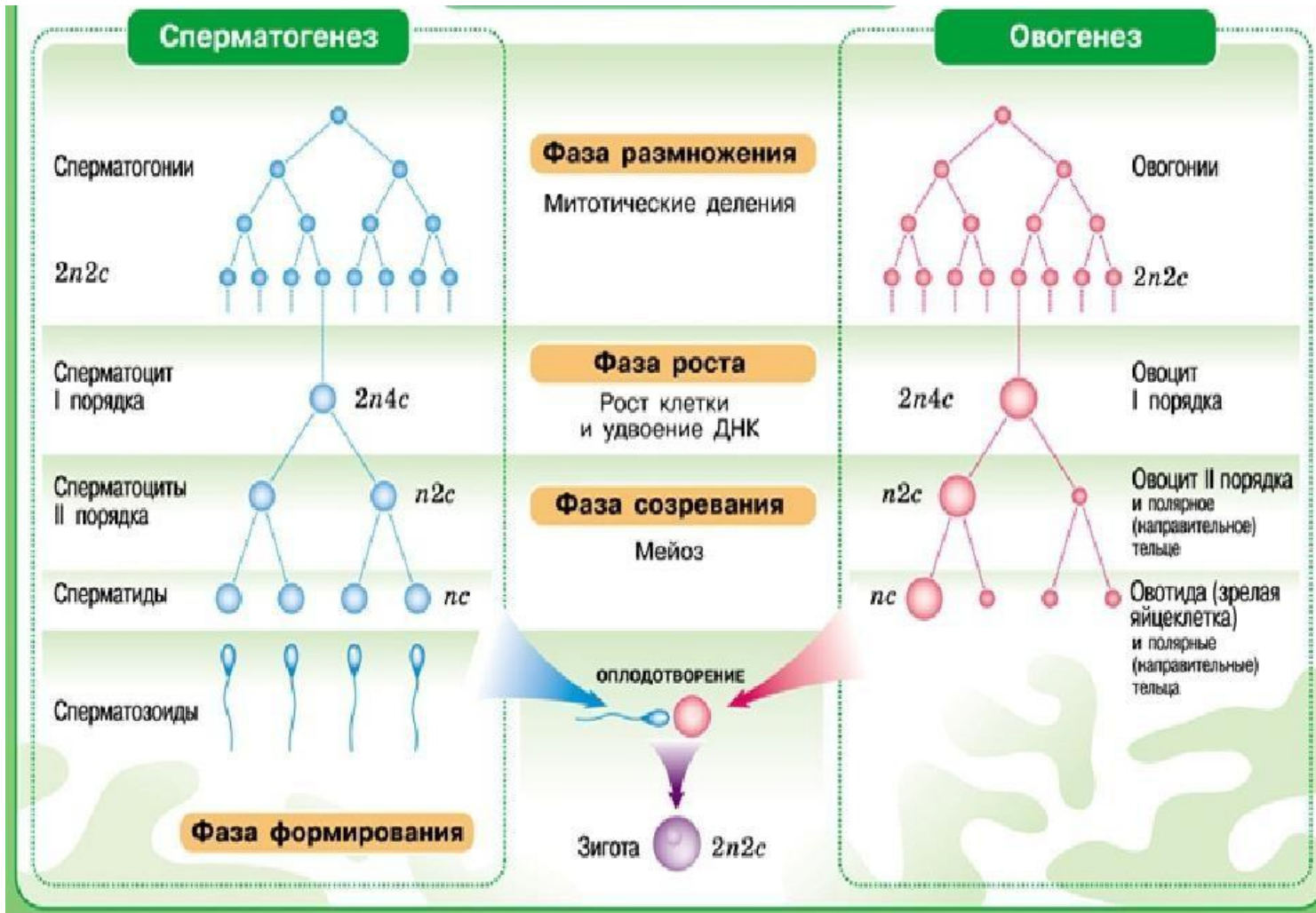
Общая масса всех молекул ДНК в 46 ядре человека составляет  $10^{-9}$  г. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в ядре при овогенезе перед началом деления, в конце телофазы мейоза I и мейоза II. Объясните полученные результаты.

Общая масса ДНК в одном соматическом ядре клетки человека составляет  $6 \cdot 10^{-12}$  г. Посчитайте массу ДНК в эякуляте человека, если в нём 3 млн сперматозоидов. Объясните свои расчёты. Ответ дайте в микрограммах (мкг).

Элементы ответа:

- 1) сперматозоиды образуются в результате мейоза (сперматозоиды гаплоидны, а соматическая клетка диплоидна);
  - 2) делим количество ДНК на 2:  
 $6 \cdot 10^{-12} : 2 = 3 \cdot 10^{-12}$ ;
  - 3) умножаем количество ДНК в одном сперматозоиде на 3 млн:  
 $3 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^6 = 9 \cdot 10^{-6}$ ;
  - 4) в 1 г 1 000 000 ( $10^6$ ) мкг;
  - 5) Получается в одном эякуляте человека 9 мкг ДНК
-

В половой клетке самки кролика 44 хромосомы. Сколько молекул ДНК будет содержать яйцеклетка и овоцит в конце фазы созревания овогенеза.





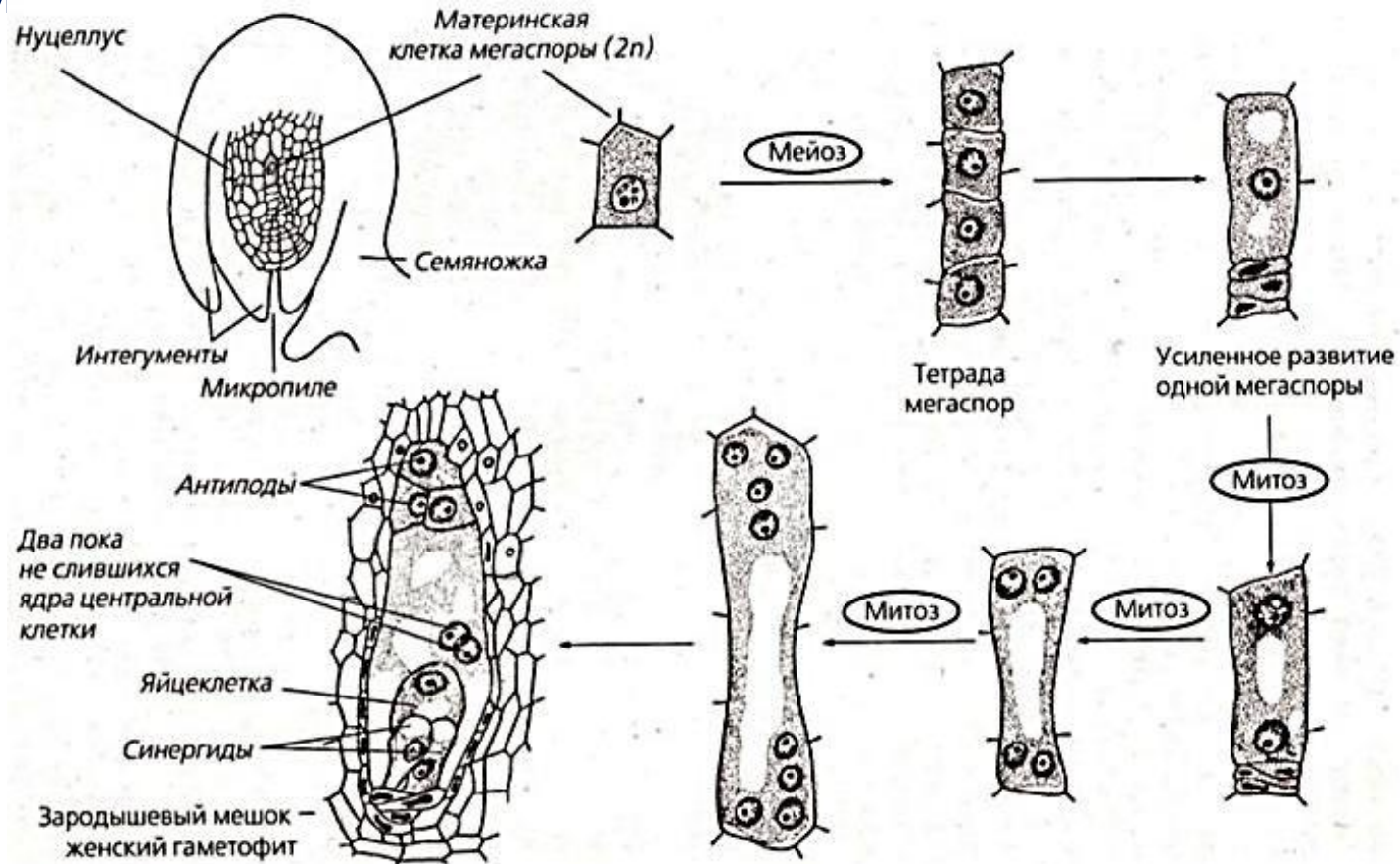
## Сравнение сперматогенеза и овогенеза

Стадия	Сперматогенез	Овогенез
Размножение (митоз) $2n2c$	размножение первичных половых клеток (гоноцитов) начинается с периода полового созревания и продолжается всю жизнь самца: сперматогонии	гоноциты закладываются в период эмбриогенеза самки; их размножение заканчивается к рождению: овогонии
Рост (интерфаза) $2n4c$	незначительный рост клетки: сперматоциты I порядка	значительный рост клетки: овоциты I порядка
Созревание — мейоз I ( $n2c$ )	в профазе I конъюгация гомологичных хромосом и кроссинговер: 2 сперматоцита II порядка	в профазе I конъюгация гомологичных хромосом и кроссинговер: 1 овоцит II порядка и редуccionное тельце
— мейоз II ( $nc$ )	из каждого сперматоцита 2 порядка образуются 2 сперматиды	из овоцита II порядка образуется 1 яйцеклетка и 1 редуccionное тельце. Первое редуccionное тельце образует 2 редуccionных тельца
Формирование $nc$	из сперматиды формируется сперматозоид	стадия отсутствует

# Решени

- 1) Первичная половая клетка - оогоний –  $2n2c$  - 44 хромосомы, молекул ДНК – 44;
- 2) Ооцит I порядка в стадии роста (интерфаза перед мейозом I) – 44 хромосомы, молекул ДНК – 88;
- 3) Перед началом деления число хромосом не изменяется, а число ДНК удвоилось за счёт репликации -  $2n4c$ ;
- 4) Яйцеклетка и направительные тельца в конце фазы созревания (мейоза II) – 22 хромосомы, молекул ДНК – 22
- 5) Прошло два последовательных деления мейоз I (редукционное деление): число хромосом становится в 2 раза меньше, но каждая хромосома состоит из двух молекул ДНК (сестринских хроматид) -  $n2c$ , и мейоз II (эквационное деление): к полюсам

Хромосомный набор соматических клеток пшеницы равен 28. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в одной из клеток семязачатка перед началом мейоза, в анафазе мейоза I и в анафазе мейоза II. Объясните, какие процессы происходят в эти периоды и как они влияют на изменение числа ДНК и хромосом

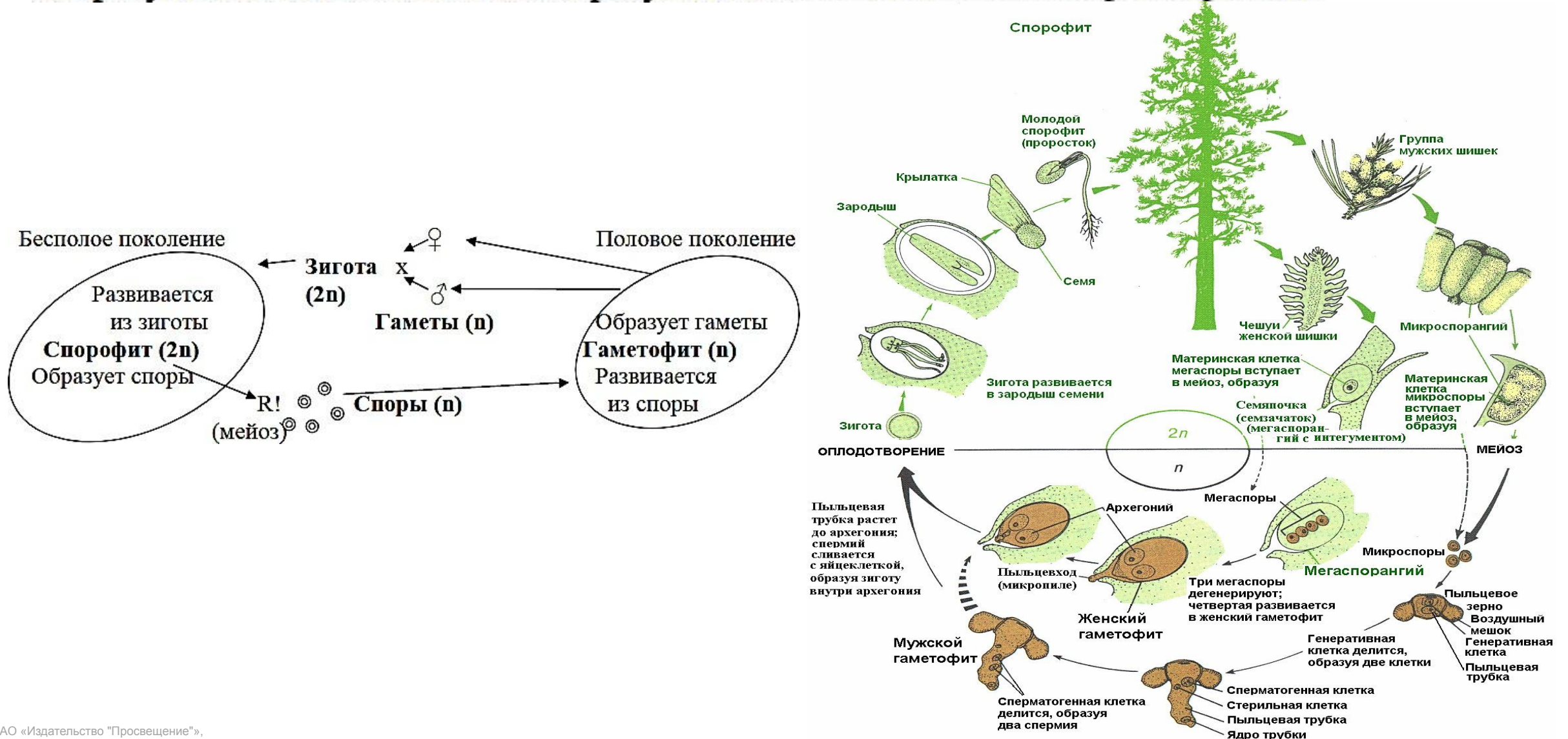




Решение:

- 1) Клетки семязачатка содержат диплоидный набор хромосом - 28 ( $2n2c$ ).
- 2) Перед началом мейоза в S-периоде интерфазы – удвоение ДНК, число хромосом не меняется: 28 хромосом, 56 ДНК ( $2n4c$ ).
- 3) В анафазе мейоза I - к полюсам клетки расходятся хромосомы, состоящие из двух хроматид. Генетический материал клетки будет ( $2n4c = n2c+n2c$ ) – 28 хромосом, 56 ДНК .
- 4) В мейоз II вступают 2 дочерние клетки с гаплоидным набором хромосом ( $n2c$ ) – 14 хромосом, 28 ДНК (интерфаза короткая удвоение ДНК не происходит)
- 5) В анафазе мейоза II - к полюсам клетки расходятся хроматиды. После расхождения хроматид число хромосом увеличивается в 2 раза (хроматиды становятся

Какой хромосомный набор характерен для клеток чешуй женских шишек и макроспоры (женской споры) ели? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются клетки шишки и макроспора ели.



Элементы ответа:

- 1) в клетках чешуй женских шишек диплоидный набор хромосом –  $2n$ ;
- 2) в макроспоре гаплоидный набор хромосом –  $n$ ;
- 3) женские шишки развиваются из зиготы (диплоидных клеток спорофита, взрослого растения) в результате митоза;
- 4) макроспора образуется из клетки (спорогенной клетки) семязачатка в женской шишке в результате мейоза

# Алгоритм обучения решению задач по циклам развития растений



- 1.** Внимательное изучение **по рисункам** митотического и мейотического деления клетки, включая обязательный анализ изменения состояния и числа хромосом на каждом этапе жизненного цикла клетки.
- 2.** Внимательное изучение **по описанию в тексте** учебника и **по схемам** цикла развития растений, с обязательным анализом характера деления клеток и соответственно изменения числа хромосом на разных этапах цикла развития.
- 3.** Выявление эволюционного изменения соотношения времени и формы существования гаметофита и спорофита.
- 4.** Тренировка в формулировании вопросов по циклам развития растений.
- 5.** Выполнение готовых заданий данного типа, с учетом критериев.