

# §35 КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ



**Рудольф Вирхов (1821–1902)**  
– немецкий патологоанатом и общественный деятель, один из выдающихся врачей XIX века.



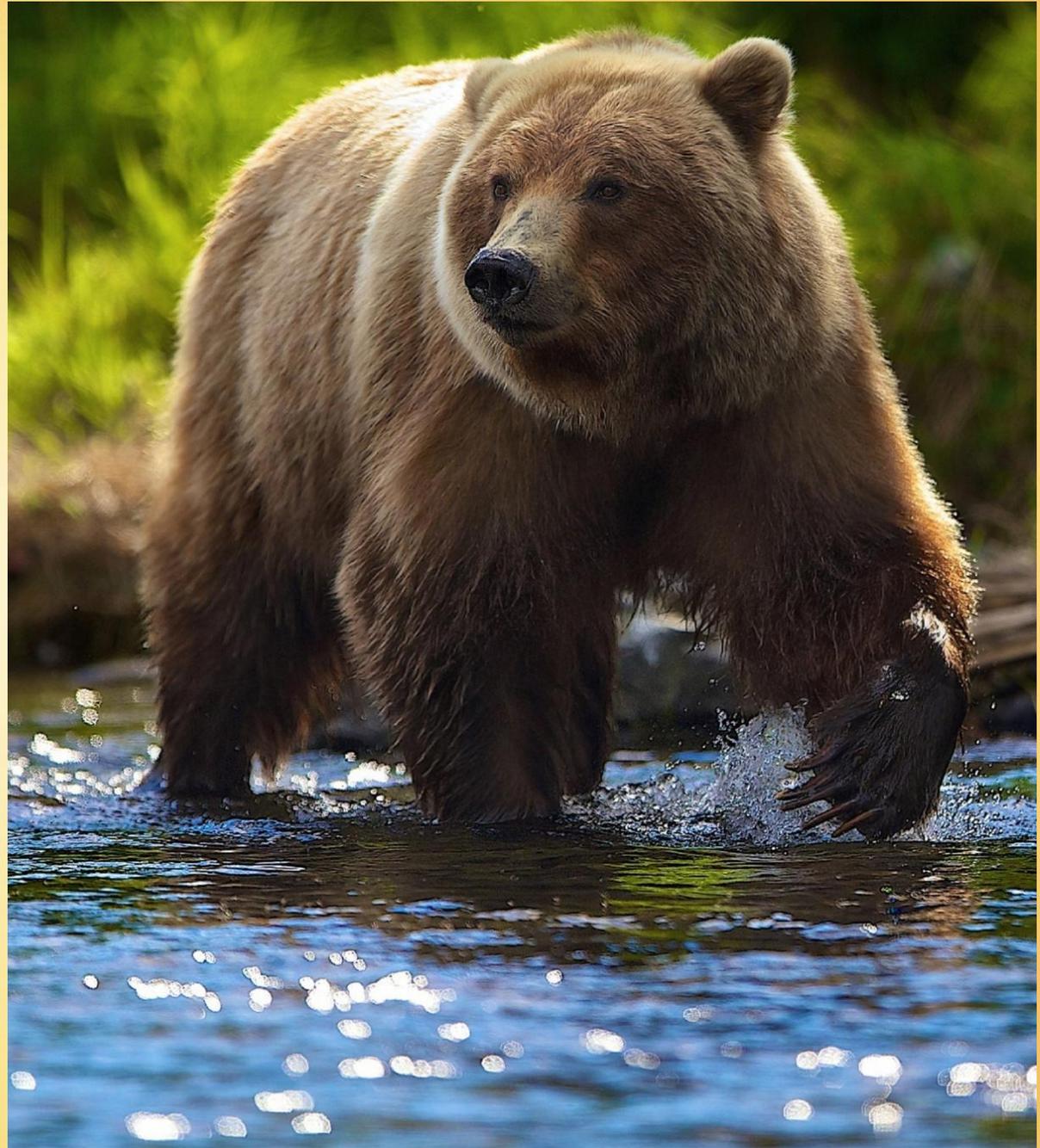
**1858-1859 г.** – "Всякая клетка происходит из другой клетки".

# Деление клетки лежит в основе роста , развития и размножения



**ЗИГОТА**









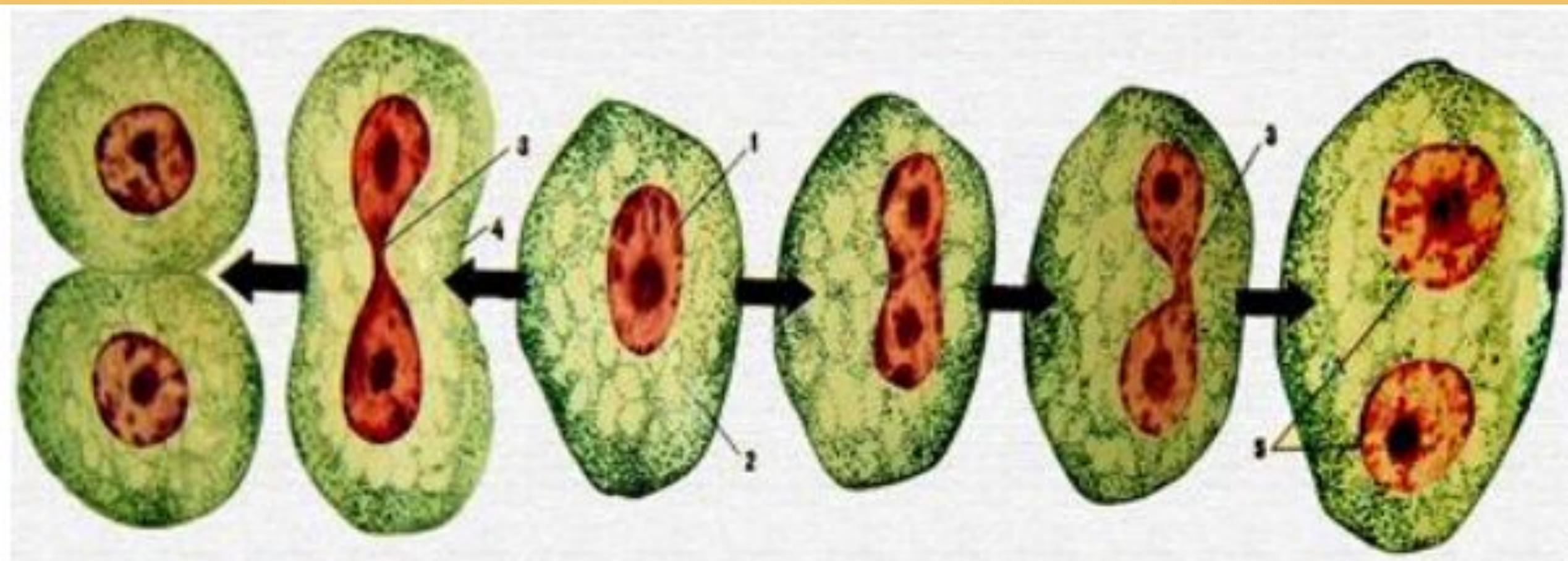
**Деление клеток** – биологический процесс, лежащий в основе размножения и индивидуального развития всех живых организмов.

|                           |                            |                                   |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Амитоз,<br>прямое деление | МИТОЗ,<br>непрямое деление | Мейоз,<br>редукционное<br>деление |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|

## **Амитоз, прямое деление**

Деление клеток, заканчивающих существование (отмирающие клетки эпителия, фолликулярные клетки яичников), опухолевых клеток, осуществляющих злокачественный рост.

Протекает без образования хромосом (они не конденсируются), без образования веретена деления, ядро делится перетяжкой или фрагментацией, цитокинез не всегда следует за делением ядра, поэтому образуются многоядерные клетки.



*Рис.10. Амитотическое (прямое) деление животной клетки: 1 – ядро; 2 – цитоплазма; 3 – перешнуровка ядра; 4 – цитотомия; 5 – двуядерная клетка.*

В литературе нередко описывают третий способ деления клеток – **амитоз** или **прямое деление интерфазного ядра**, которое осуществляется посредством перетяжки ядра и цитоплазмы без спирализации хромосом, без формирования веретена деления, с образованием двух дочерних клеток или одной двуядерной (рис. 10). Две дочерние клетки имеют неодинаковый генетический материал. Прямое деление может ограничиваться только делением ядра, что приводит к образованию дву- и многоядерных клеток. После амитоза клетка не способна вернуться в нормальный митотический цикл. В норме наблюдается в высокоспециализированных тканях, в клетках, которым уже не предстоит делиться – в эпителии, печени. Однако в настоящее время принято считать, что прямой способ деления характерен только для старых, патологически измененных и дегенерирующих клеток, обреченных на гибель, что является отражением патологии клетки.

| <p style="text-align: center;"><b>МИТОЗ,<br/>непрямое деление</b></p>   | <p style="text-align: center;"><b>Мейоз,<br/>редукционное деление</b></p>   |
|---|---|
| <p>Основной способ деления эукариотических клеток, при котором из одной материнской клетки образуется две дочерние с точно таким же набором хромосом, что и в исходной материнской клетки.</p>  | <p>Особое деление клеток, когда из одной исходной диплоидной клетки образуется четыре гаплоидные клетки, т.е происходит редукция – УМЕНЬШЕНИЕ- числа хромосом в два раза!</p>         |
| <p><b>При митозе происходит сохранение набора в жизненном цикле ОРГАНИЗМА</b></p> <p>Ж- деление зиготы, соматических клеток (клеток тела)</p> <p>Р-митозом делятся клетки спорофита, зиготы, гаметофита, <b>МИТОЗОМ образуются ГАМЕТЫ</b></p> | <p><b>Мейоз обеспечивает постоянство набора в ряду поколений или в жизненном цикле ВИДА</b></p> <p><b>Ж- мейозом образуются ГАМЕТЫ</b></p> <p><b>Р – мейозом образуются СПОРЫ</b></p> |

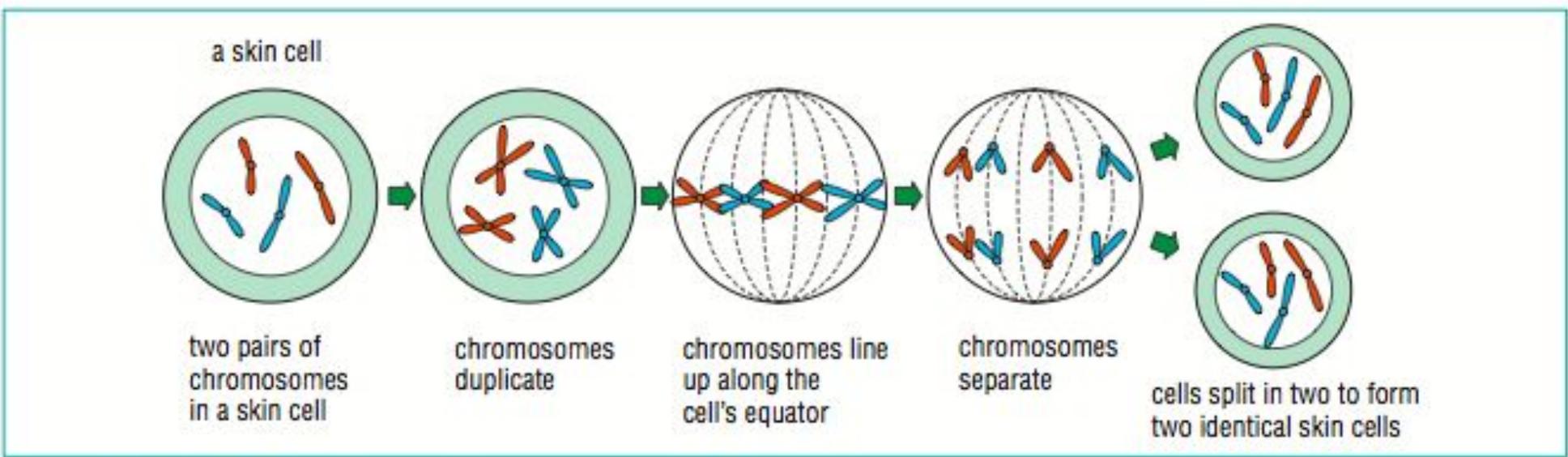
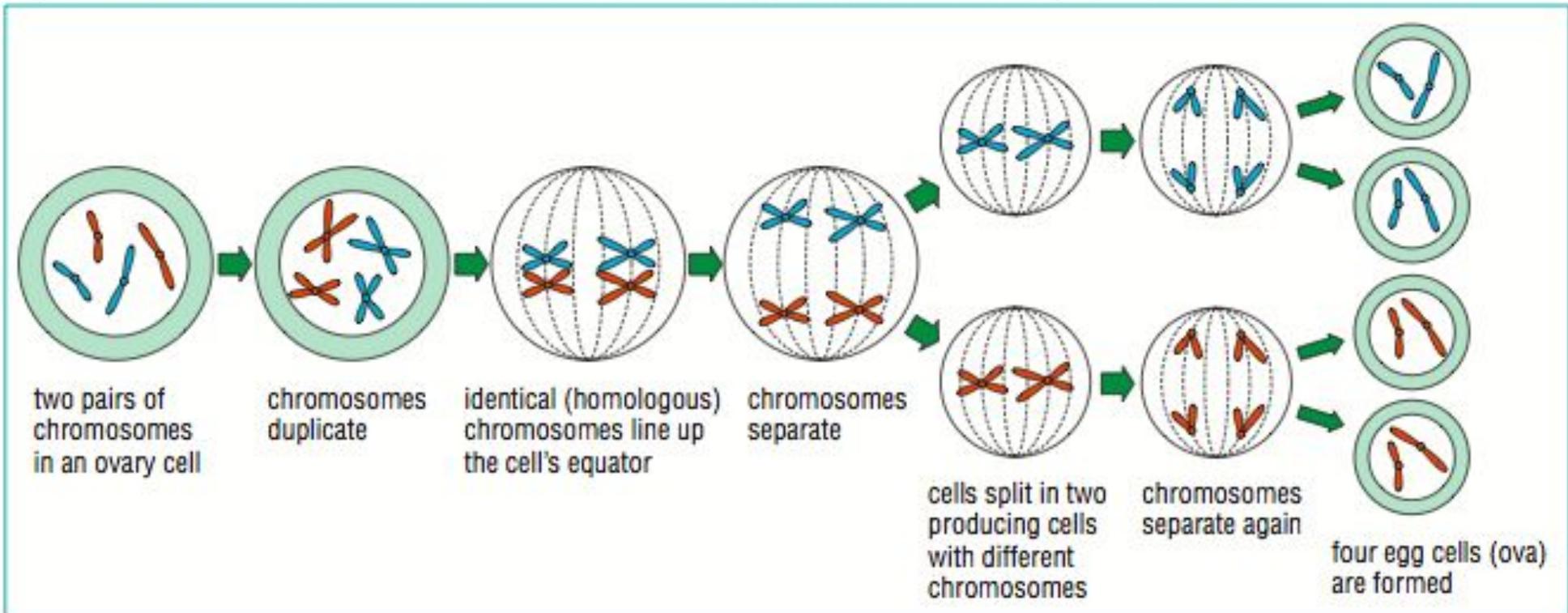


Fig 3.1.6 Mitosis produces cells that are identical to the parent cell. Mitosis occurs in all cells except sperm and egg cells.



Жизнь клетки от момента ее появления в процессе деления материнской до собственного деления или гибели называется **клеточный** или **жизненный цикл**



Рис. 64. Схема клеточного цикла

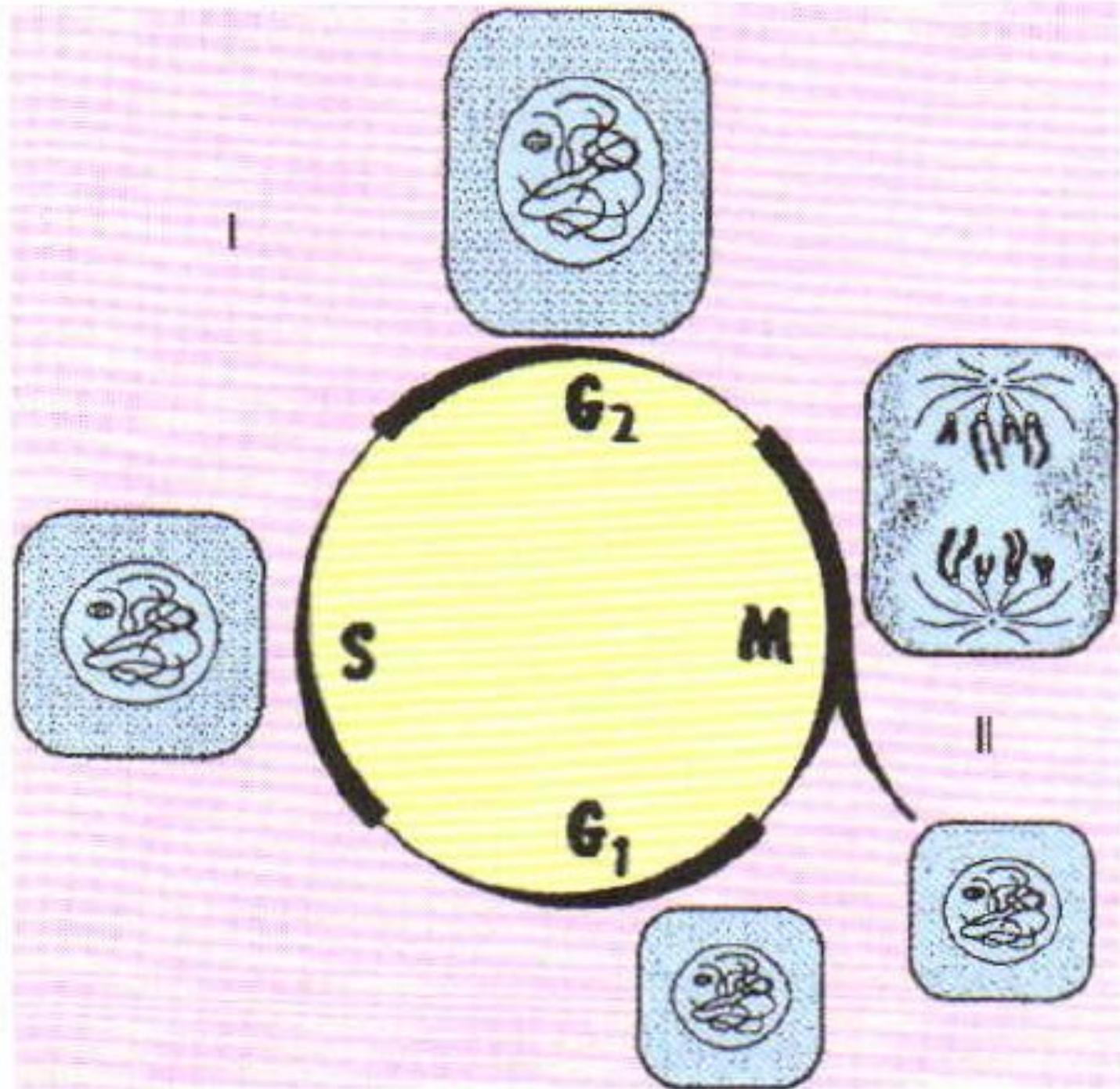
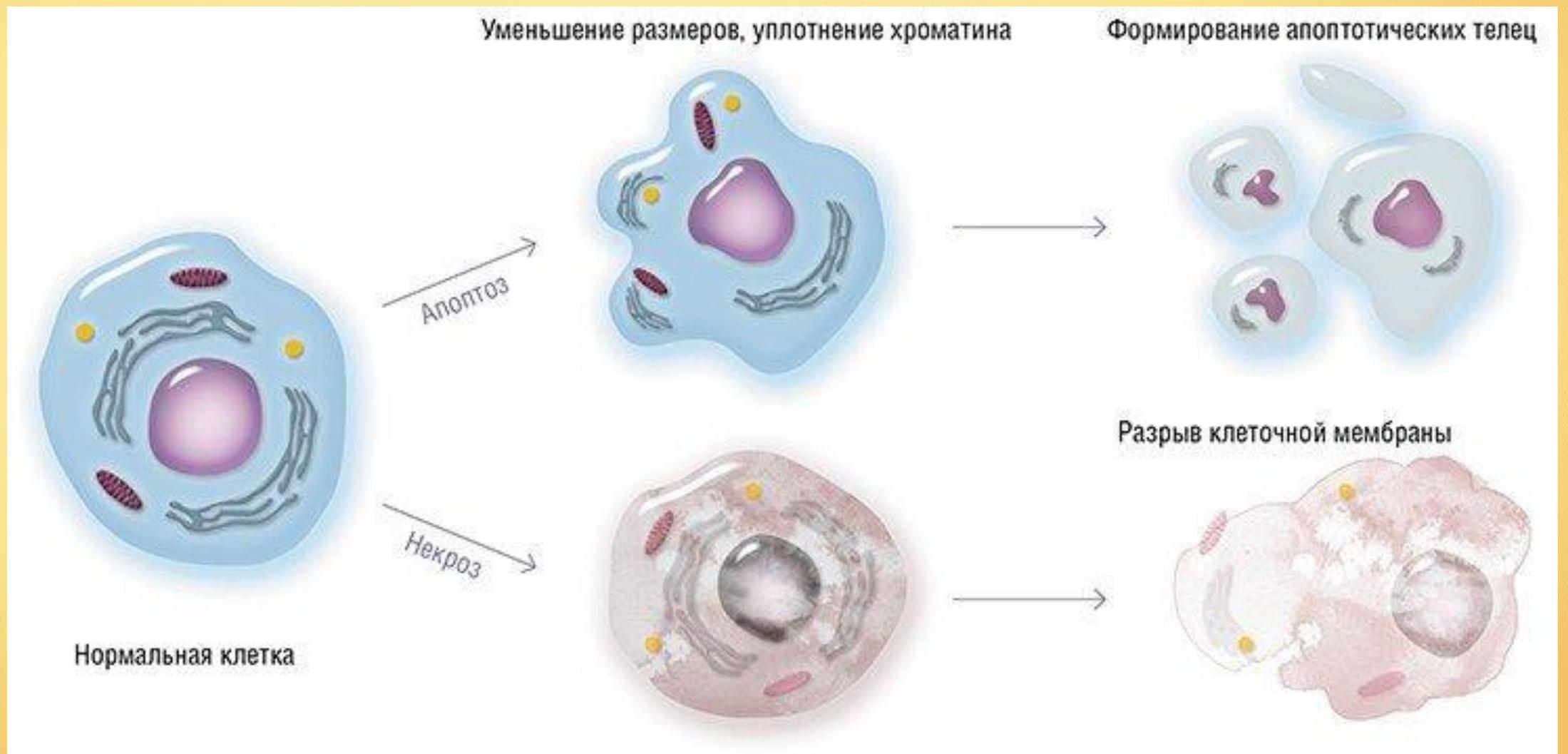
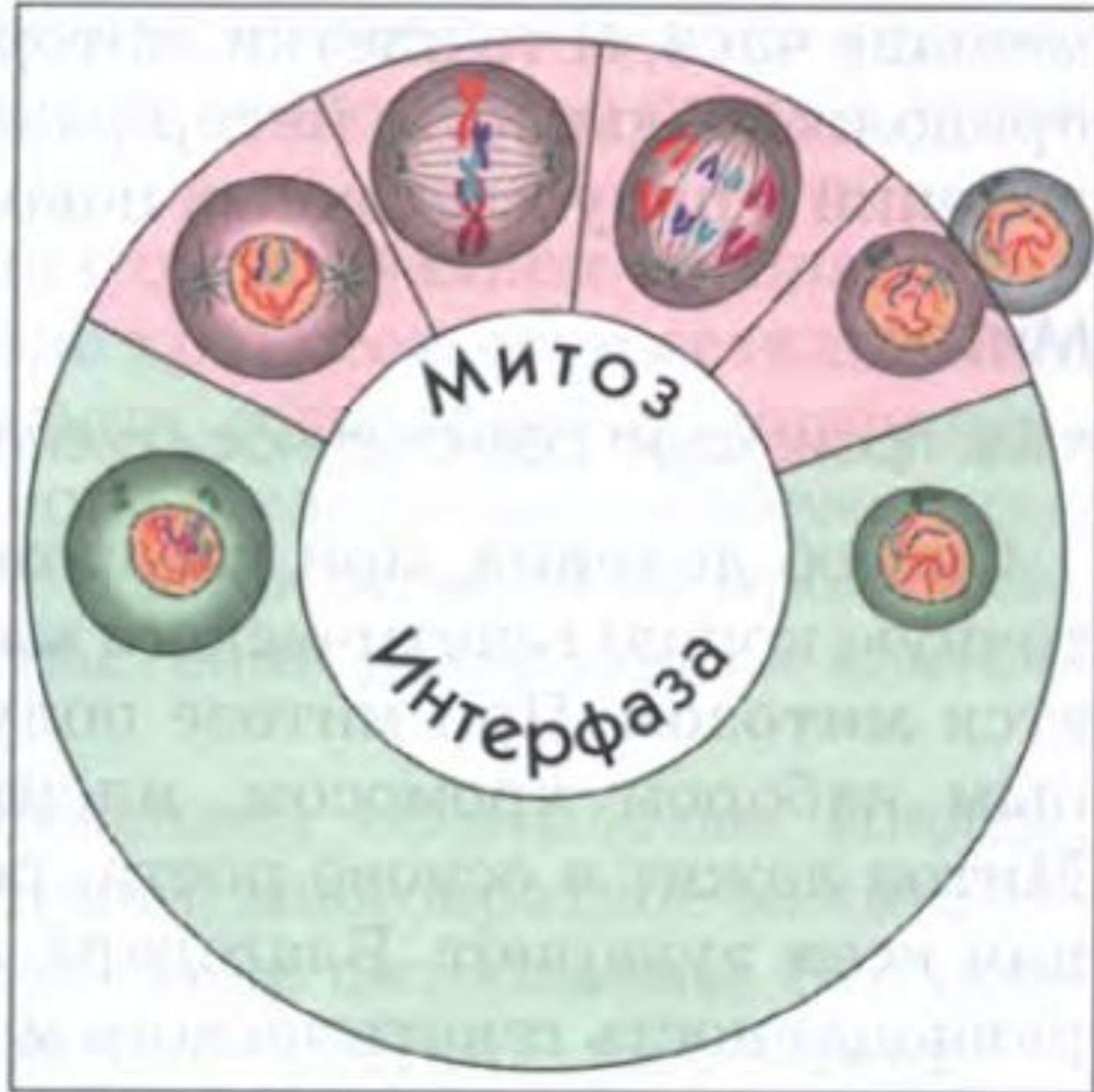


Рис. 91. Клеточный цикл: I — интерфаза:  $G_1$  — пресинтетический период,  $S$  — синтетический период,  $G_2$  — постсинтетический период; II — деление (митоз —  $M$ )

# Гибель клетки называется АПОПТОЗ и НЕКРОЗ



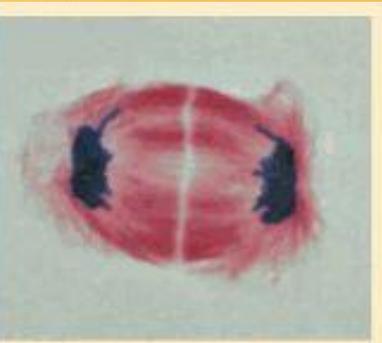
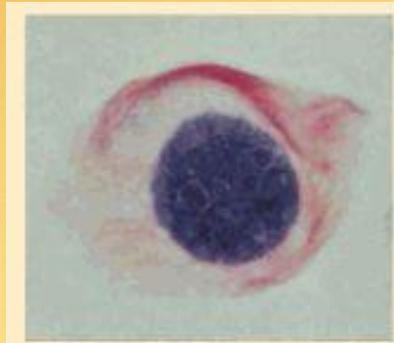




16.1. Клеточный цикл состоит из продолжительной интерфазы и сравнительно короткого периода деления клетки

## Продолжительность периодов клеточного цикла у разных клеток

| Ткань и орган               | Продолжительность, ч |         |
|-----------------------------|----------------------|---------|
|                             | интерфазы            | деления |
| Эпителий тонкой кишки мыши  | 12—18                | 0,5—1   |
| Эпителий толстой кишки мыши | 11                   | 3       |
| Корешок конского боба       | 25                   | 0,5     |



Интерфаза

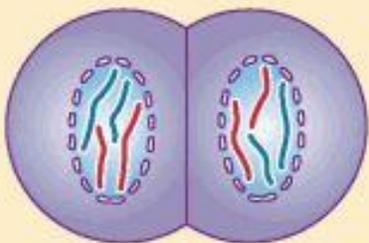
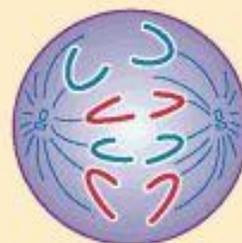
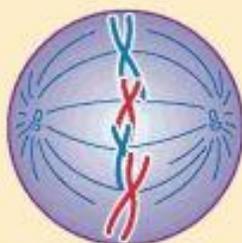
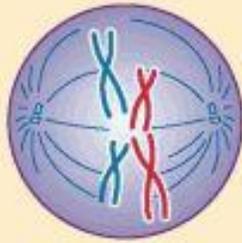
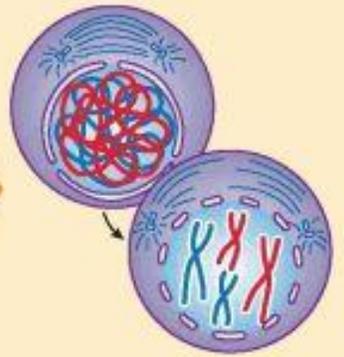
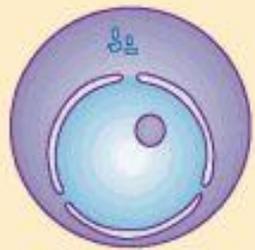
Профаза

Ранняя метафаза

Метафаза

Анафаза

Телофаза



Удвоение ДНК в ядре клетки

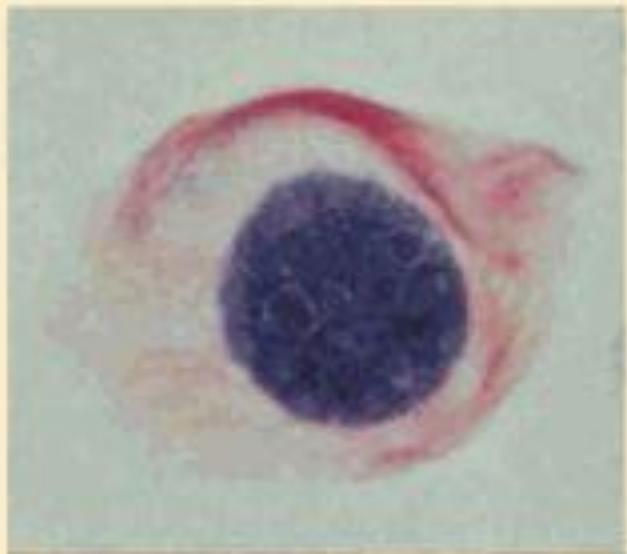
Хромосомы, состоящие из двух хроматид, спирализуются и приобретают компактную форму. Разрушается ядерная оболочка. Начинает формироваться веретено деления

Завершается образование веретена деления. Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки

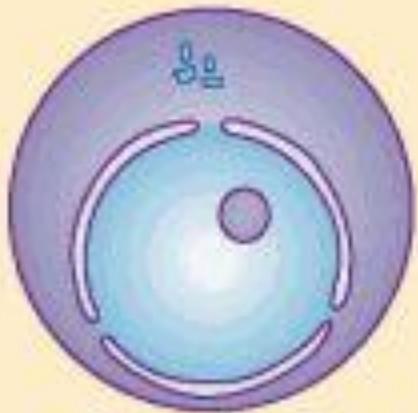
Нити веретена деления прикрепляются к центромерам удвоенных хромосом

Центромеры разделяются, и хроматиды расходятся к полюсам клетки

Исчезает веретено деления, формируются ядерные оболочки, хромосомы начинают раскручиваться. Делится цитоплазма. В итоге образуются две дочерние клетки, идентичные материнской



Интерфаза



Удвоение ДНК в ядре клетки

**Интерфаза** – это период жизни клетки, во время которого она растет и функционирует (во много раз продолжительнее митоза), а также готовится к делению.

### **Интерфаза включает:**

#### **1. Пресинтетический период (G1):**

- подготовка к синтезу ДНК;
- образование РНК, белков, ферментов синтеза ДНК;
- увеличивается число органоидов.

Содержание хромосом ( $n$ ) и ДНК ( $c$ ) равно  $2n2c$ .

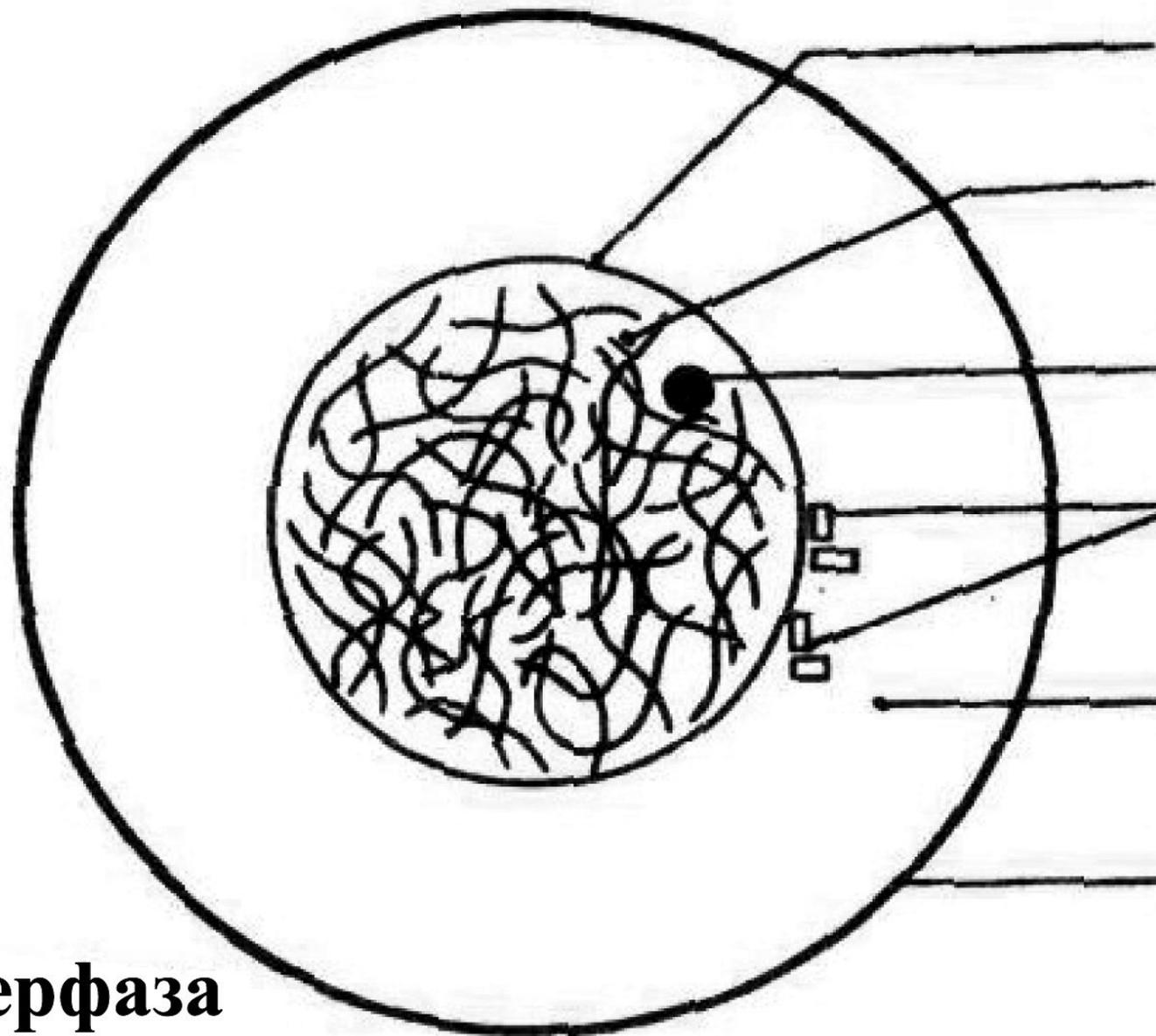
#### **2. Синтетический период (S):**

- репликация ДНК;
- образование двуххроматидных хромосом –  $2n4c$ .

#### **3. Постсинтетический период (G2):**

- удвоение центриолей;
- синтез белков;
- завершается рост.

**Интерфаза**



**Ядерная  
оболочка**

**Нити хроматина**

**Ядрышко**

**Центриоли**

**Цитоплазма**

**Клеточная  
мембрана**

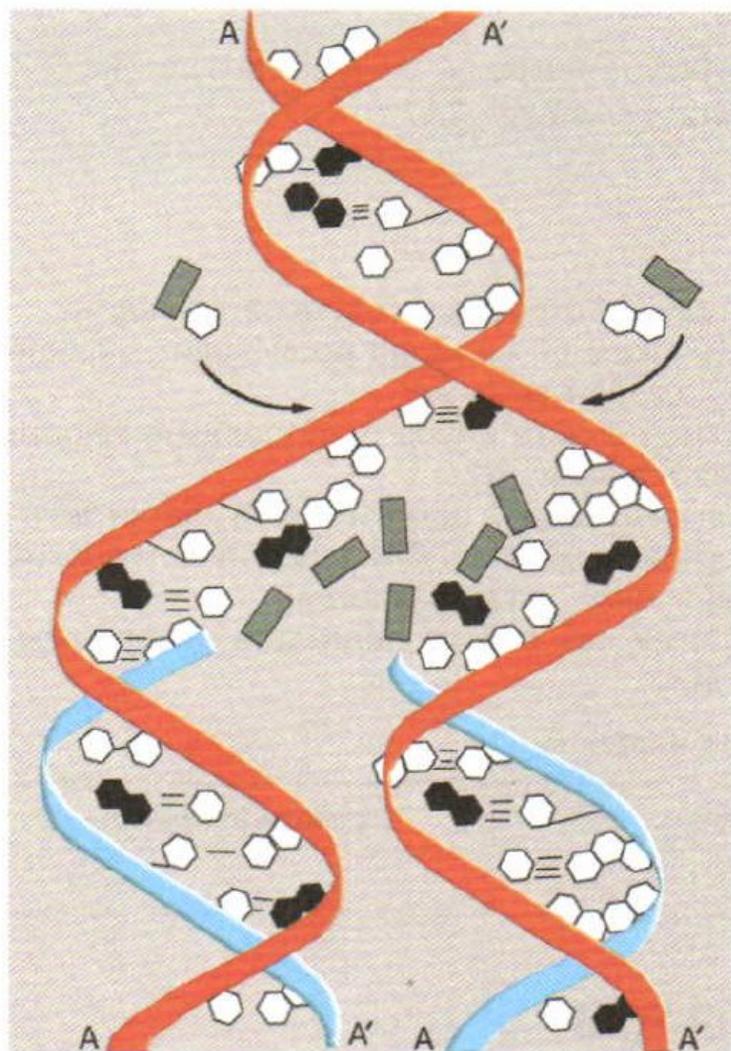
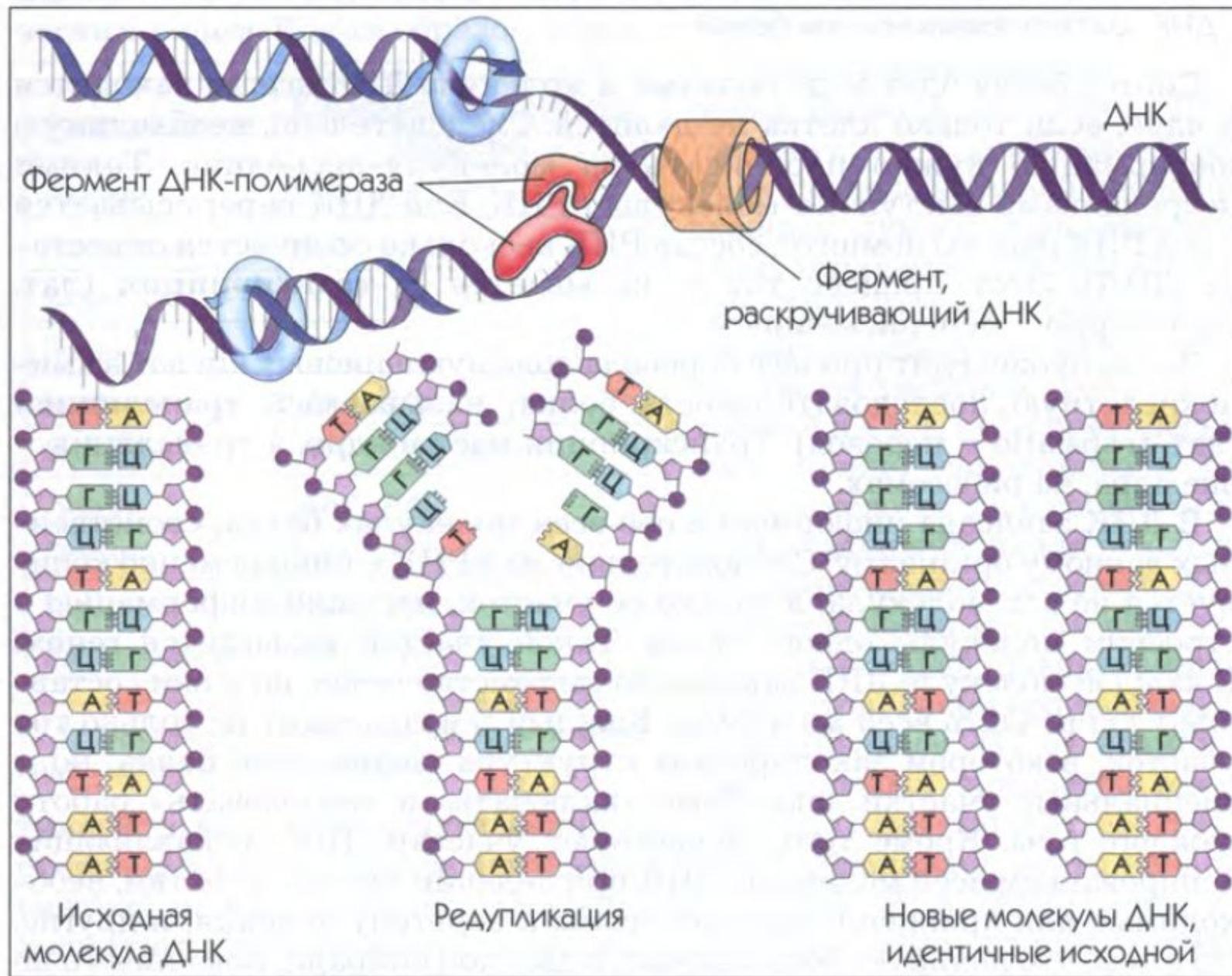


Рис. 92. Полуконсервативный синтез молекулы ДНК. Красным цветом обозначены материнские цепи молекулы ДНК; голубым цветом — новые дочерние цепи молекулы ДНК



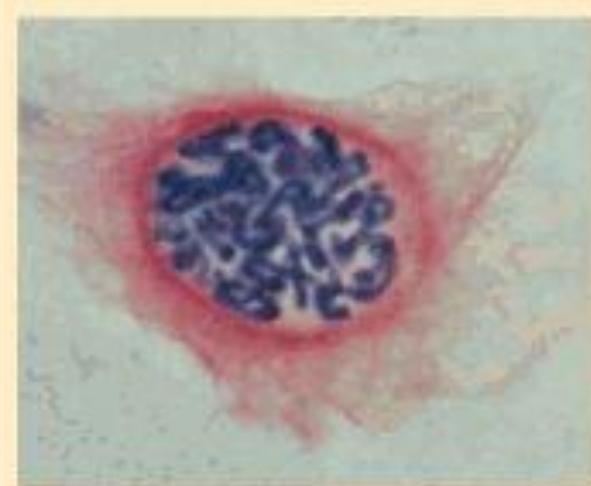
15.4. Репликация ДНК

## ПРОФАЗА

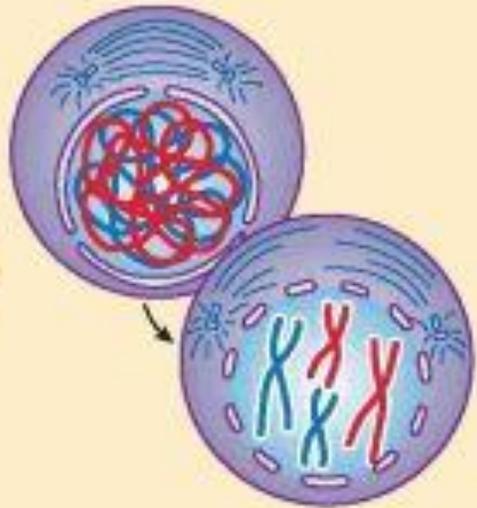
Ядро увеличивается в объеме, спирализуются и утолщаются хромосомы, состоящие из 2-х сестринских хроматид, удерживаемых ОДНОЙ центромерой.

К концу профазы ядерная мембрана и ядрышки исчезают, хромосомы – **по всей клетке**. Центриоли отходят к полюсам, **образуется веретено деления**.

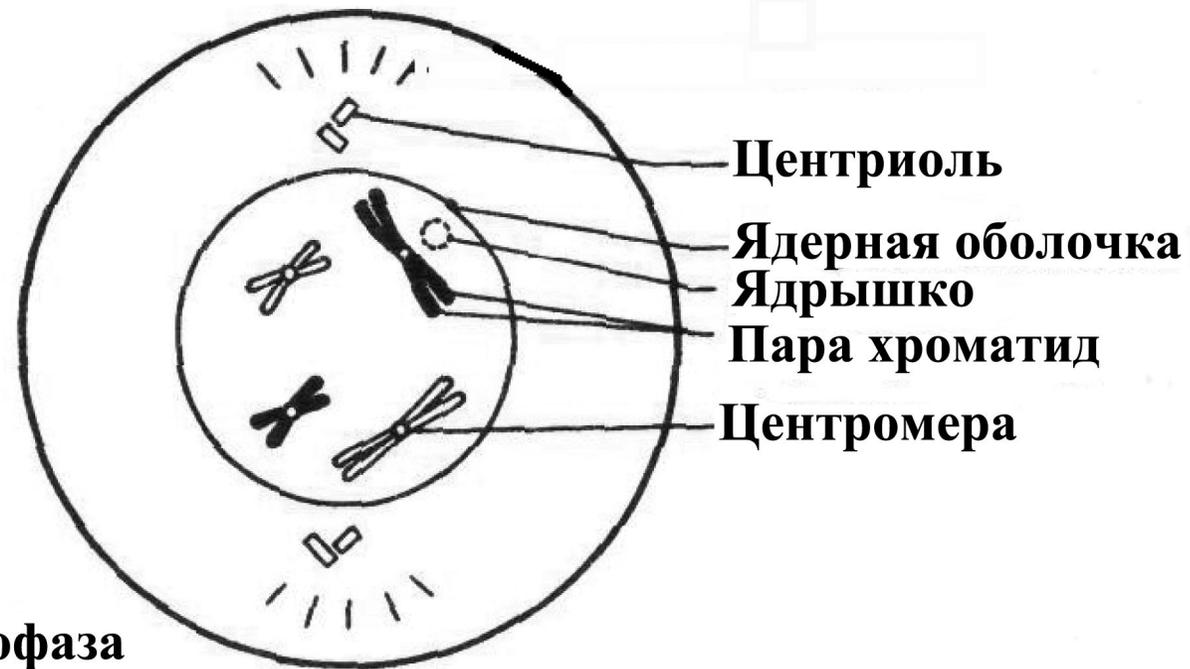
Набор в клетке  $2n4c$ .



Профаза



Хромосомы, состоящие из двух хроматид, спирализуются и приобретают компактную форму. Разрушается ядерная оболочка. Начинает формироваться веретено деления



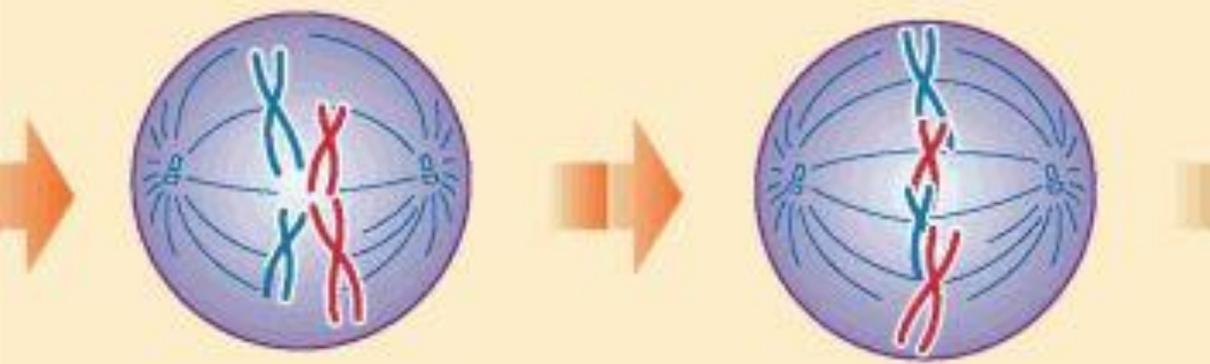
Профаза



Ранняя метафаза



Метафаза



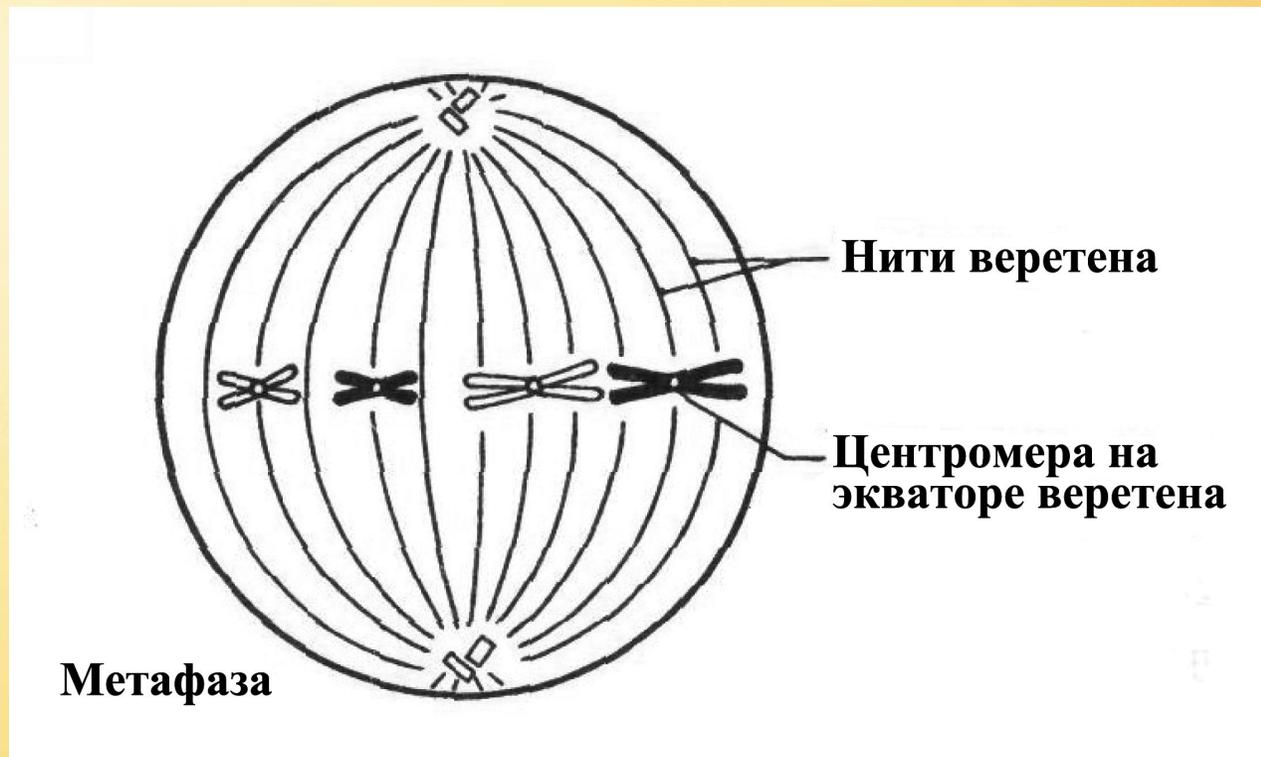
Завершается образование веретена деления. Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки

Нити веретена деления прикрепляются к центромерам удвоенных хромосом

## МЕТАФАЗА

Сестринские хроматиды соединены в области центромеры, к центромерам прикрепляются нити веретена деления. Хромосомы выстраиваются по экватору клетки.

Набор в клетке  $2n4c$ .



Метафаза

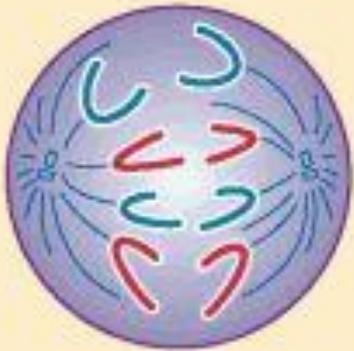
## **АНАФАЗА**

Центромеры делятся (удваиваются), сестринские хроматиды расходятся к полюсам и становятся самостоятельными однохроматидными хромосомами.

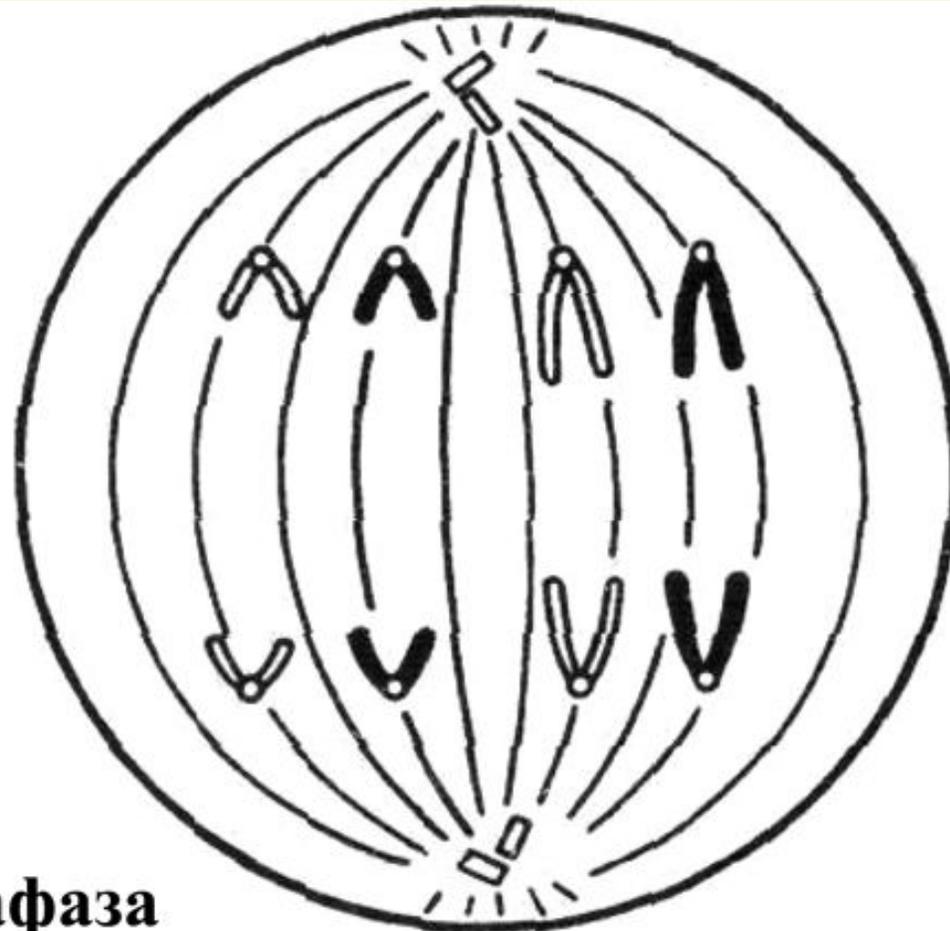
**Набор к клетке  $4n4c$ .**



Анафаза

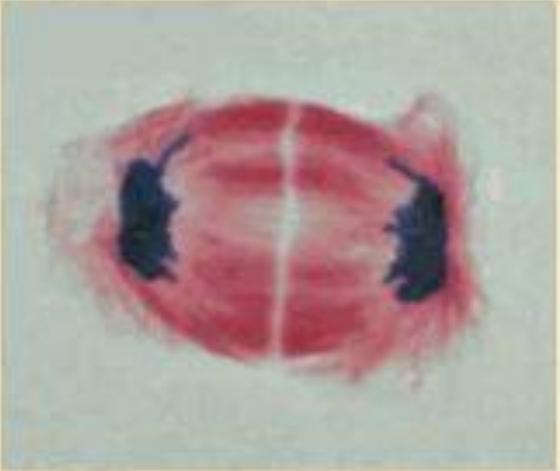


Центромеры разделяются,  
и хроматиды расходятся  
к полюсам клетки



**Анафаза**

**дочерние  
хромосомы  
растаскиваются  
в стороны своими  
центромерами**

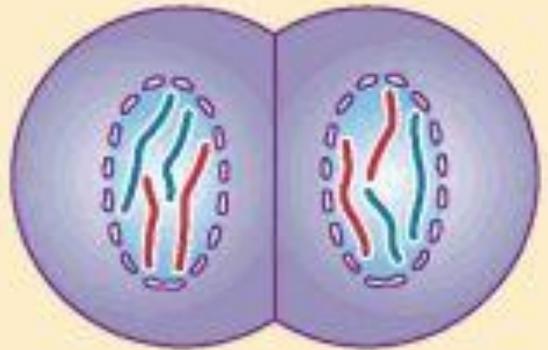


Телофаза

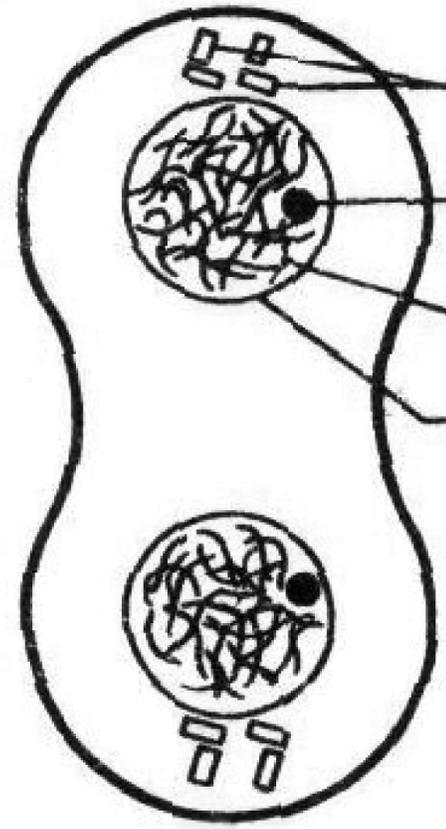
# ТЕЛОФАЗА

Хромосомы деспирализуются (раскручиваются), образуются ядрышки и ядерные мембраны, растворяются нити веретена деления, образуются 2 ядра, в каждом из которых  $2n2c$

Набор к клетке  $2n2c$ .



Исчезает веретено деления, формируются ядерные оболочки, хромосомы начинают раскручиваться. Делится цитоплазма. В итоге образуются две дочерние клетки, идентичные материнской



- Пара центриолей
- Ядрышко
- Нити хроматина
- Ядерная оболочка

Телофаза

# ЦИТОКИНЕЗ

Цитокинез обычно происходит после того, как клетка претерпела деление ядра (кариокинез) в ходе митоза или мейоза. В большинстве случаев цитоплазма и органоиды клетки распределяются между дочерними клетками приблизительно поровну.



19. Деление цитоплазмы в животной и растительной клетках.

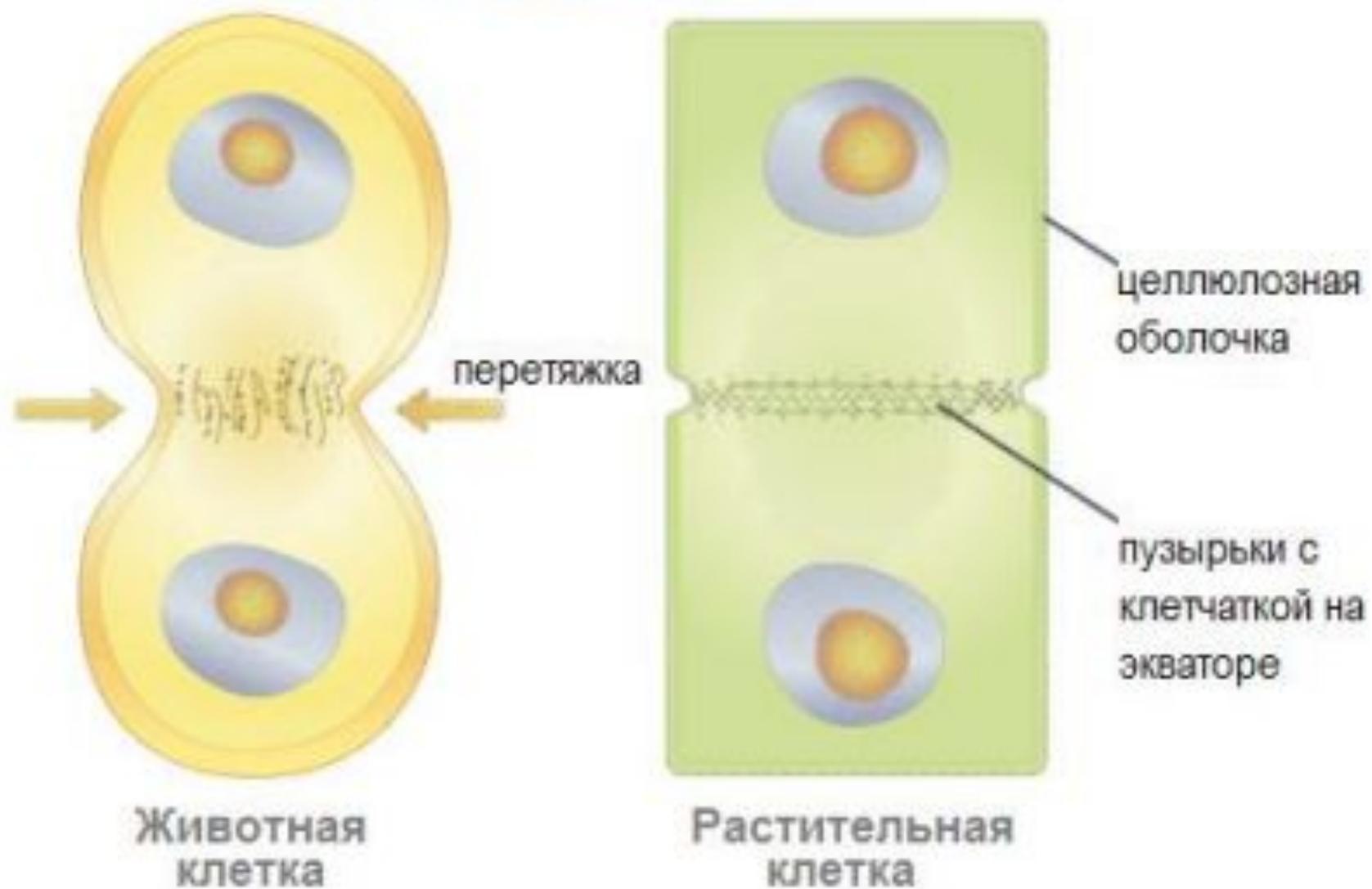
## **ЦИТОКИНЕЗ**

В цитокинезе происходит разделение цитоплазмы материнской клетки и формирование плазматических мембран дочерних клеток (рис.19). Нарушения цитотомии приводят к появлению гигантских ядер или многоядерных клеток.

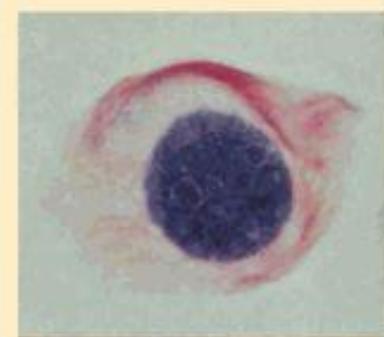
**У животных цитокинез** происходит снаружи вовнутрь путем образования перетяжки в результате впячивания плазматической мембраны внутрь клетки. При этом в подмембранном слое цитоплазмы располагаются сократимые элементы типа актиновых фибрилл, сокращение которых приведет к впячиванию плазматической мембраны, что завершается разделением клетки перетяжкой на две дочерние.

**У растений цитокинез** происходит иначе: в экваториальной плоскости скапливаются секреторные гранулы, отшнуровавшиеся от комплекса Гольджи и содержащие клетчатку (целлюлозу), необходимую для построения клеточной стенки (целлюлозной оболочки). Пузырьки с клетчаткой сливаются с образованием двух параллельных мембран. Разделение цитоплазмы происходит изнутри наружу.

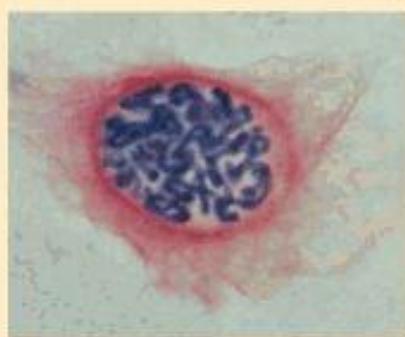
# ЦИТОКИНЕЗ



19. Деление цитоплазмы в животной и растительной клетках.



Интерфаза



Профаза



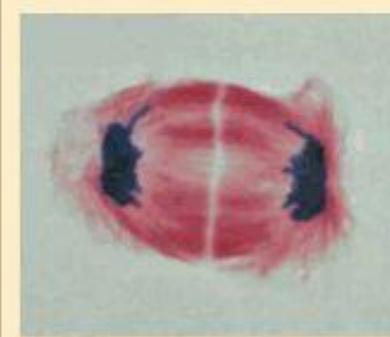
Ранняя метафаза



Метафаза



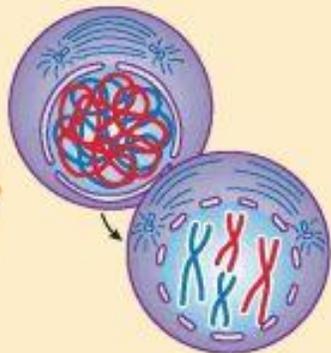
Анафаза



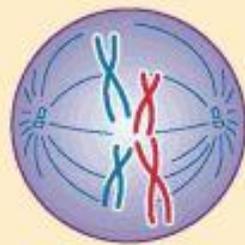
Телофаза



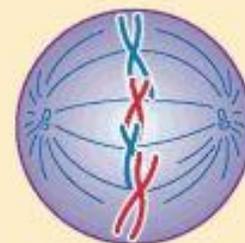
Удвоение ДНК в ядре клетки



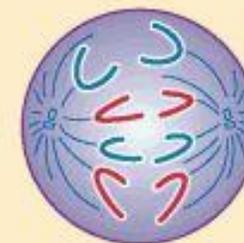
Хромосомы, состоящие из двух хроматид, спирализуются и приобретают компактную форму. Разрушается ядерная оболочка. Начинает формироваться веретено деления



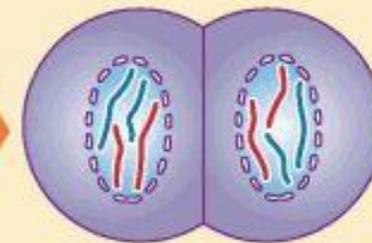
Завершается образование веретена деления. Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки



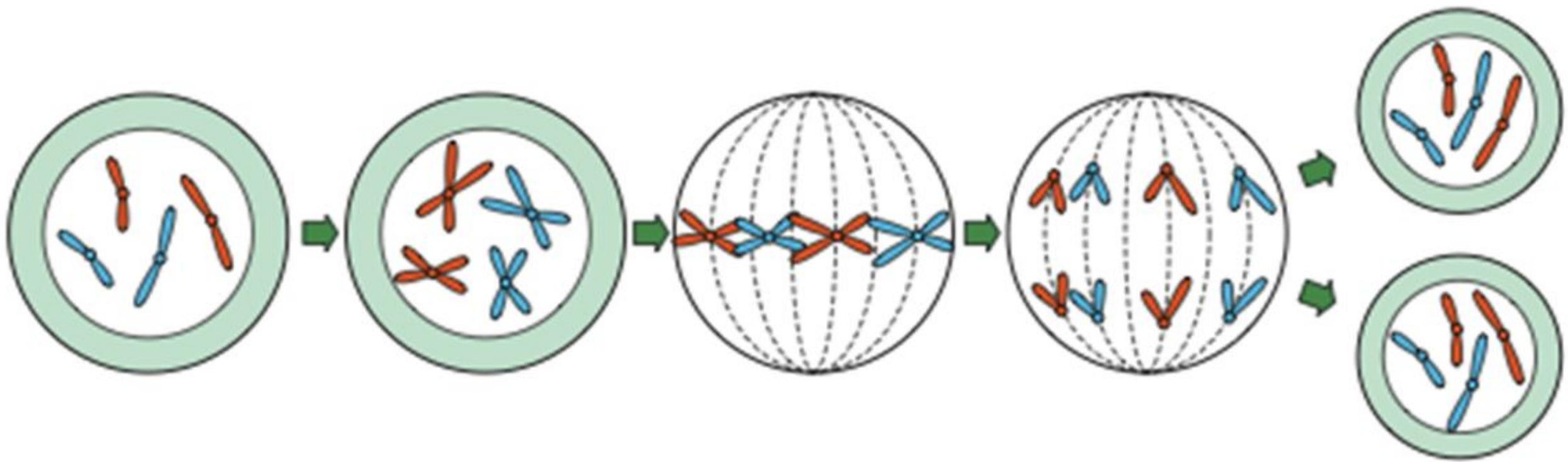
Нити веретена деления прикрепляются к центромерам удвоенных хромосом



Центромеры разделяются, и хроматиды расходятся к полюсам клетки



Исчезает веретено деления, формируются ядерные оболочки, хромосомы начинают раскручиваться. Делится цитоплазма. В итоге образуются две дочерние клетки, идентичные материнской



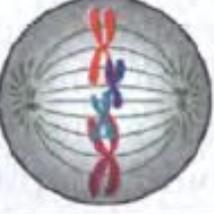
# Наборы хромосом и количество ДНК в клетке (митоз)

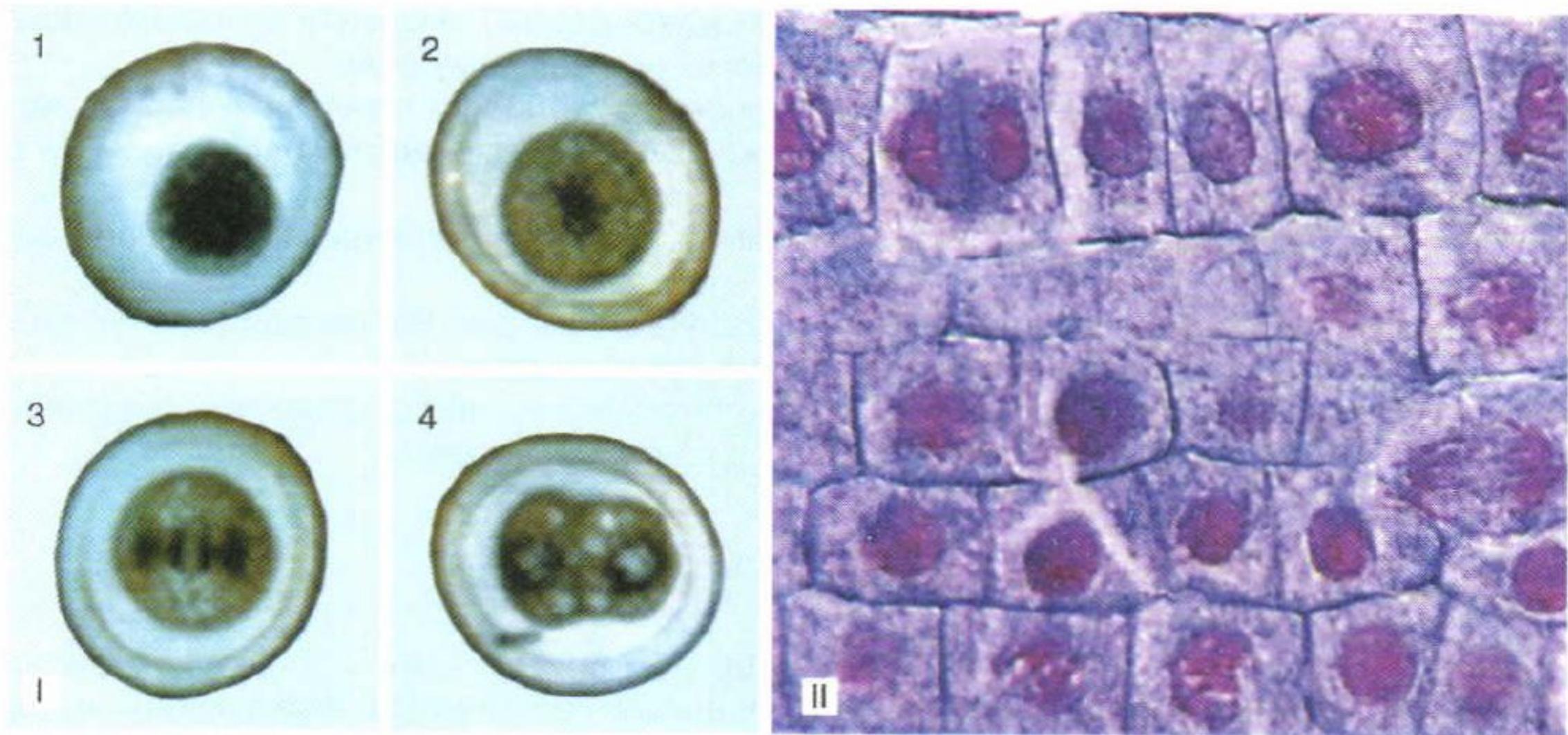
|                                  | Начало<br>интер-<br>фазы | Конец<br>интер-<br>фазы | Профаза | Метафаза | Анафаза | Телофаза |
|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------|----------|---------|----------|
| Количество<br>хромосом<br>(n)    | 2n                       | 2n                      | 2n      | 2n       | 4n      | 2n       |
| Количество<br>молекул<br>ДНК (c) | 2c                       | 4c                      | 4c      | 4c       | 4c      | 2c       |

**Внимание!!!** В АНАФАЗЕ ХРОМОСОМЫ РАСПОЛАГАЮТСЯ НА ПОЛЮСАХ КЛЕТКИ, НО ПЕРЕГОРОДКА (ПЕРЕТЯЖКА) МЕЖДУ ДОЧЕРНИМИ КЛЕТКАМИ ЕЩЕ НЕ СФОРМИРОВАНА, ПОЭТОМУ ВСЕ ХРОМОСОМЫ ФАКТИЧЕСКИ НАХОДЯТСЯ В ОДНОЙ КЛЕТКЕ

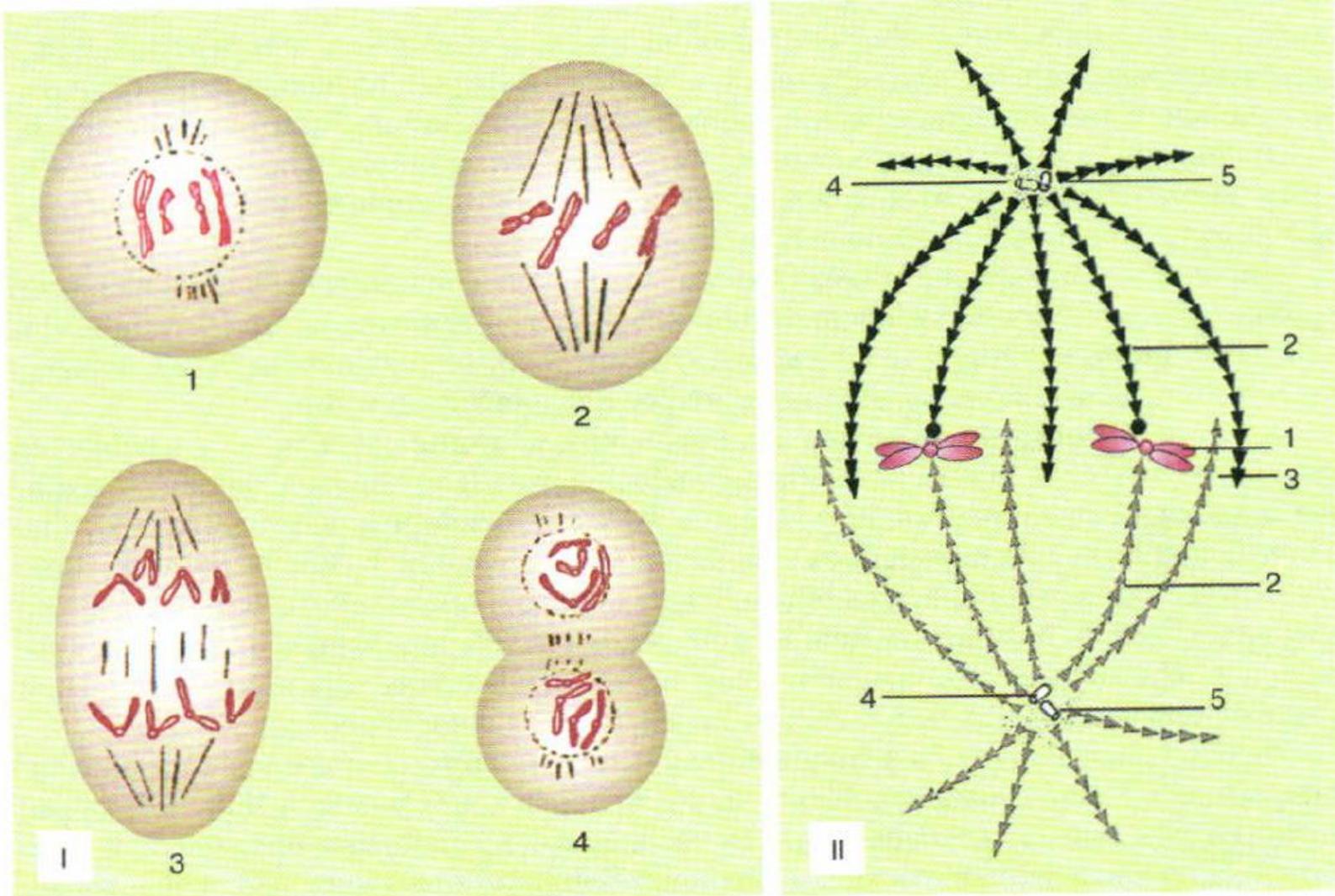
# МИТОЗ

| Фаза     | Количество хромосом, $n$ | Количество ДНК, $c$ |
|----------|--------------------------|---------------------|
| $G_1$    | $2n$                     | $2c$                |
| S        | $2n$                     | $4c$                |
| $G_2$    | $2n$                     | $4c$                |
| Профаза  | $2n$                     | $4c$                |
| Метафаза | $2n$                     | $4c$                |
| Анафаза  | $4n$                     | $4c$                |
| Телофаза | $2n$                     | $2c$                |

| Фаза   | Процесс   |
|--|---|
| <p data-bbox="512 97 675 135"><b>Профаза</b></p>        | <p data-bbox="823 97 2000 496">Удвоенные хромосомы плотно укладываются (конденсируются) и приобретают вид плотных нитчатых структур. Центриоли удваиваются и расходятся к разным полюсам клетки. Ядерная мембрана разрушается. Эндоплазматическая сеть и аппарат Гольджи распадаются на мелкие вакуоли, разбросанные в цитоплазме. Микротрубочки выстраиваются от одной центриоли к другой, образуя веретено деления. Хромосомы без особого порядка лежат в зоне бывшего ядра. К центромере каждой хромосомы с двух сторон прикрепляются нити веретена от каждой центриоли.</p> |
| <p data-bbox="512 515 685 554"><b>Метафаза</b></p>      | <p data-bbox="823 568 2000 739">Хромосомы располагаются на равном расстоянии от обеих центромер, в экваториальной плоскости клетки. Центромеры, скреплявшие хромосомы, делятся, после чего хроматиды полностью разъединяются.</p>   |
| <p data-bbox="512 801 665 839"><b>Анафаза</b></p>      | <p data-bbox="823 801 2000 1058">Нити веретена растягивают хроматиды к противоположным полюсам клетки: от каждой хромосомы одна хроматида движется к одному полюсу, другая – к другому. Теперь это уже не хроматиды, а сестринские хромосомы, которые попадут в разные клетки. Так происходит равномерное распределение наследственной информации материнской клетки между дочерними.</p>   |
| <p data-bbox="512 1086 677 1125"><b>Телофаза</b></p>  | <p data-bbox="823 1086 2000 1343">Хромосомы начинают распаковываться (деконденсироваться), утоньшаются, удлиняются и пропадают из виду. Появляется ядерная мембрана, формируются ядрышки, разбирается веретено деления. Цитоплазма разделяется перегородкой или поперечной перетяжкой на две дочерние клетки, в которые примерно в равном количестве попадают органеллы.</p>  |



**Рис. 99.** Митоз в клетках различных организмов. Микрофотографии митоза:  
 I — в яйце аскариды: 1 — профаза, 2 — метафаза, 3 — анафаза, 4 — телофаза;  
 II — в клетках корешка лука



**Рис. 100.** Стадии митоза (I): 1 — профаза; 2 — метафаза; 3 — анафаза; 4 — телофаза. Схема митотического веретена деления в метафазе (II): 1 — хромосома; 2 — микротрубочки веретена деления; 3 — зона перекрывания микротрубочек; 4 — центриоли; 5 — полюс веретена деления. Микротрубочки связаны с центромерой хромосом, обеспечивают движение хромосом к экватору и их выстраивание на равном расстоянии от полюсов клетки. В местах перекрывания микротрубочки антипараллельны

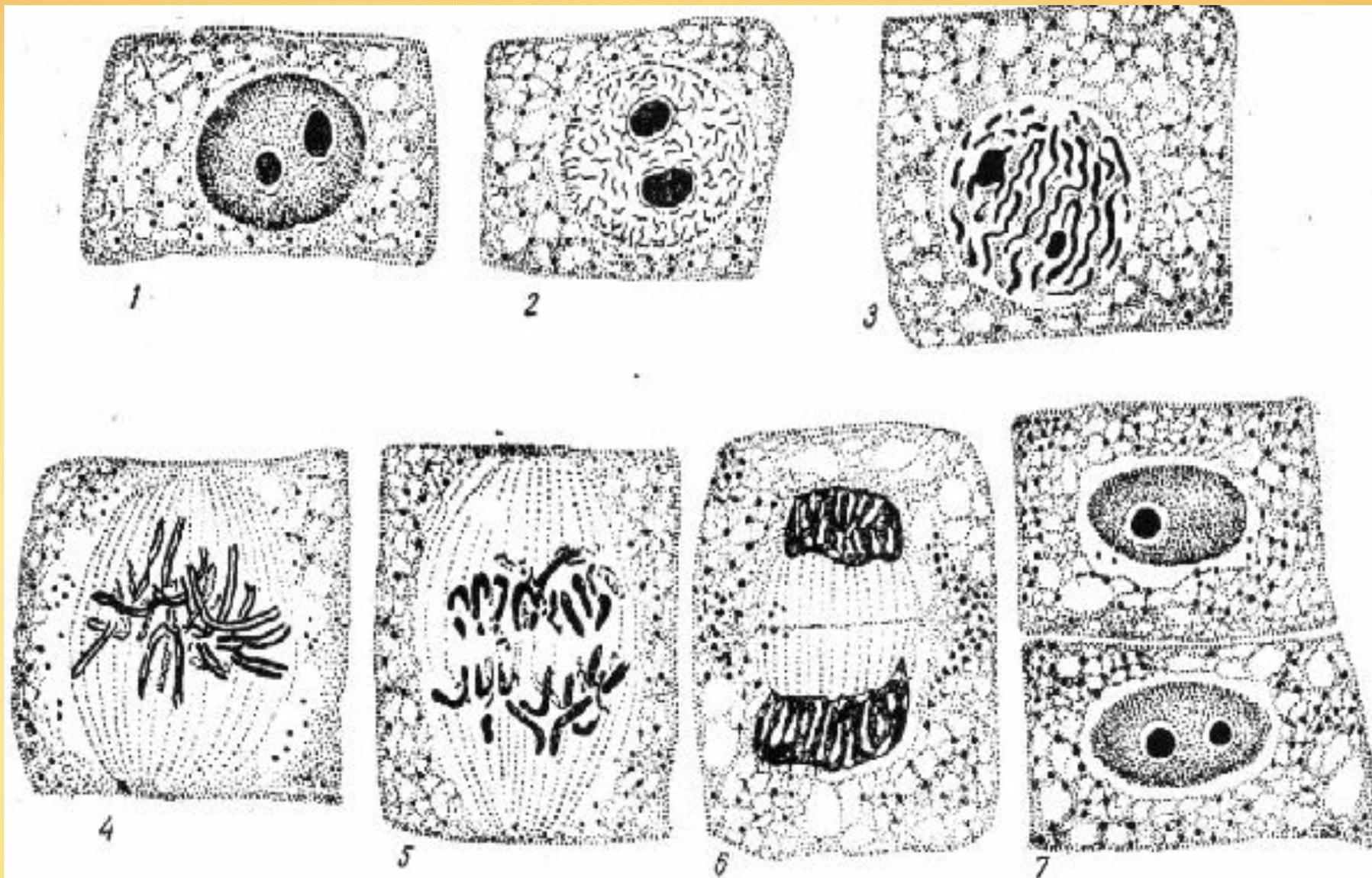
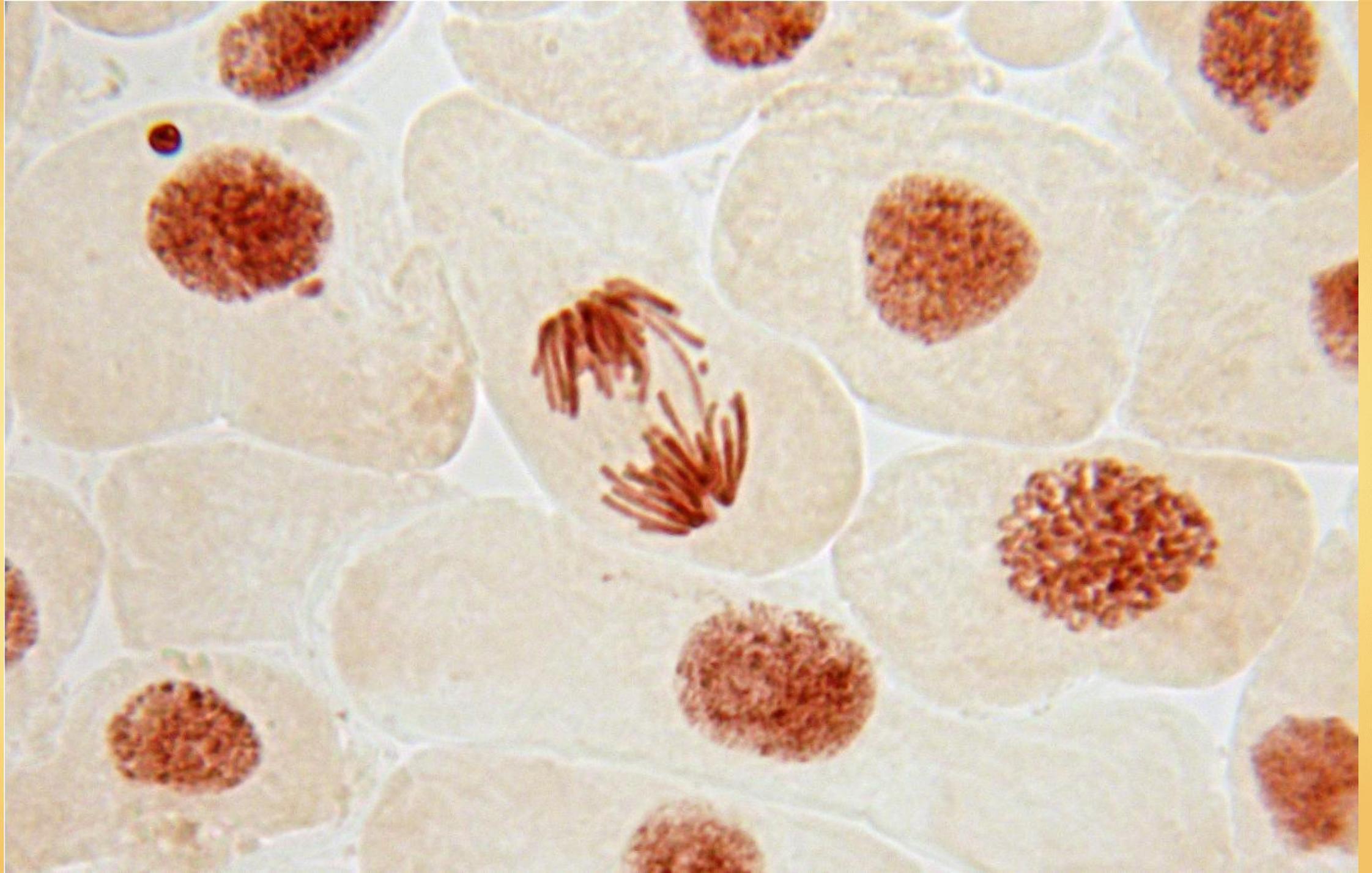
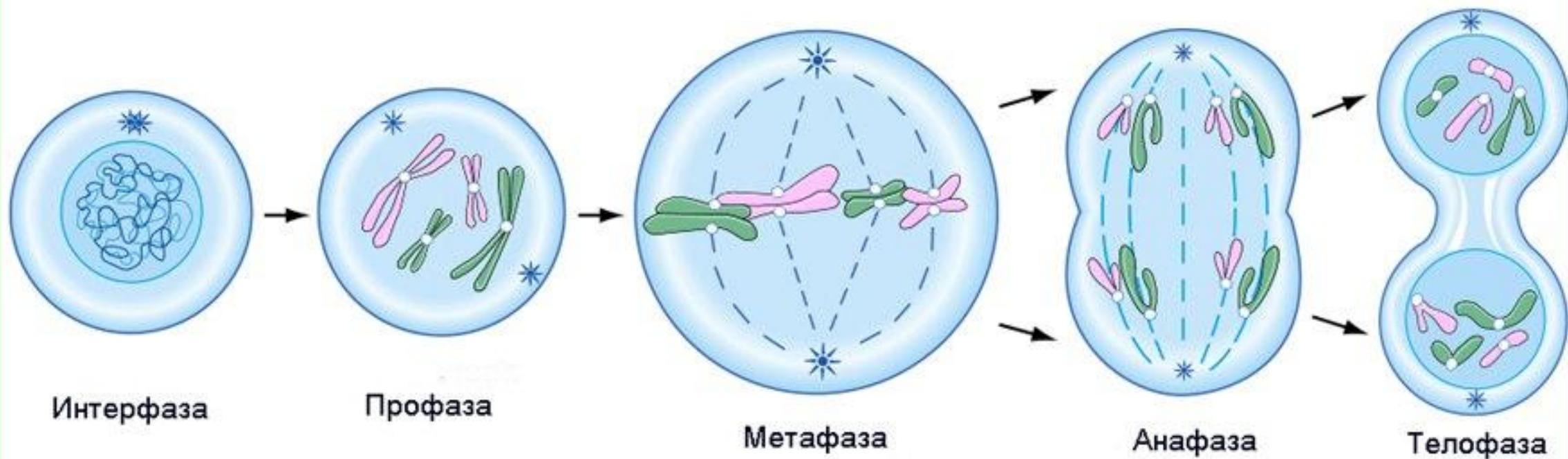


Рисунок 5 – Митоз в клетках корешка лука (по Абрамовой З.В., Карлинскому О.А., 1968): 1 – интерфаза; 2,3 – профаза; 4 – метафаза; 5 – анафаза; 6 – телофаза; 7 – цитокinesis.





**Митоз – это непрямое деление соматической эукариотической клетки, включает в себя четыре фазы.**

# Профаза митоза.

Количество генетического материала:

**$2n$   $2chr$   $4c$ .**

Процессы:

- **Спирализация хромосом;**
- **Исчезновение ядрышка;**
- **Центриоли расходятся к полюсам клетки, образуется веретено деления;**
- **Разрушение ядерной оболочки.**



**Метафаза** МИТОЗА.

Количество генетического материала:  **$2n$   $2chr$   $4c$** .

Процессы:

**Упорядоченное  
расположение хромосом,  
состоящих из двух  
хроматид на экваторе  
клетки.**



# **Анафаза** МИТОЗОА.

Количество генетического материала:  **$2n$  1chr 2с** (у каждого полюса клетки).

Процессы:

**Расхождение дочерних хроматид к противоположным полюсам клетки.**



## Телофаза митоза.

Количество генетического материала:

**$2n$  1chr 2c** (в каждом образовавшемся ядрышке; в каждой дочерней клетке).

Процессы:

1. Исчезновение веретена деления, деспирализация хромосом, образование ядерных мембран;
2. Деление цитоплазмы, образование новых клеточных мембран, формирование двух дочерних клеток.



**Биологическое значение митоза** – размножение соматических клеток, получение клеток-копий (с тем же самым набором хромосом, с точно такой же наследственной информацией). Все соматические клетки организма получаются из одной исходной клетки (зиготы) путем митоза.