

ЦИТОЛОГИЯ И ГИСТОЛОГИЯ

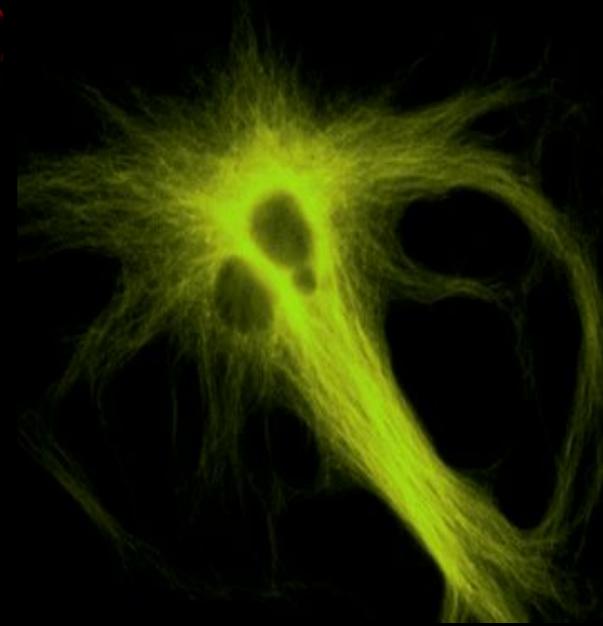
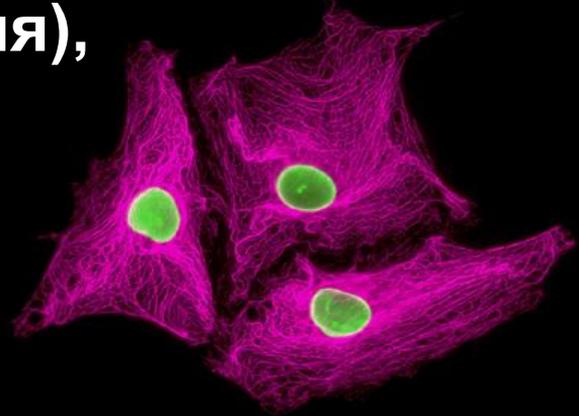
учебная дисциплина по специальностям
1-31 01 01-03 Биология (биотехнология),
1-31 01 02 Биохимия,
1-31 01 03 Микробиология.

Лекция № 9.

Ядро клетки.

Лектор.

Гринев Василий Викторович,
канд. биол. наук,
доцент кафедры генетики
биологического факультета БГУ.



ЯДРО КЛЕТКИ

Открытие ядра в эукариотических клетках



Роберт Броун (1773-1858)

(британский ботаник конца XVIII – первой половины XIX века, морфолог и систематик растений, первооткрыватель «броуновского движения»)



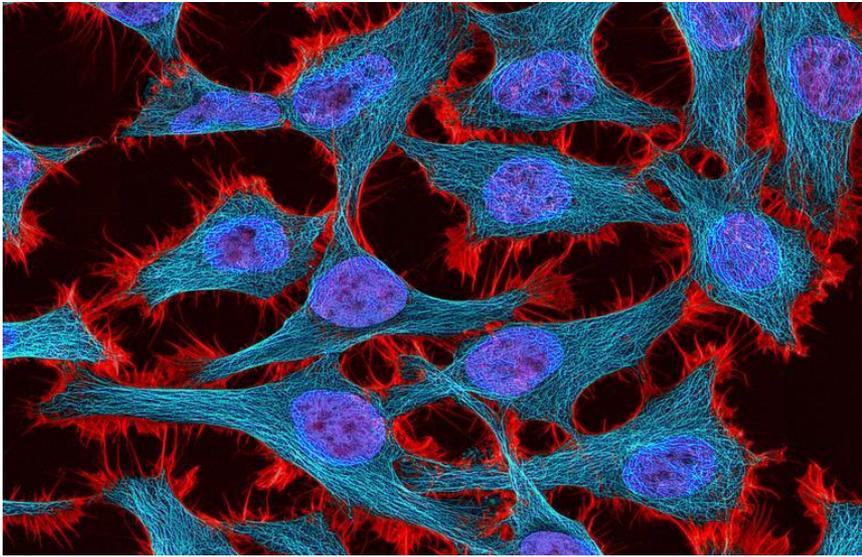
Старейшее известное изображение клеток и их ядер, выполненное в 1719 году

Антони ван Левенгуком

(впервые наличие ядра у эукариотических клеток в 1719 году наблюдал Антони ван Левенгук в эритроцитах лосося. Другой ученый Франц Бауэр в 1802 году зарисовал ядро как постоянный элемент растительных клеток. Более детальное описание ядра (в клетках наружного слоя цветка орхидеи) было выполнено в 1831 году шотландским ботаником Робертом Броуном и представлено на собрании Лондонского Линнеевского общества)

ЯДРО КЛЕТКИ

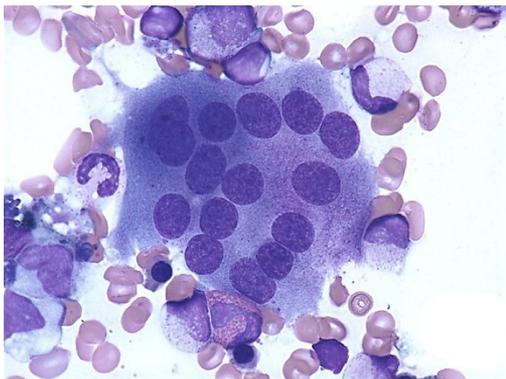
Количество ядер в эукариотических клетках



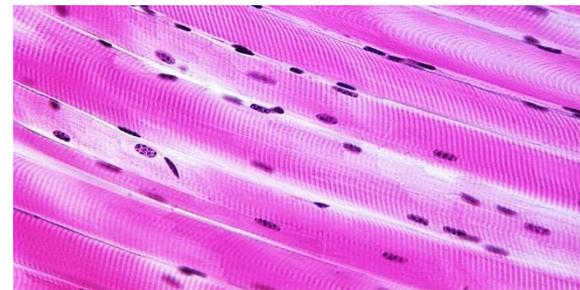
Большинство клеток одноядерны



Плазмодий миксомицет
всегда многоядерный



Многоядерный остеокласт

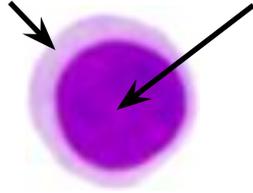


Многоядерные мионы

ЯДРО КЛЕТКИ

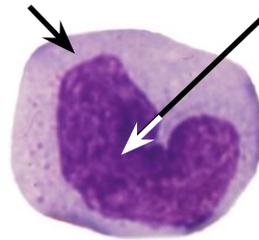
Разнообразие форм ядра эукариотических клеток

цитоплазма ядро



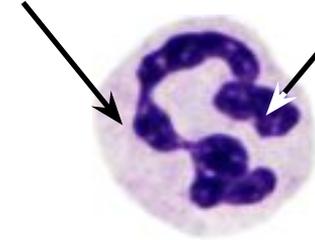
**Круглое
ядро лимфоцита,
световая микроскопия**

цитоплазма ядро

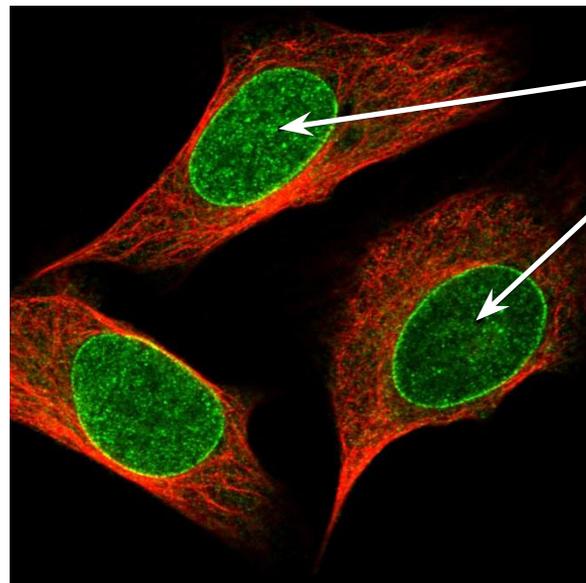


**Бобовидное
ядро моноцита,
световая микроскопия**

цитоплазма ядро



**Сегментированное
ядро нейтрофила,
световая микроскопия**



ядра

**Овальные ядра клеток
линии U-2 OS,
флуоресцентная
микроскопия**

ЯДРО КЛЕТКИ

Компоненты интерфазного ядра эукариотических клеток

Клеточное ядро состоит из:

- 1) ядерная оболочка (нуклеолема, кариолема)
- 2) ядерный матрикс (внутриядерный белковый матрикс)
- 3) ядерный сок (нуклеоплазма, кариоплазма, кариолимфа)
- 4) хроматин
- 5) ядрышко (одно или несколько)

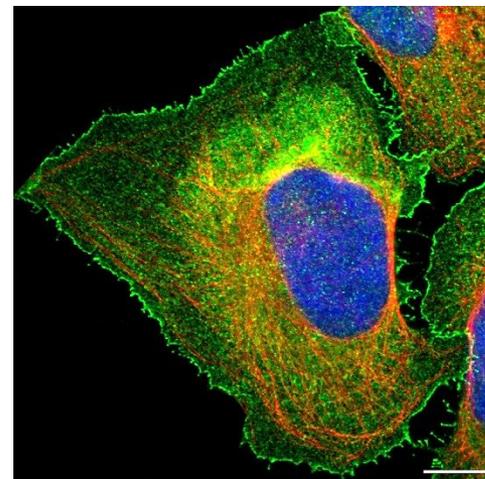
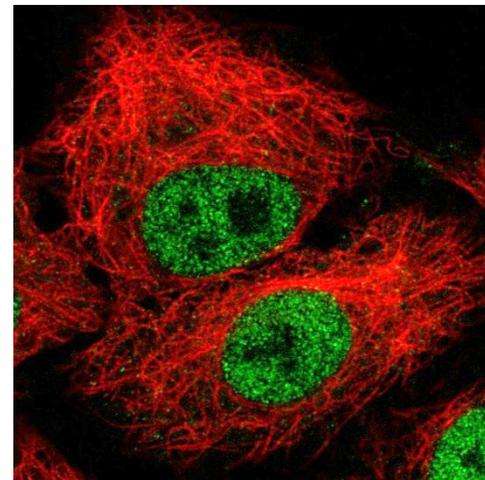
В ядрах клеток печени материал

ядерной оболочки и ядерного матрикса составляет 3-5 %,

ядерного сока – 20 %,

хроматина – около 70 %

и ядрышек – около 7 % и

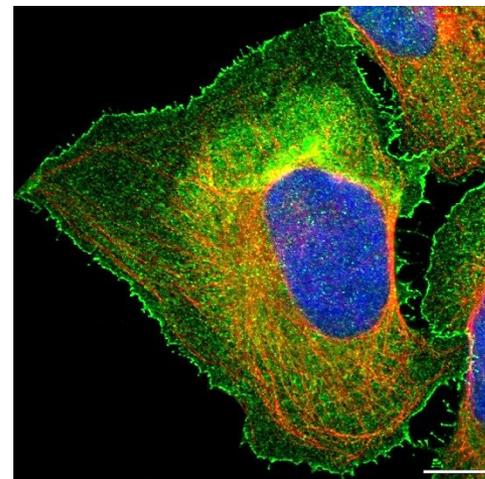
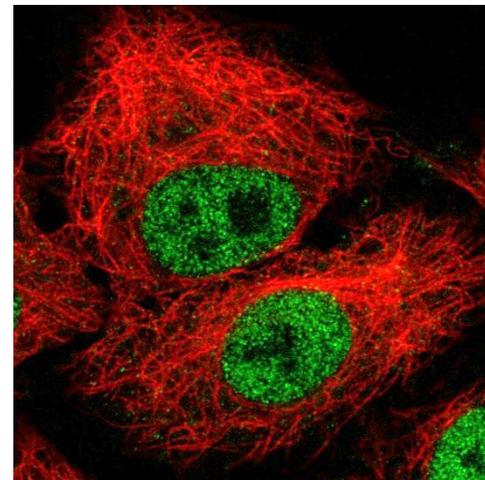


ЯДРО КЛЕТКИ

Компоненты интерфазного ядра эукариотических клеток

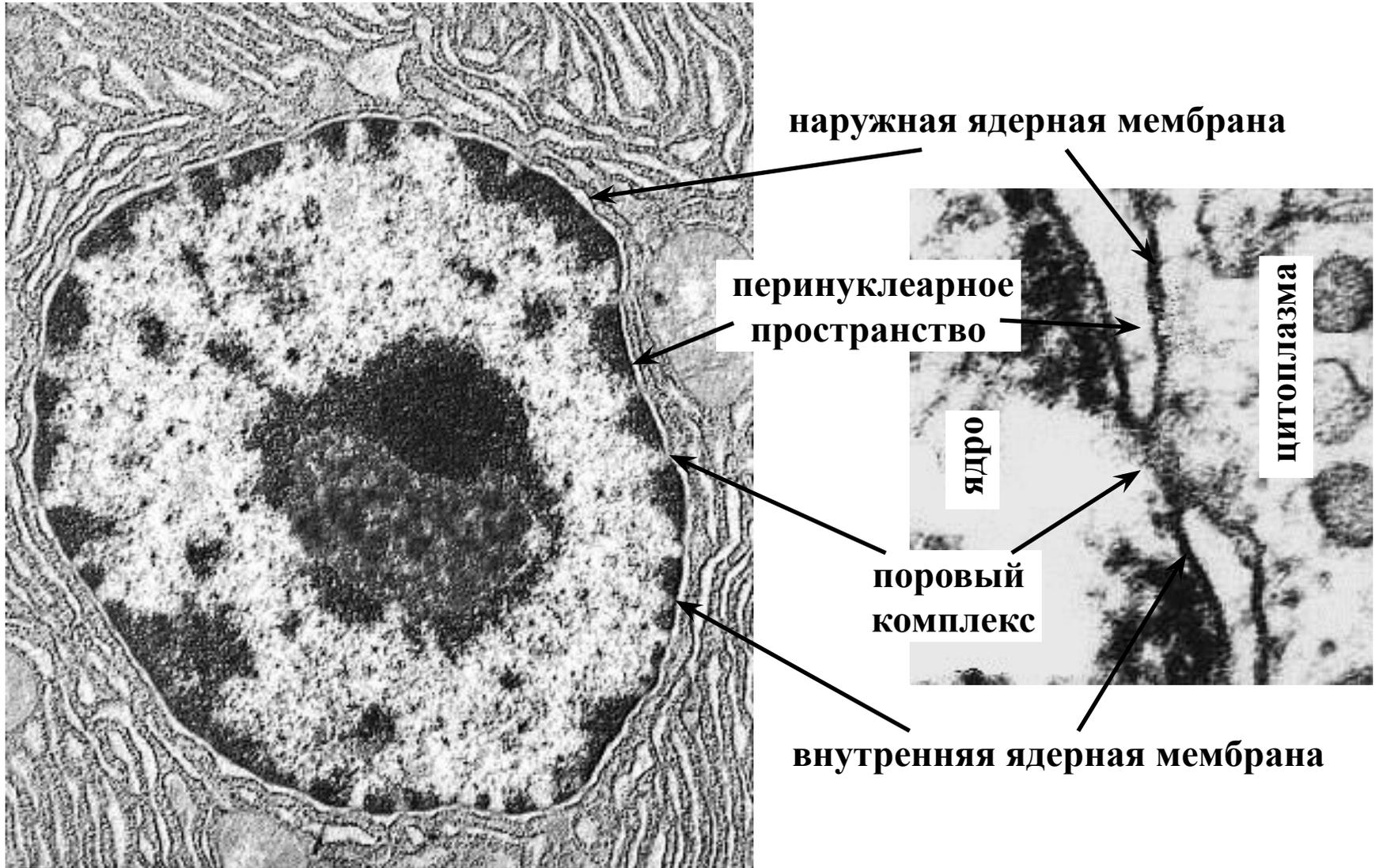
Клеточное ядро состоит из:

- 1) ядерная оболочка (нуклеолема, кариолема)
- 2) ядерный матрикс (внутриядерный белковый матрикс)
- 3) ядерный сок (нуклеоплазма, кариоплазма, кариолимфа)
- 4) хроматин
- 5) ядрышко (одно или несколько)



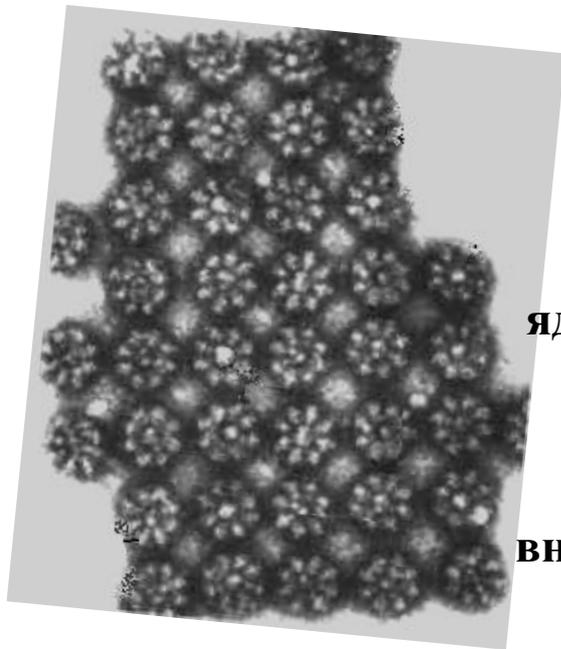
ЯДРО КЛЕТКИ

Ядерная оболочка



ЯДРО КЛЕТКИ

Поровый комплекс (комплекс ядерной поры)



Электронная микрофотография ядерных пор

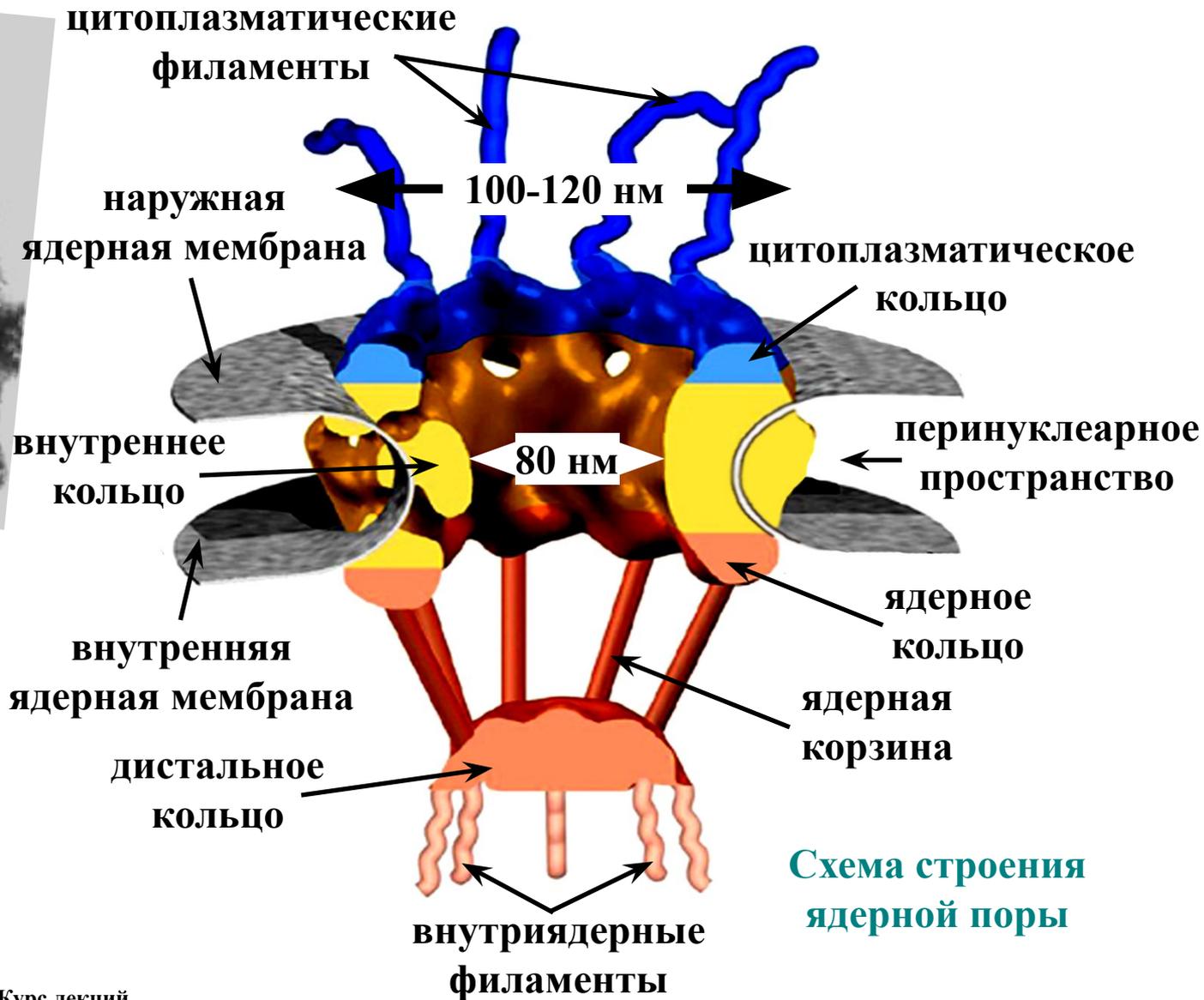


Схема строения ядерной поры

ЯДРО КЛЕТКИ

Компоненты интерфазного ядра эукариотических клеток

Клеточное ядро состоит из:

1) ядерная оболочка (нуклеолема, кариолема)

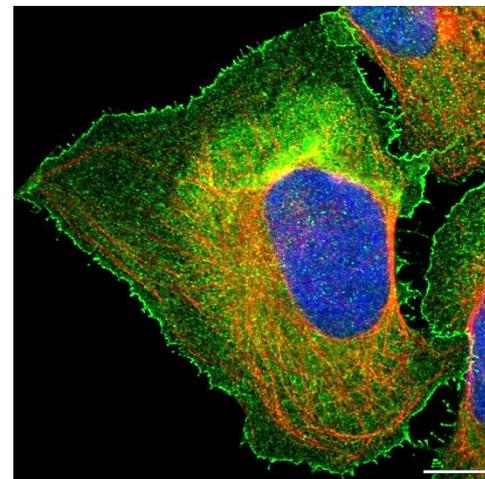
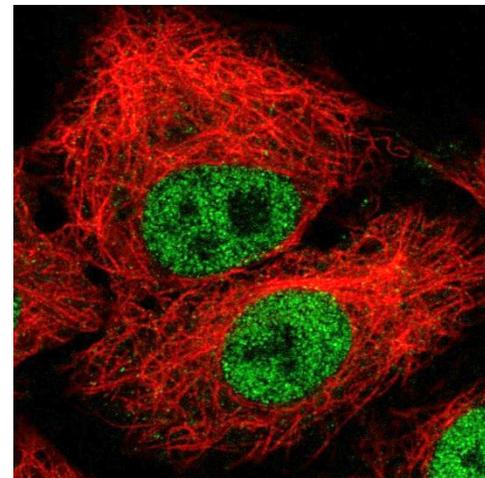
2) ядерный матрикс

(внутриядерный белковый матрикс)

3) ядерный сок (нуклеоплазма, кариоплазма, кариолимфа)

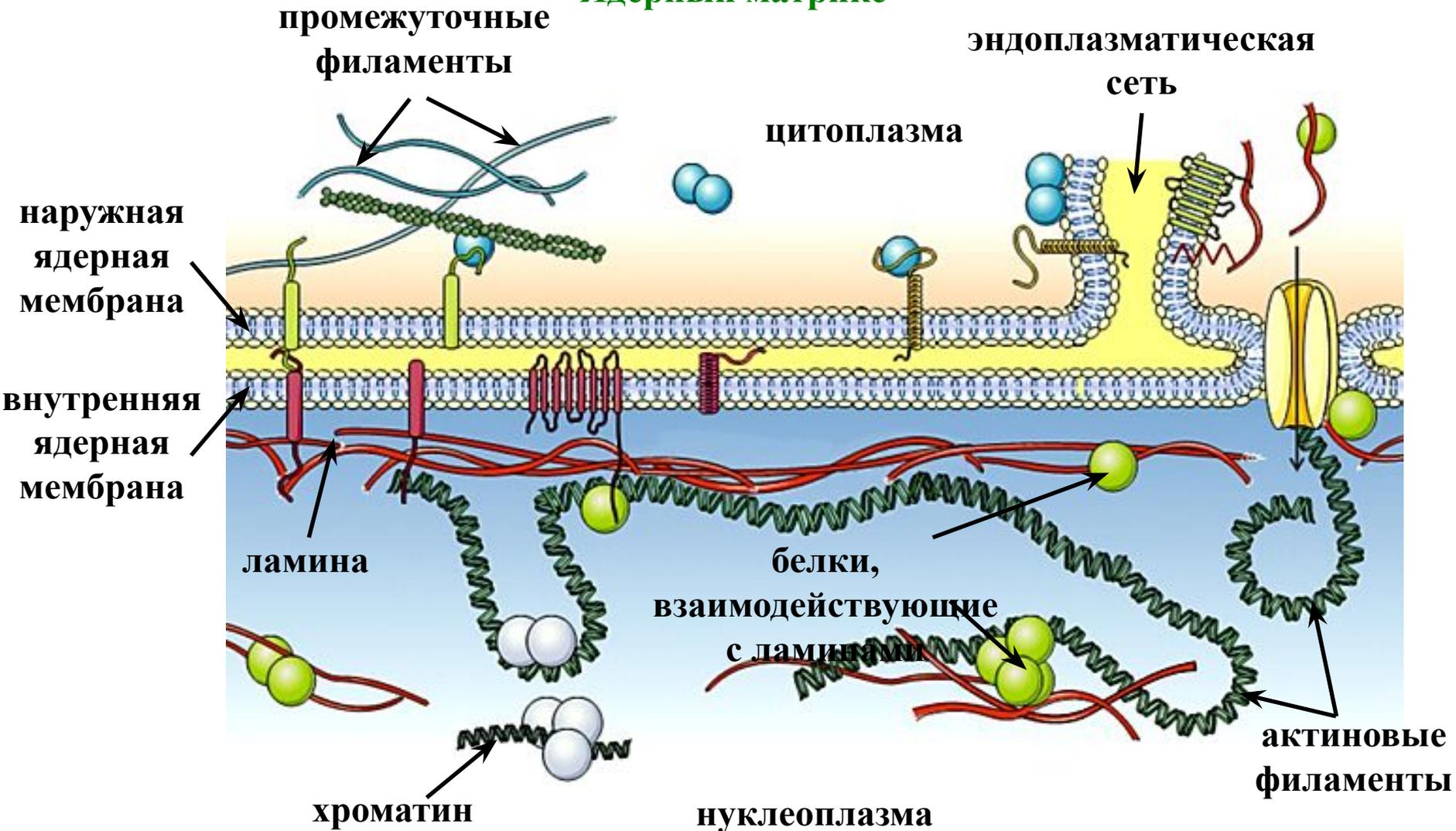
4) хроматин

5) ядрышко (одно или несколько)



ЯДРО КЛЕТКИ

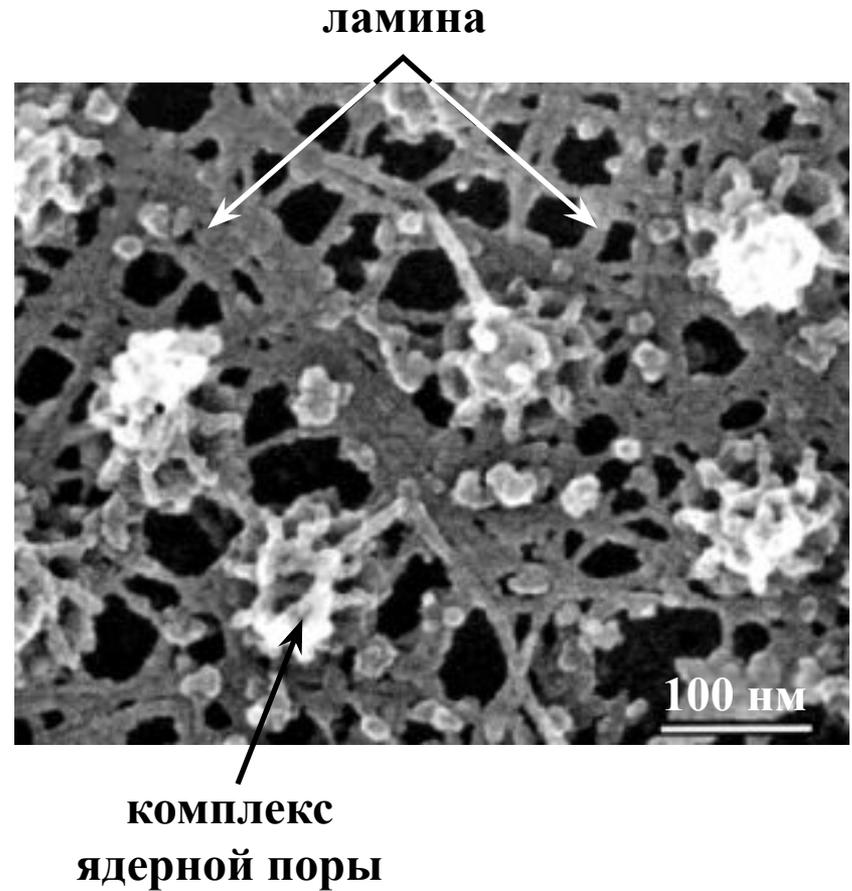
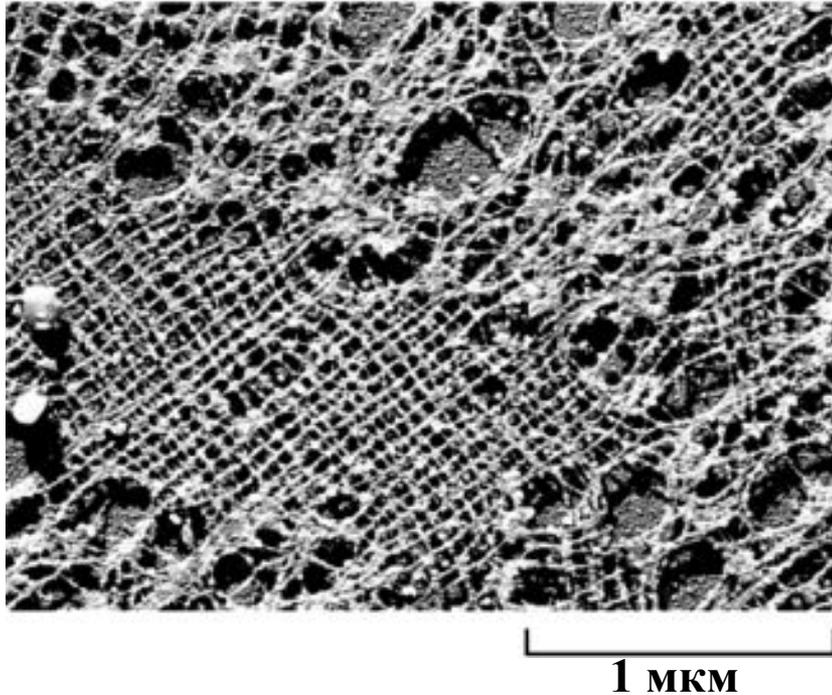
Ядерный матрикс



Организация ядерной пластинки (ламины)

ЯДРО КЛЕТКИ

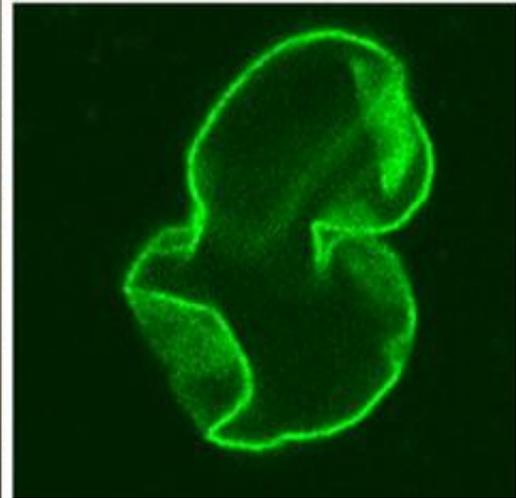
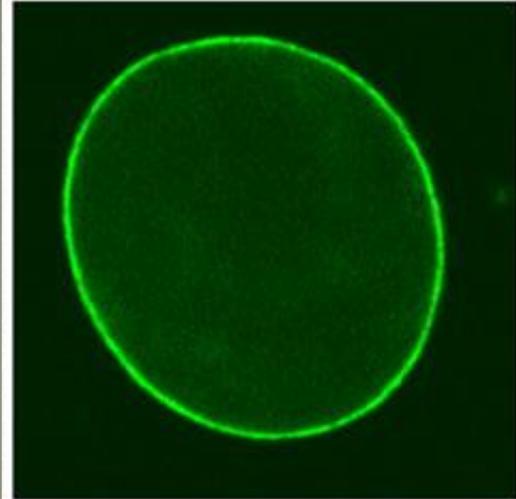
Ядерный матрикс



Электронные микрофотографии ядерной пластинки (ламина)

ЯДРО КЛЕТКИ

Ядерный матрикс



Мутации в гене ламина А приводят к развитию синдрома Гетчинсона-Гилфорда (прогерии или преждевременного старения)

ЯДРО КЛЕТКИ

Ядерный матрикс

S/MAR (от англ. **scaffold/matrix attachment region**) – последовательности ДНК эукариотических хромосом, участвующие в прикреплении хроматина к внутреннему ядерному матриксу

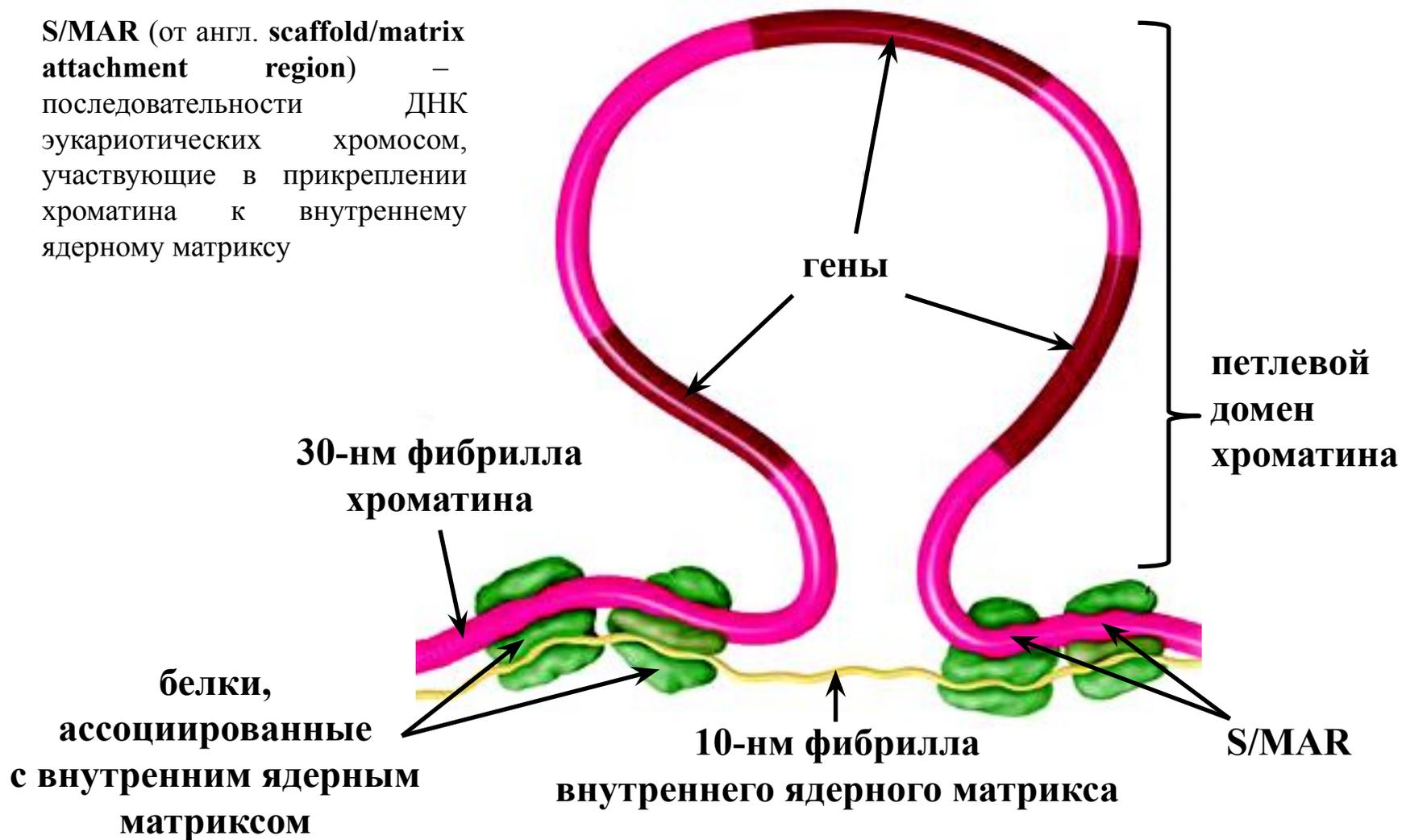


Схема организации петлевого домена хроматина

ЯДРО КЛЕТКИ

Ядерный матрикс

Nature Reviews Molecular Cell Biology | AOP, published online 3 October 2013; doi:10.1038/nrm3681

PROGRESS

To be or not to be assembled: progressing into nuclear actin filaments

Robert Grosse and Maria K. Vartiainen

Abstract | The paradigm states that cytoplasmic actin operates as filaments and nuclear actin is mainly monomeric, acting as a scaffold in transcription complexes. However, why should a powerful function of actin, namely polymerization, not be used in the nucleus? Recent progress in the field forces us to rethink this issue, as many actin filament assembly proteins have been linked to nuclear functions and new experimental approaches have provided the first direct visualizations of polymerized nuclear actin.

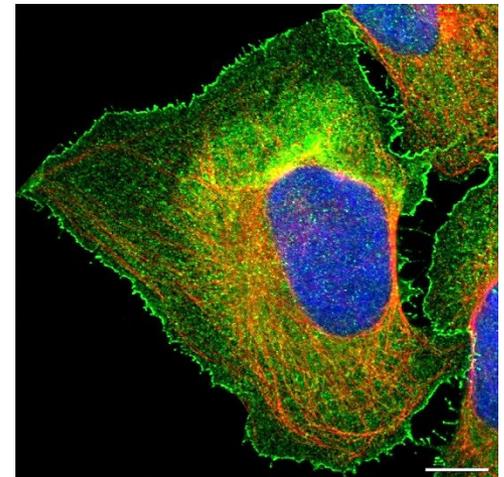
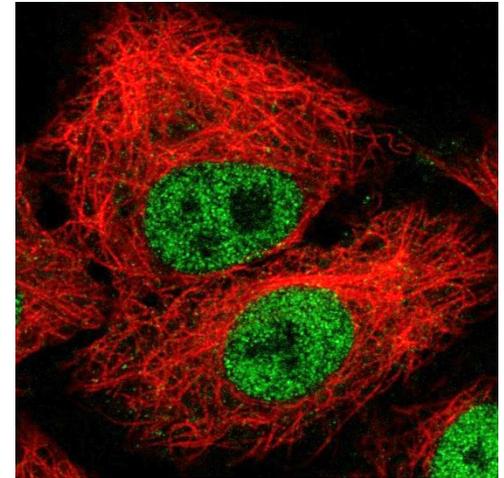
proteins ARP4 and ARP8 negatively influence actin polymerization *in vitro*, and they help to keep actin in its monomeric form within the complex¹². In addition, the barbed end of actin, from which polymerization occurs, is not accessible for polymerization within the INO80 chromatin remodeller¹³. These data, as well as additional evidence, have evoked models suggesting that nuclear actin mainly operates as a monomer⁴, possibly acting as an interaction platform for the recruitment of different gene expression complexes to facilitate transcription. Thus, although scaffolding roles for monomeric actin have been proposed in many studies over the years, more detailed mechanistic insight as well as *in vivo* analysis are required to better understand the precise nuclear functions of these interactions.

ЯДРО КЛЕТКИ

Компоненты интерфазного ядра эукариотических клеток

Клеточное ядро состоит из:

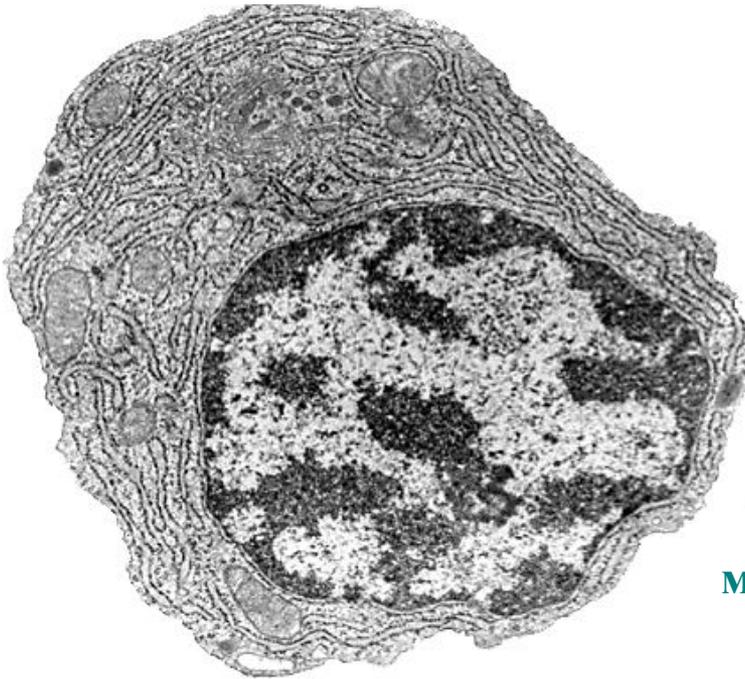
- 1) ядерная оболочка (нуклеолема, кариолема)
- 2) ядерный матрикс (внутриядерный белковый матрикс)
- 3) ядерный сок**
(нуклеоплазма, кариоплазма, кариолимфа)
- 4) хроматин
- 5) ядрышко (одно или несколько)



ЯДРО КЛЕТКИ

Ядерный сок

Ядерный сок (нуклеоплазма, кариоплазма, кариолимфа) – растворимая фракция ядра, электронно-прозрачная, преимущественно коллоидного состояния, которая заполняет все пространство между ядерным матриксом и хроматином.



**Электронная
микрофотография
плазмоцита**

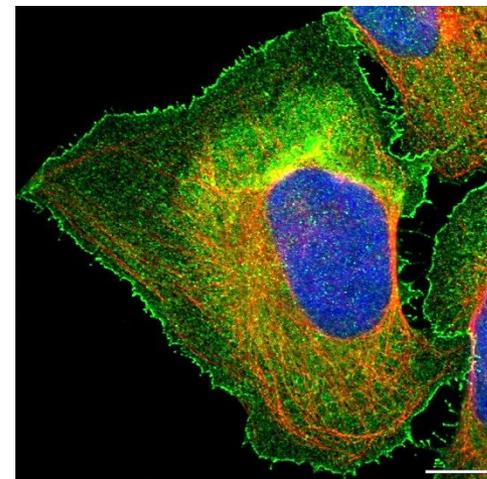
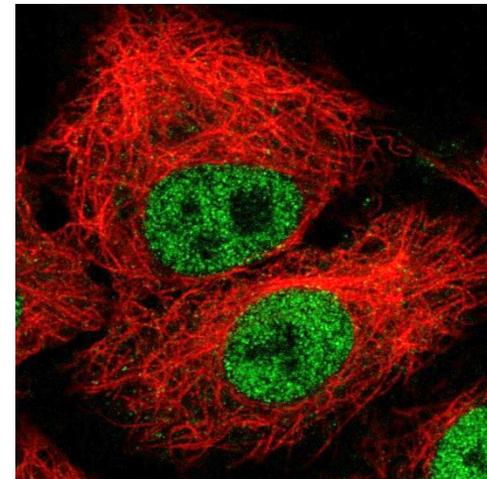
Ядерный сок **состоит** из воды, а также растворенных в ней ионов натрия, калия, хлора, магния и кальция, низкомолекулярных ДНК и РНК, ферментов, метаболитов транскрипции и репликации и других молекул.

ЯДРО КЛЕТКИ

Компоненты интерфазного ядра эукариотических клеток

Клеточное ядро состоит из:

- 1) ядерная оболочка (нуклеолема, кариолема)
- 2) ядерный матрикс (внутриядерный белковый матрикс)
- 3) ядерный сок (нуклеоплазма, кариоплазма, кариолимфа)
- 4) хроматин**
- 5) ядрышко (одно или несколько)



ЯДРО КЛЕТКИ

Уровни организации хроматина: общая схема

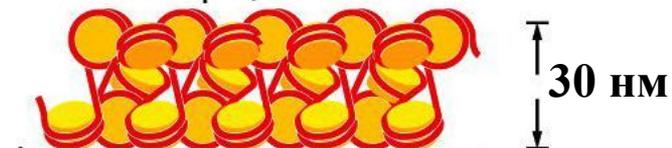
ДНК



нуклеосомы



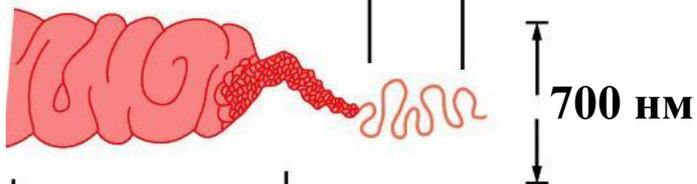
хроматиновая
фибрилла



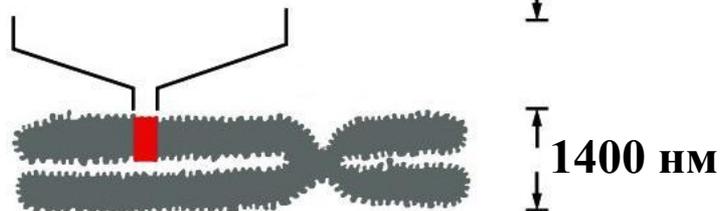
петлевые
домены



хромонема



метафазная
хромосома



ЯДРО КЛЕТКИ

Уровень организации хроматина – нуклеосома

нуклеосомный кор

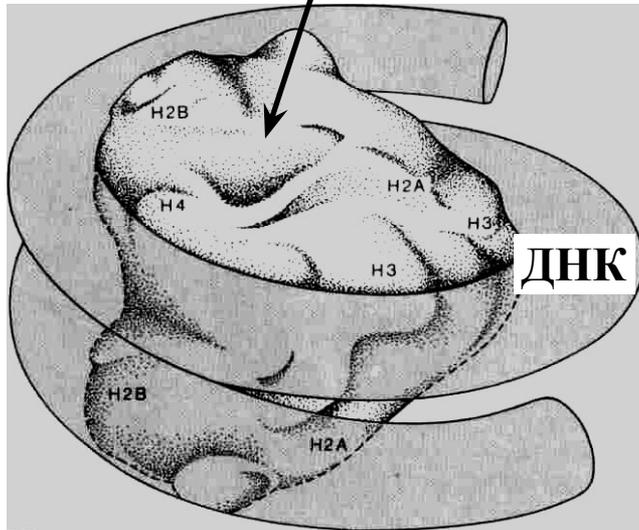
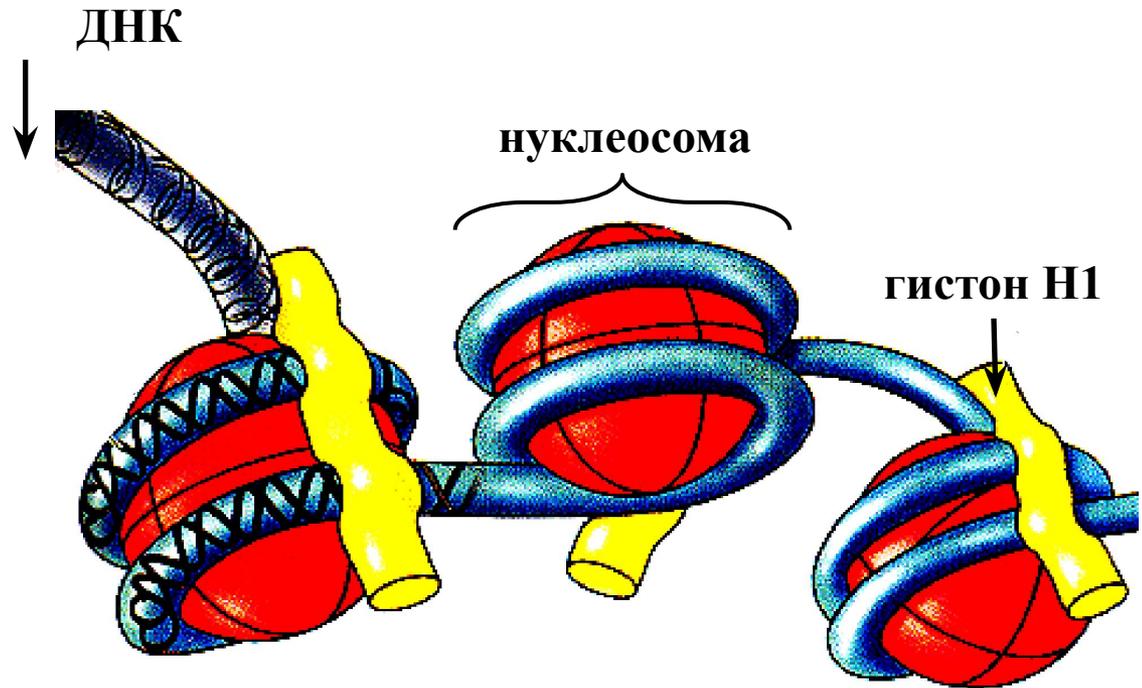


Схема строения
нуклеосомы



Нуклеосомный уровень
организации хроматина

ЯДРО КЛЕТКИ

Уровни организации хроматина: общая схема

ДНК



нуклеосомы



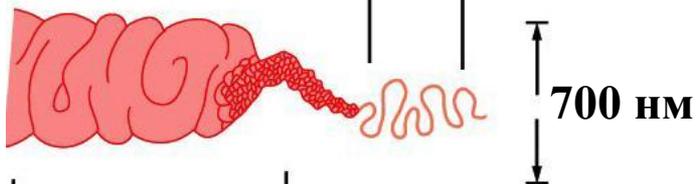
хроматиновая
фибрилла



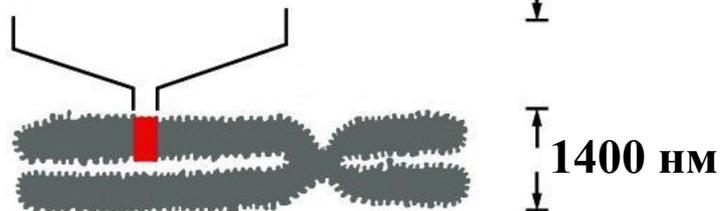
петлевые
домены



хромонема



метафазная
хромосома



ЯДРО КЛЕТКИ

Уровень организации хроматина – хроматиновая фибрилла

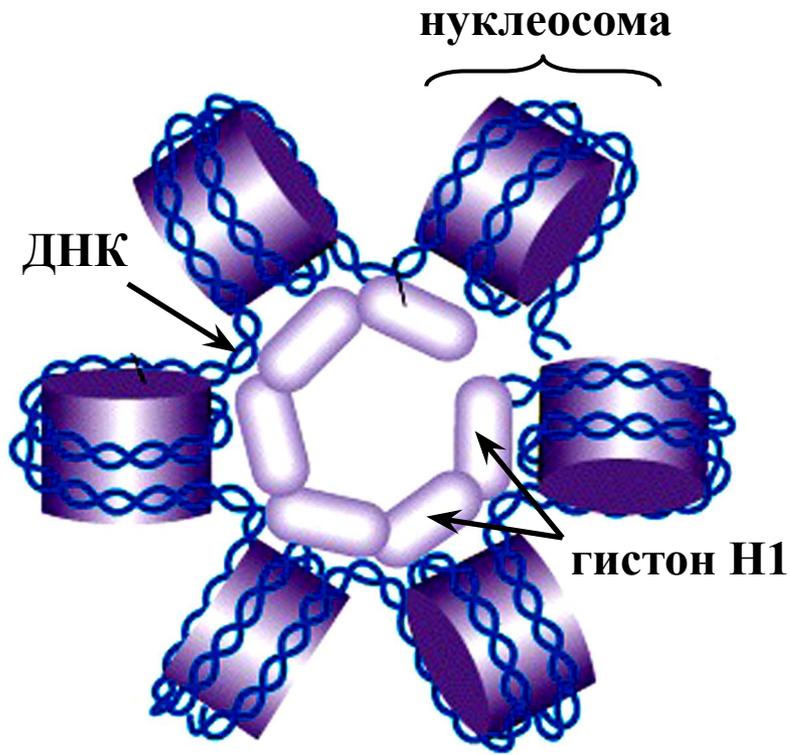


Схема строения
“супербусинки”
(нуклеомера)

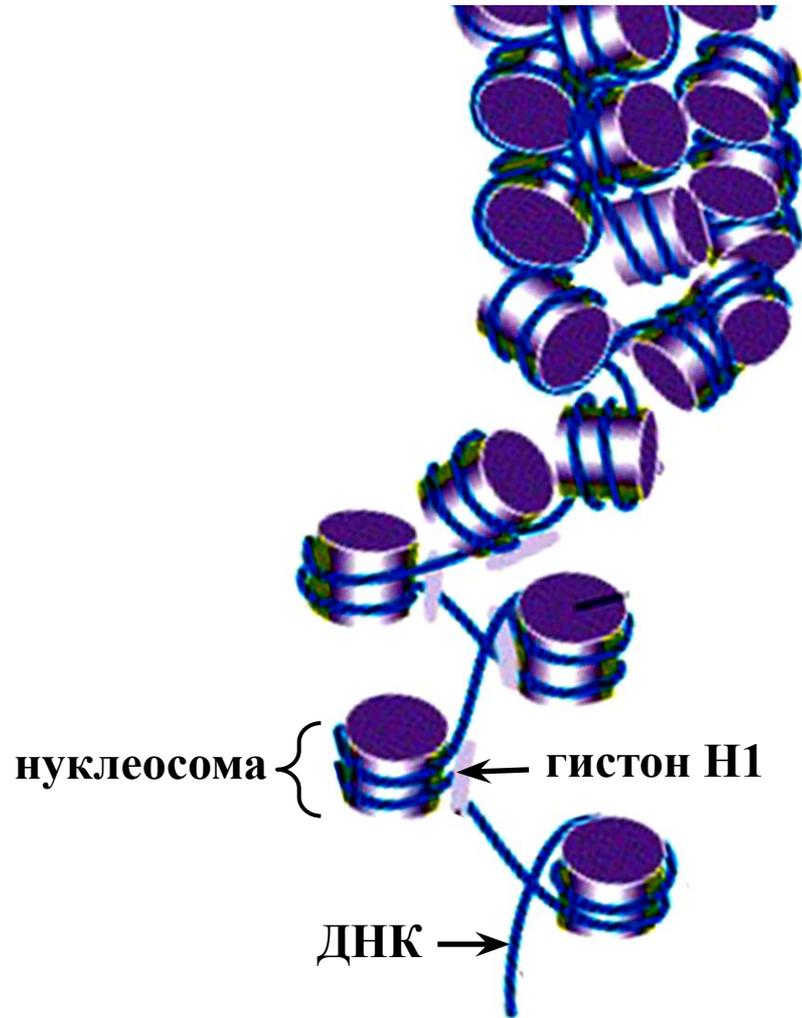


Схема строения
“соленида”

ЯДРО КЛЕТКИ

Уровни организации хроматина: общая схема

ДНК



нуклеосомы



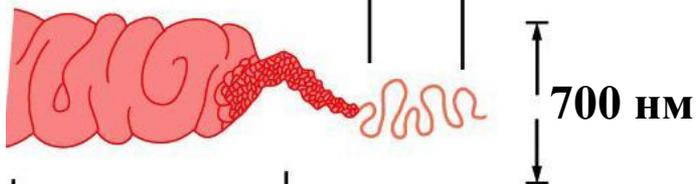
хроматиновая
фибрилла



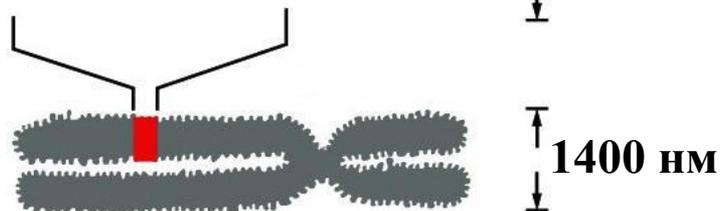
петлевые
домены



хромонема



метафазная
хромосома



ЯДРО КЛЕТКИ

Уровень организации хроматина – петлевой домен

S/MAR (от англ. **scaffold/matrix attachment region**) – последовательности ДНК эукариотических хромосом, участвующие в прикреплении хроматина к внутреннему ядерному матриксу

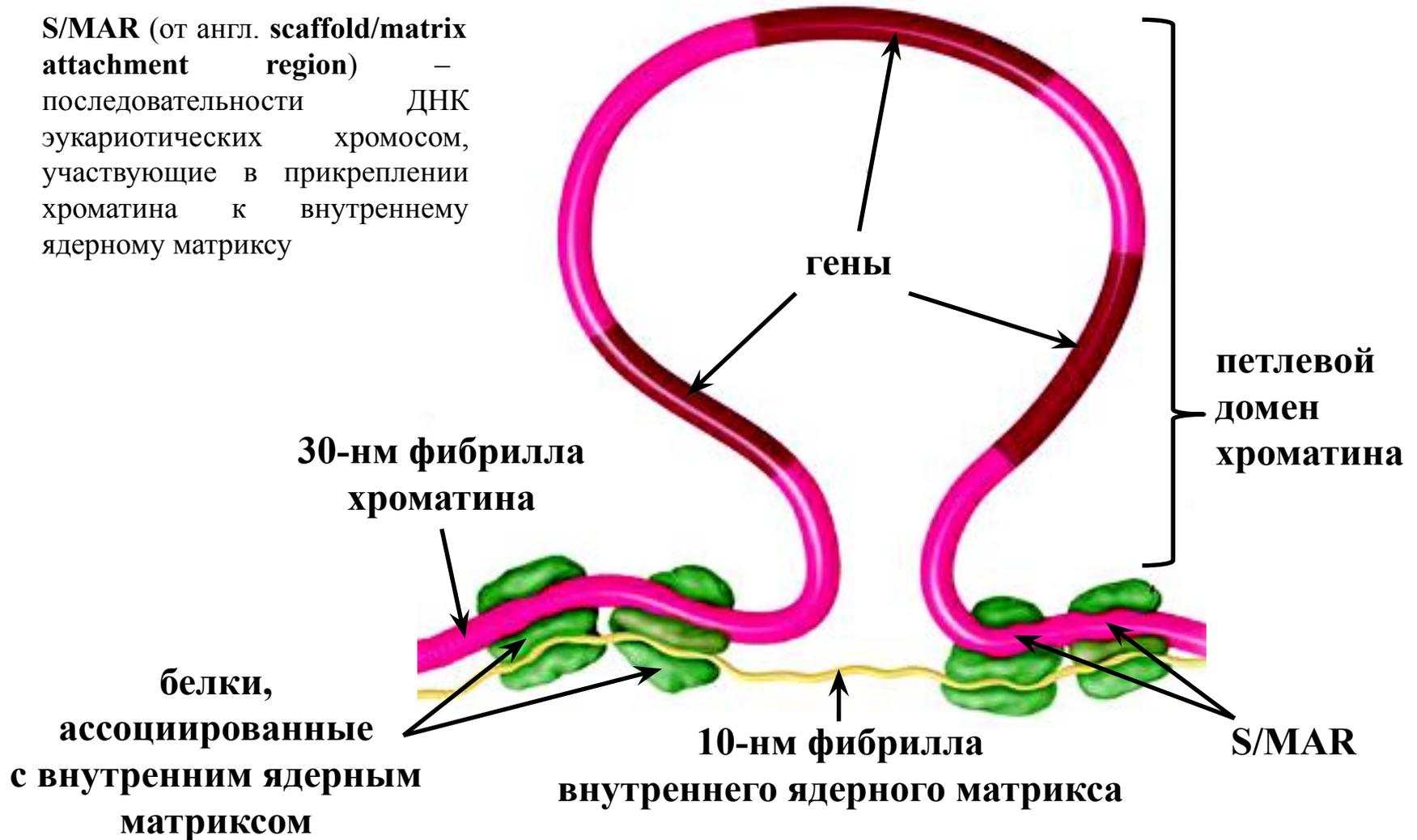
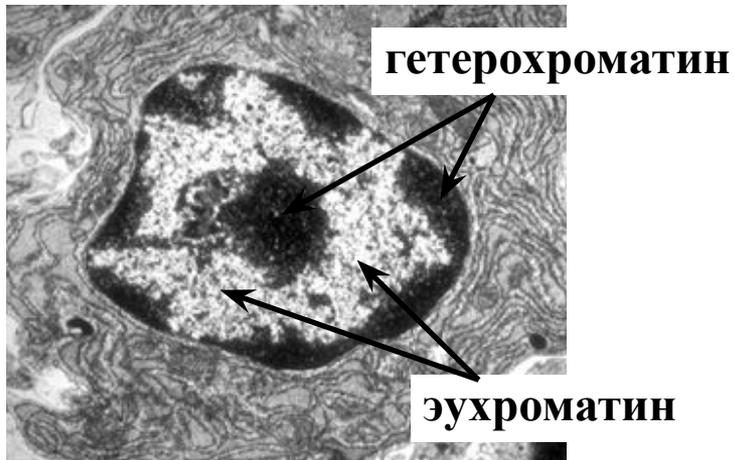


Схема организации петлевого домена хроматина

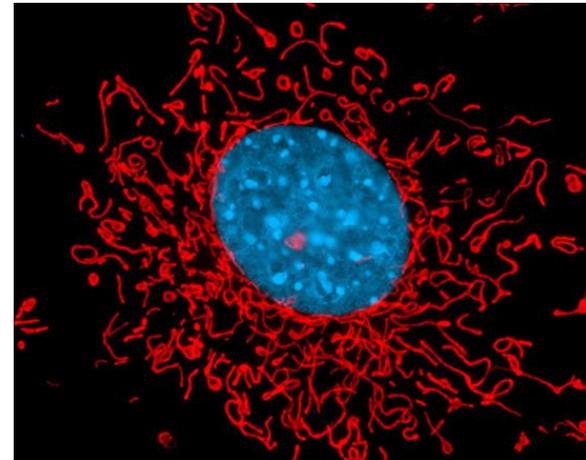
ЯДРО КЛЕТКИ

Гетеро- и эухроматин

Гетерохроматин – участки хроматина, которые в интерфазном ядре находятся в конденсированном (компактном) состоянии. Транскрипционно не активен или низкоактивен. Может быть **факультативным** и **конститутивным (структурным)** гетерохроматином.



Выявление гетеро- и эухроматина с помощью электронной микроскопии



Неоднородность интерфазного хроматина (эмбриональный фибробласт мыши, флуоресцентная микроскопия, окраска ядра с помощью DAPI).

Эухроматин – участки хроматина, находящиеся в деконденсированном состоянии на протяжении всей интерфазы. Транскрипционно активный хроматин.

ЯДРО КЛЕТКИ

Уровни организации хроматина: общая схема

ДНК



нуклеосомы



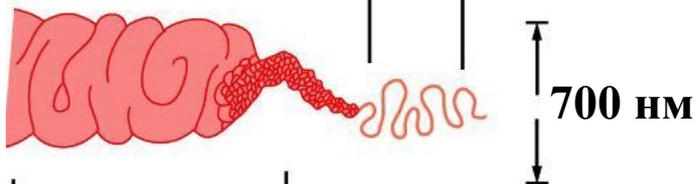
хроматиновая
фибрилла



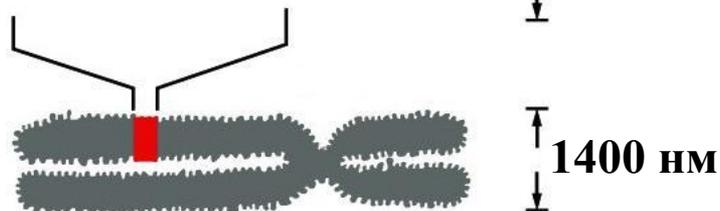
петлевые
домены



хромонема

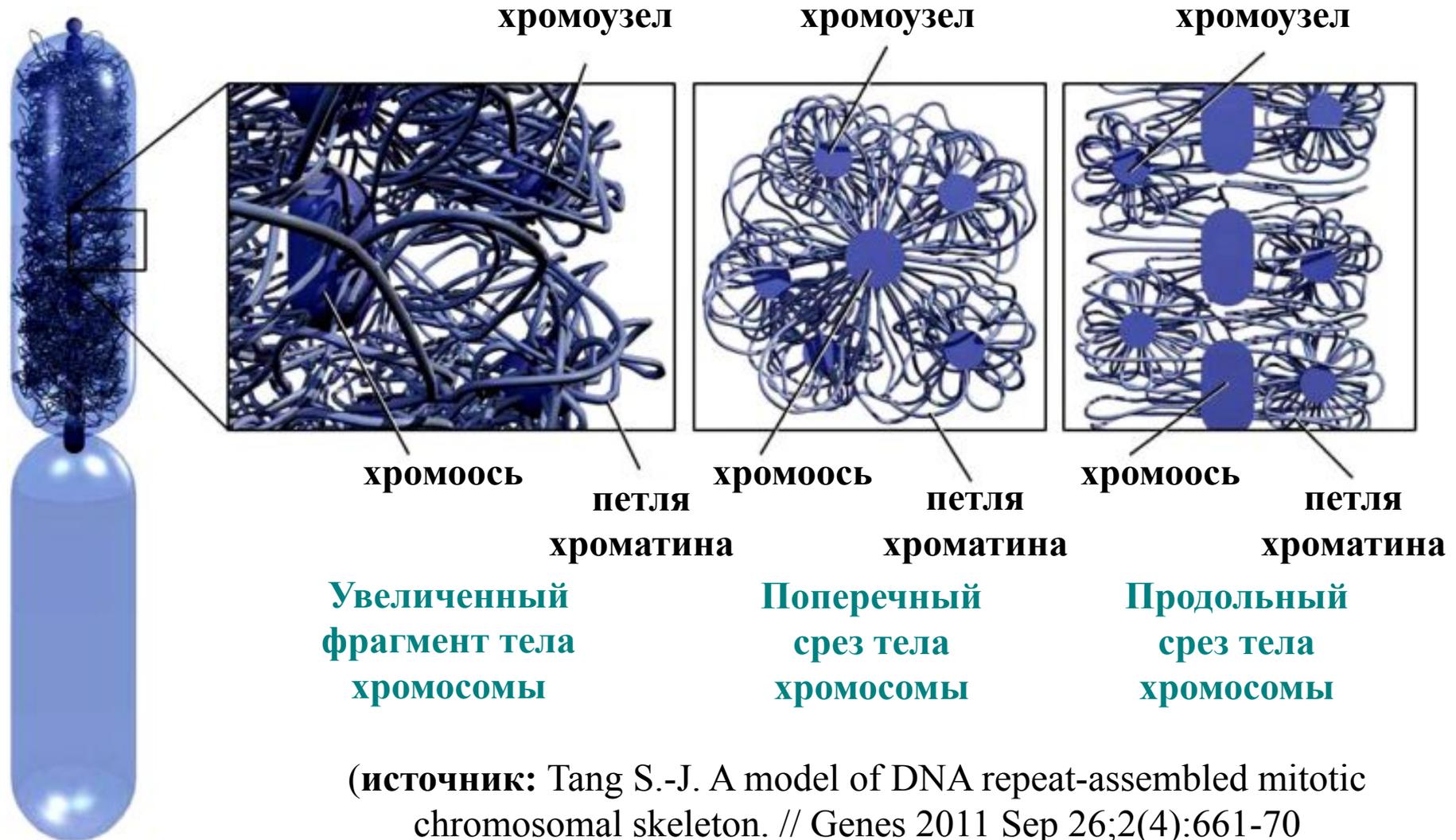


метафазная
хромосома



ЯДРО КЛЕТКИ

Уровень организации хроматина – хромонема и метафазная хромосома



(источник: Tang S.-J. A model of DNA repeat-assembled mitotic chromosomal skeleton. // Genes 2011 Sep 26;2(4):661-70)

ЯДРО КЛЕТКИ

Морфология метафазных хромосом

Электронная микрофотография

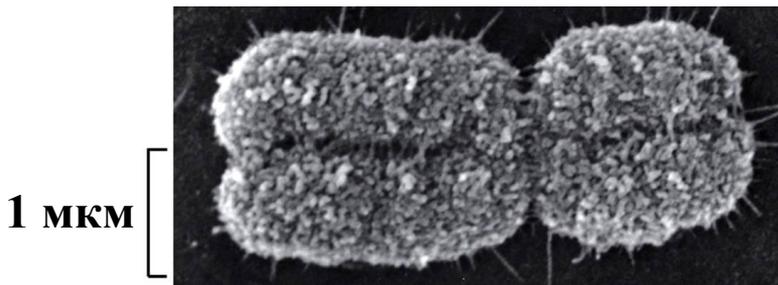


Схема строения



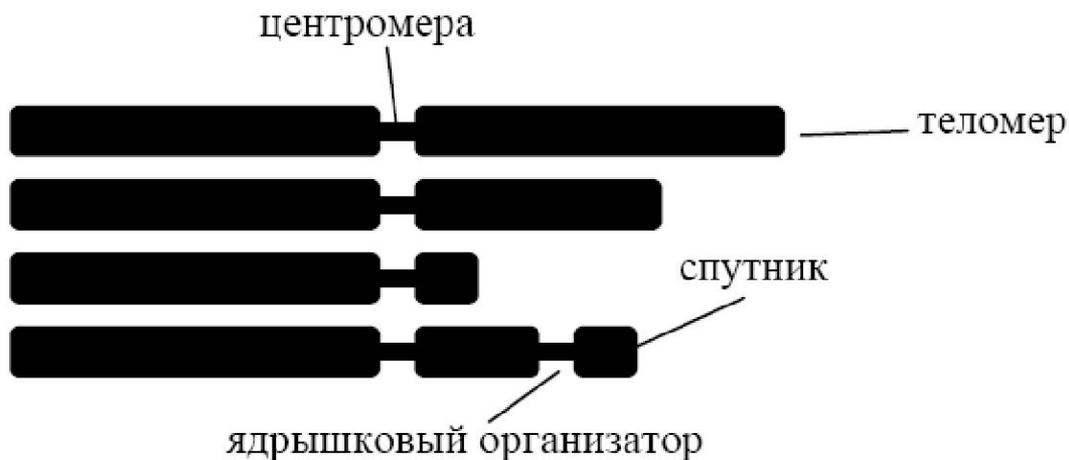
Типы метафазных хромосом

метацентрическая хромосома

субметацентрическая хромосома

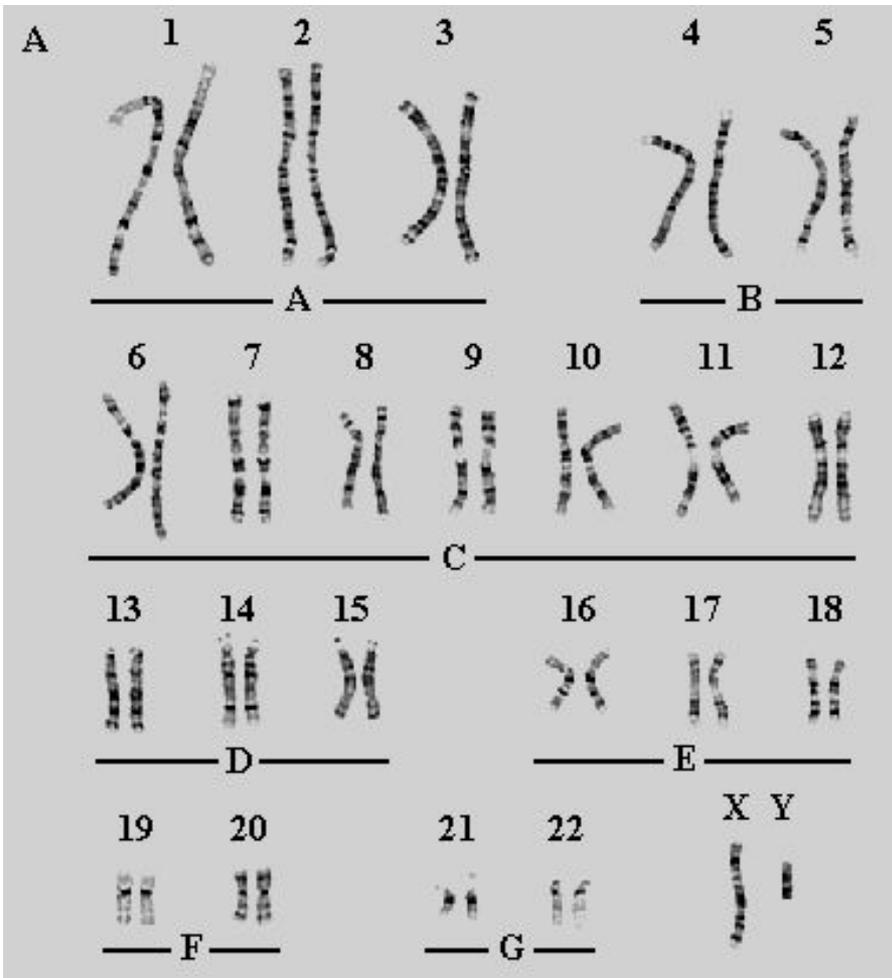
acrocentric хромосома

спутничная хромосома

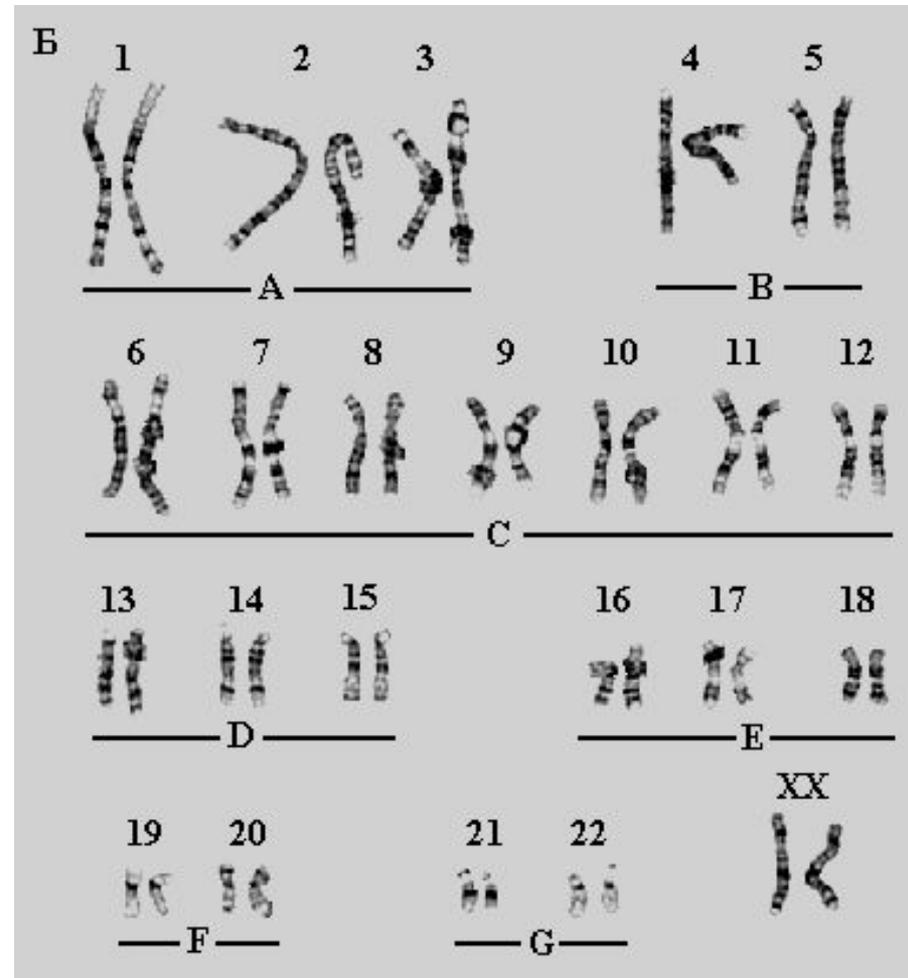


ЯДРО КЛЕТКИ

Нормальный кариотип человека (А – мужчина, Б – женщина)



Кариограмма диплоидного набора хромосом мужчины

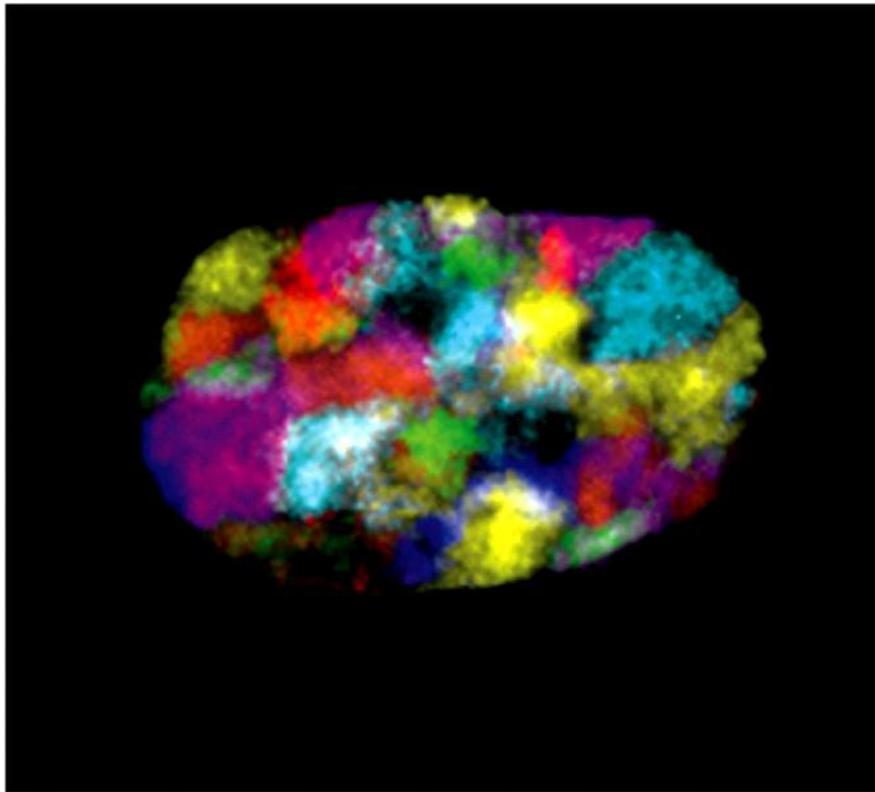


Кариограмма диплоидного набора хромосом женщины

ЯДРО КЛЕТКИ

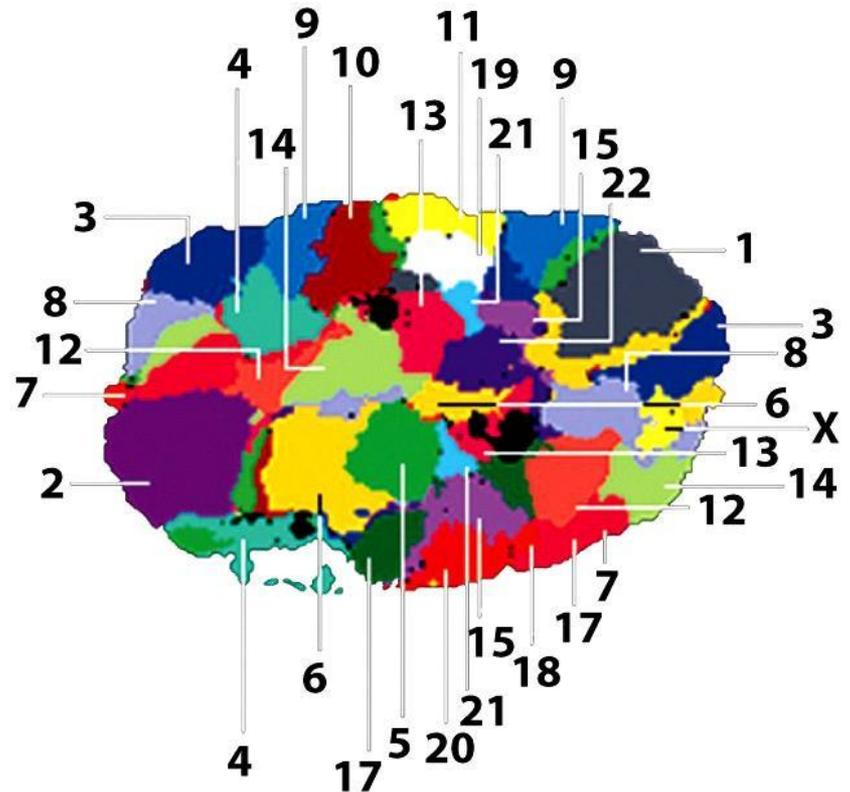
Хромосомы интерфазного ядра

Микрофотография
интерфазного ядра



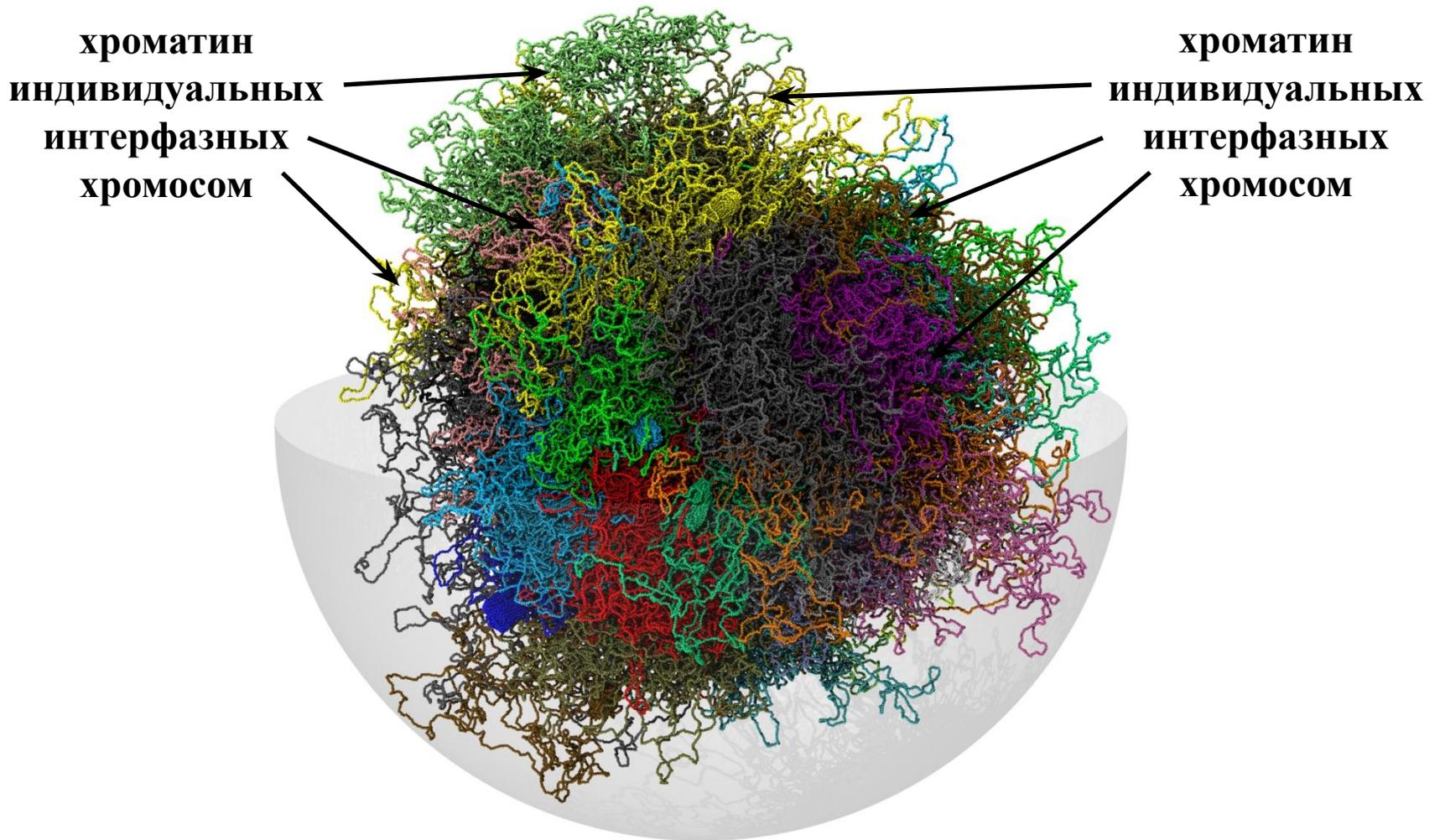
10 мкм

Расположение хромосом
человека в интерфазном ядре



ЯДРО КЛЕТКИ

Хромосомы интерфазного ядра



3D модель организации хромосом в интерфазном ядре

ЯДРО КЛЕТКИ

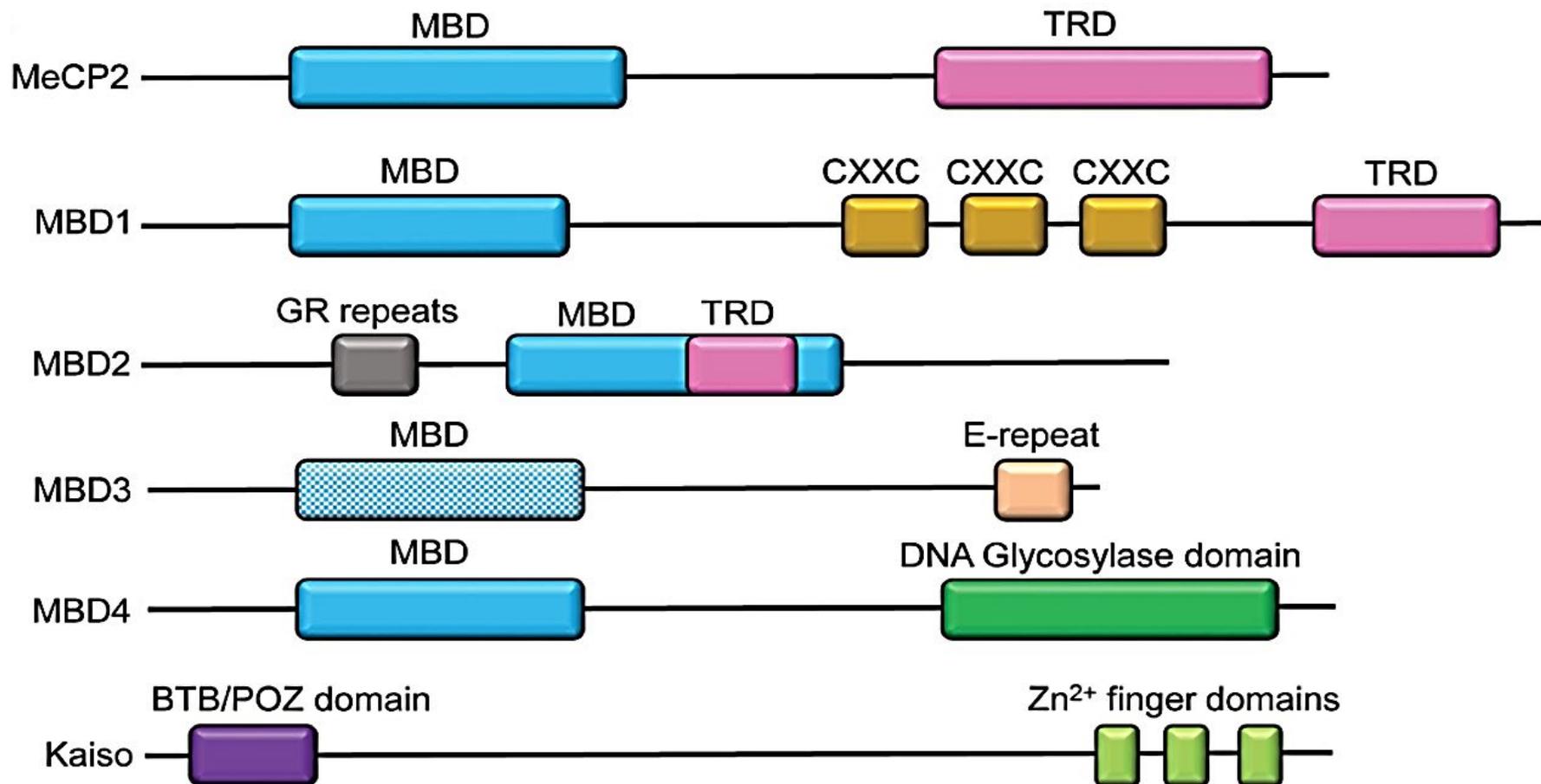
Негистоновые белки

| Белки | Функции |
|---------------------|---|
| HP1 | Образование гетерохроматина |
| DNMT1, Brahma, CREB | Подавление или активация транскрипции, деметилирование ДНК, образование гетерохроматина |
| HDAC, NcoR, YY1 | Подавление или активация транскрипции, сплайсинг РНК, образование гетерохроматина |
| HMGB | Компактизация хроматина, сплайсинг РНК |
| ATRX | Модуляция структуры хроматина |

Функциональное разнообразие негистоновых белков

ЯДРО КЛЕТКИ

Негистоновые белки



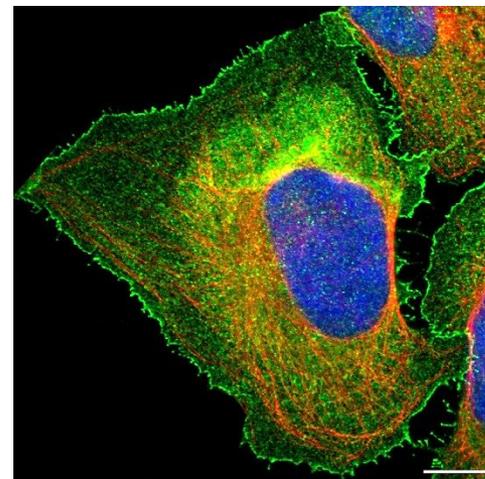
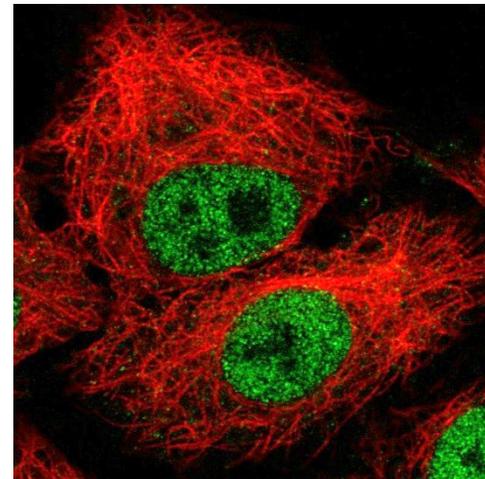
Структура некоторых негистоновых белков семейства MBR
(метил-CpG-связывающие белки)

ЯДРО КЛЕТКИ

Компоненты интерфазного ядра эукариотических клеток

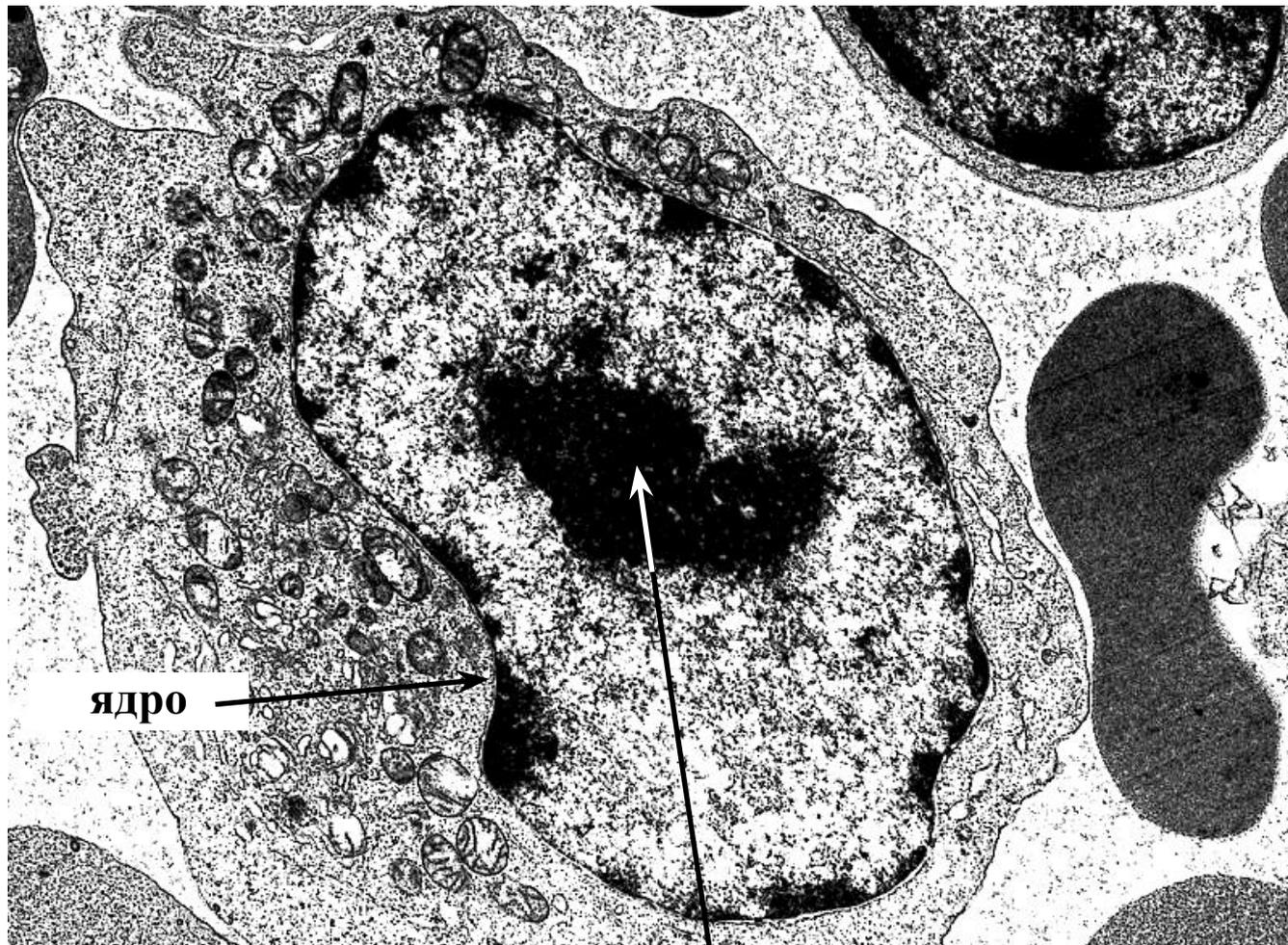
Клеточное ядро состоит из:

- 1) ядерная оболочка (нуклеолема, кариолема)
- 2) ядерный матрикс
- 3) ядерный сок (нуклеоплазма, кариоплазма)
- 4) хроматин
- 5) ядрышко (одно или несколько)**



ЯДРО КЛЕТКИ

Электронная микрофотография ядра с ядрышком

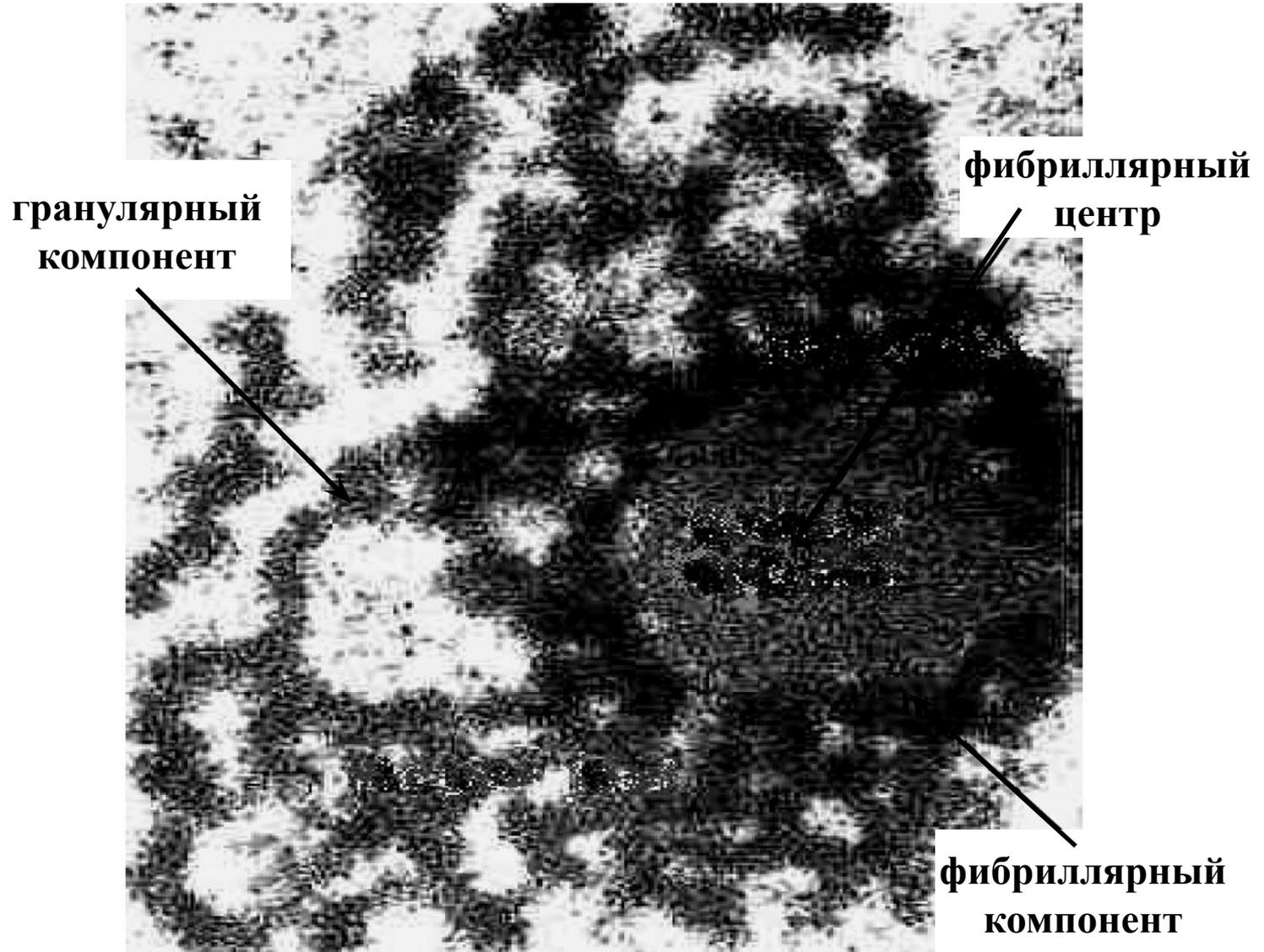


ядро

ядрышко

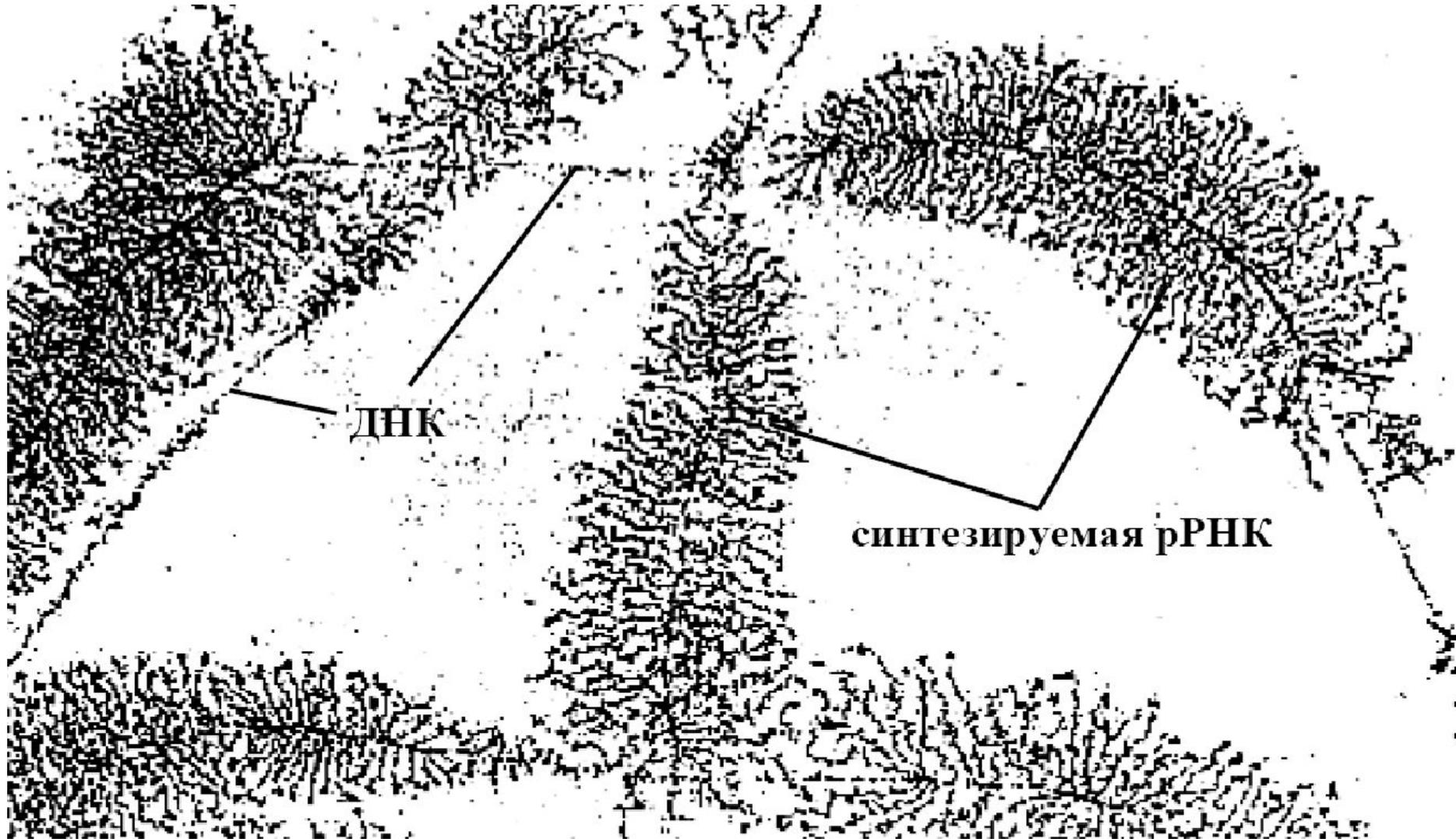
ЯДРО КЛЕТКИ

Электронная микрофотография ядрышка

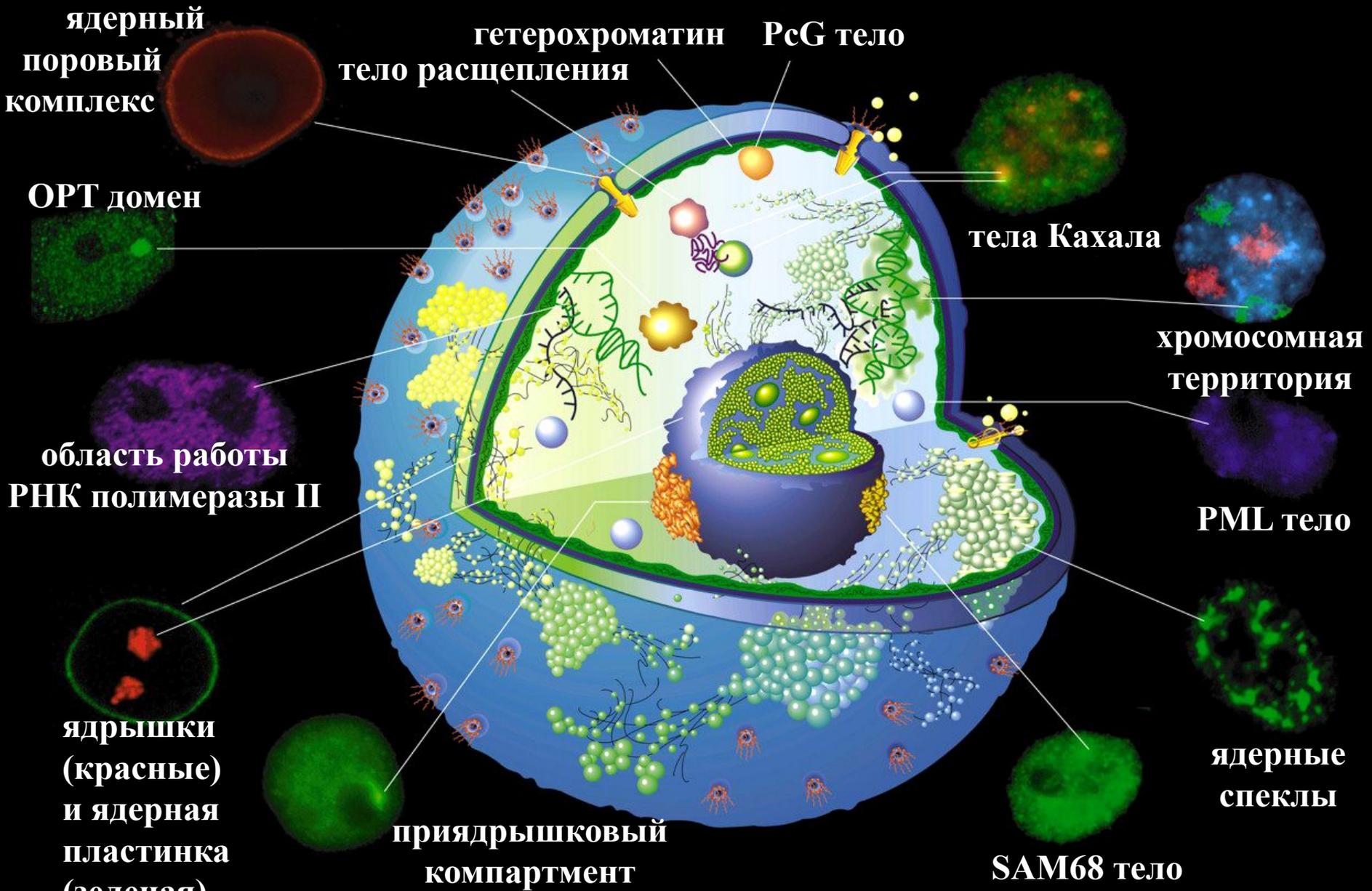


ЯДРО КЛЕТКИ

Электронная микрофотография фибриллярного центра



РАЗНООБРАЗИЕ СТРУКТУР ЯДРА КЛЕТКИ

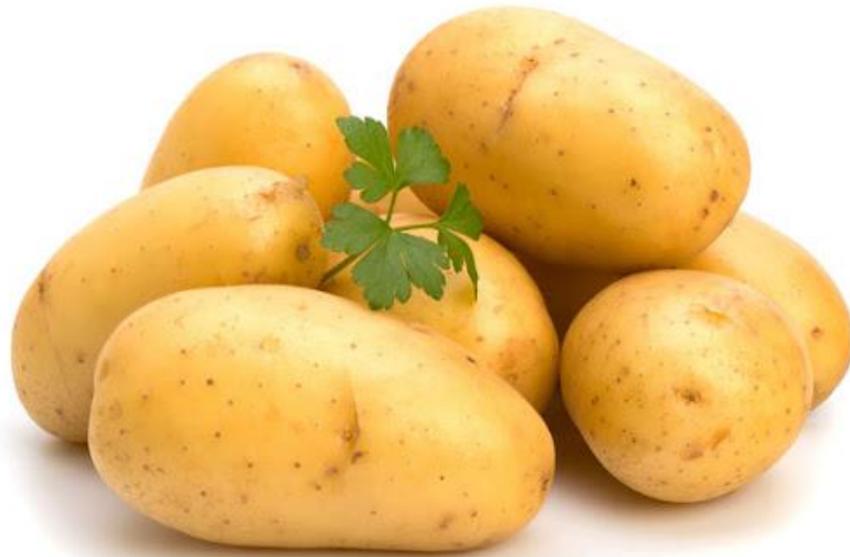


ЭНДОРЕПРОДУКЦИЯ

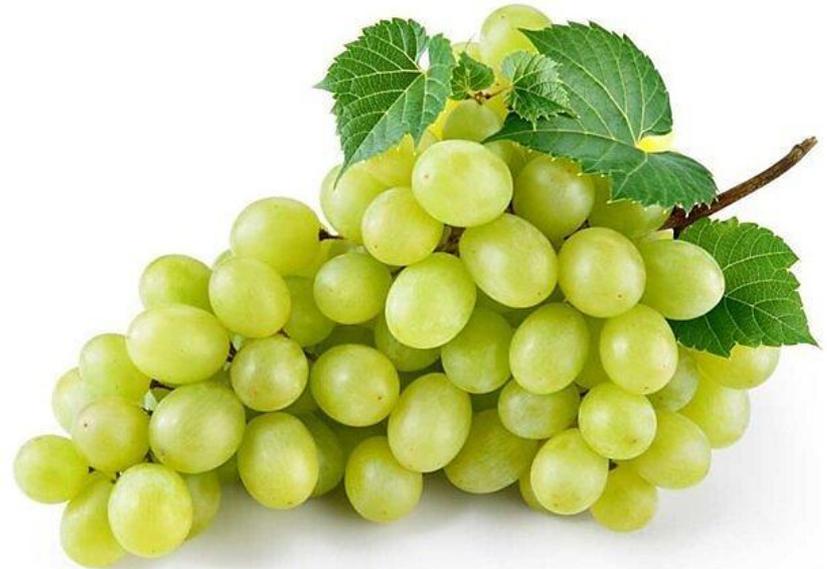
Определение понятия и пути возникновения

Эндорепродукция – образование клеток с увеличенным содержанием ДНК. В основе этого явления лежит **эндомитоз**, приводящий либо к **увеличению числа хромосом** в ядре клетки, либо к **увеличению числа молекул ДНК в хромосомах** клетки без увеличения числа самих хромосом.

Полиплоидия – увеличение количества хромосом в эукариотической клетке, кратное гаплоидному.



Картофель Лина



Кишмиш белый овальный

ЭНДОРЕПРОДУКЦИЯ

Определение понятия и пути возникновения

Политения – образование в ядрах соматических клеток некоторых растений, простейших и двукрылых насекомых многонитчатых (политенных) хромосом. Происходит благодаря **редупликации (удвоении) хромосомальной ДНК** в S-период клеточного цикла без последующего вхождения клетки в митоз и, как следствие, расхождения хромосом.

Результатом политении являются **политенные хромосомы**, которые могут содержать множество копий ДНК (до 32768 на хромосому).

Соматическая конъюгация – попарное сближение и объединение гомологичных политенных хромосом в интерфазном ядре клетки.



Политенные хромосомы дрозофилы

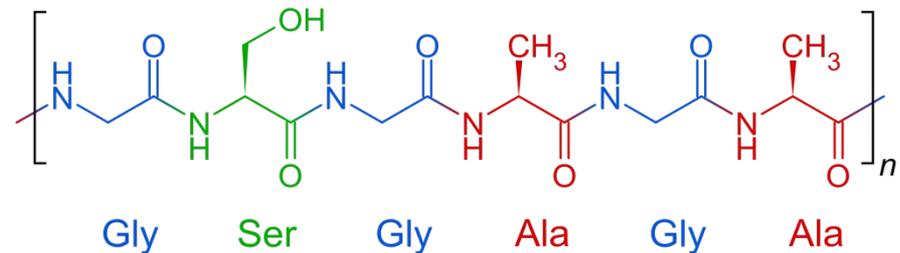
ЭНДОРЕПРОДУКЦИЯ

Биологическая значимость



Тутовый шелкопряд (*Bombyx mori*)

Для образования одного кокона необходимо около **3000 метров** шелковой нити. Задний отдел шелкоотделительной железы тутового шелкопряда вырабатывает **140 мг фиброина** в сутки (38×10^{11} молекул в минуту).



Структура «мономера» фиброина

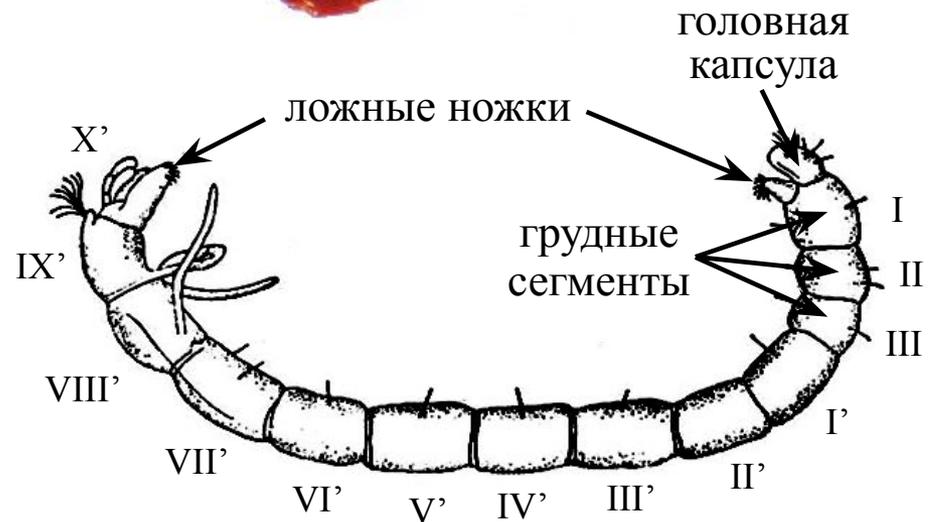
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Приготовление препаратов политенных хромосом личинки комара-звонца.



имаго

ЛИЧИНКИ
(МОТЫЛЬ)



личинка, схема

Комар-звонец *Chironomus dorsalis*

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Приготовление препаратов политенных хромосом личинки комара-звонца.

Элементы строения:

- 1) глотка;
- 2) надглоточный и подглоточные ганглии;
- 3) проток слюнной железы;
- 4) слюнная железа;
- 5) желудок;
- 6) пищевод;
- 7) кишечник;
- 8) брюшная нервная цепочка;
- 9) мальпигиевы сосуды;
- 10) задняя кишка.



**Схема
внутреннего строения
личинки комара-звонца**

Гольгина В. В., Ермолаева О. В., Брошков А. Д. Хирономиды – модельный объект кариологических исследований. Методические материалы (методическое пособие) к летней академической практике по цитологии для студентов 2-го курса биологического отделения. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2013 г. – 46 с.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

