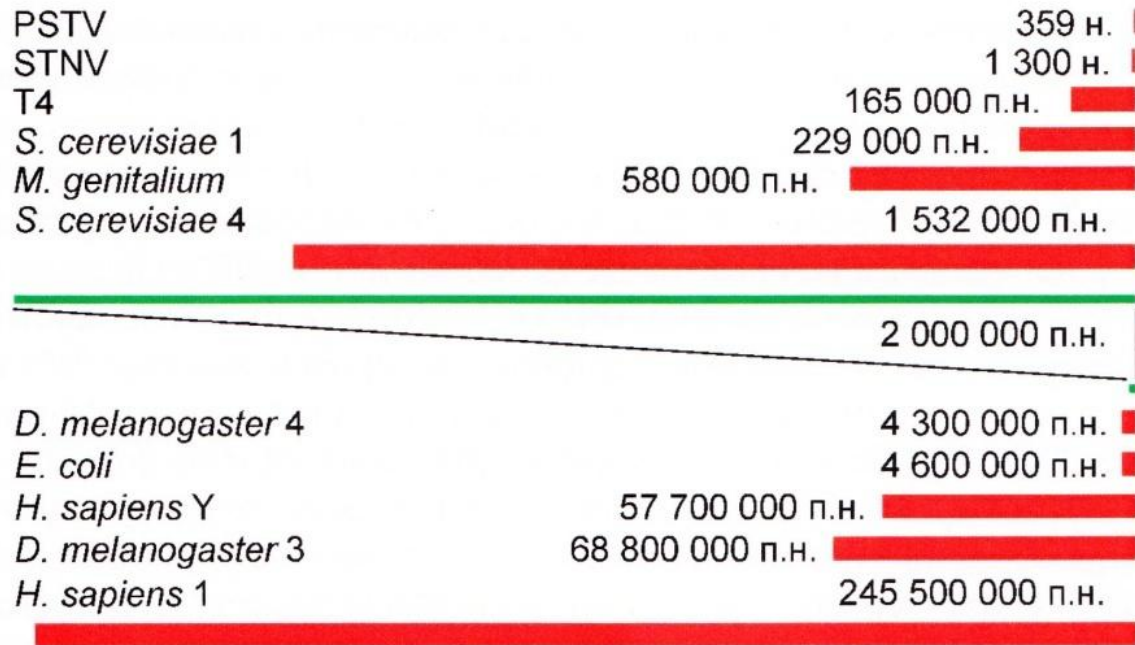
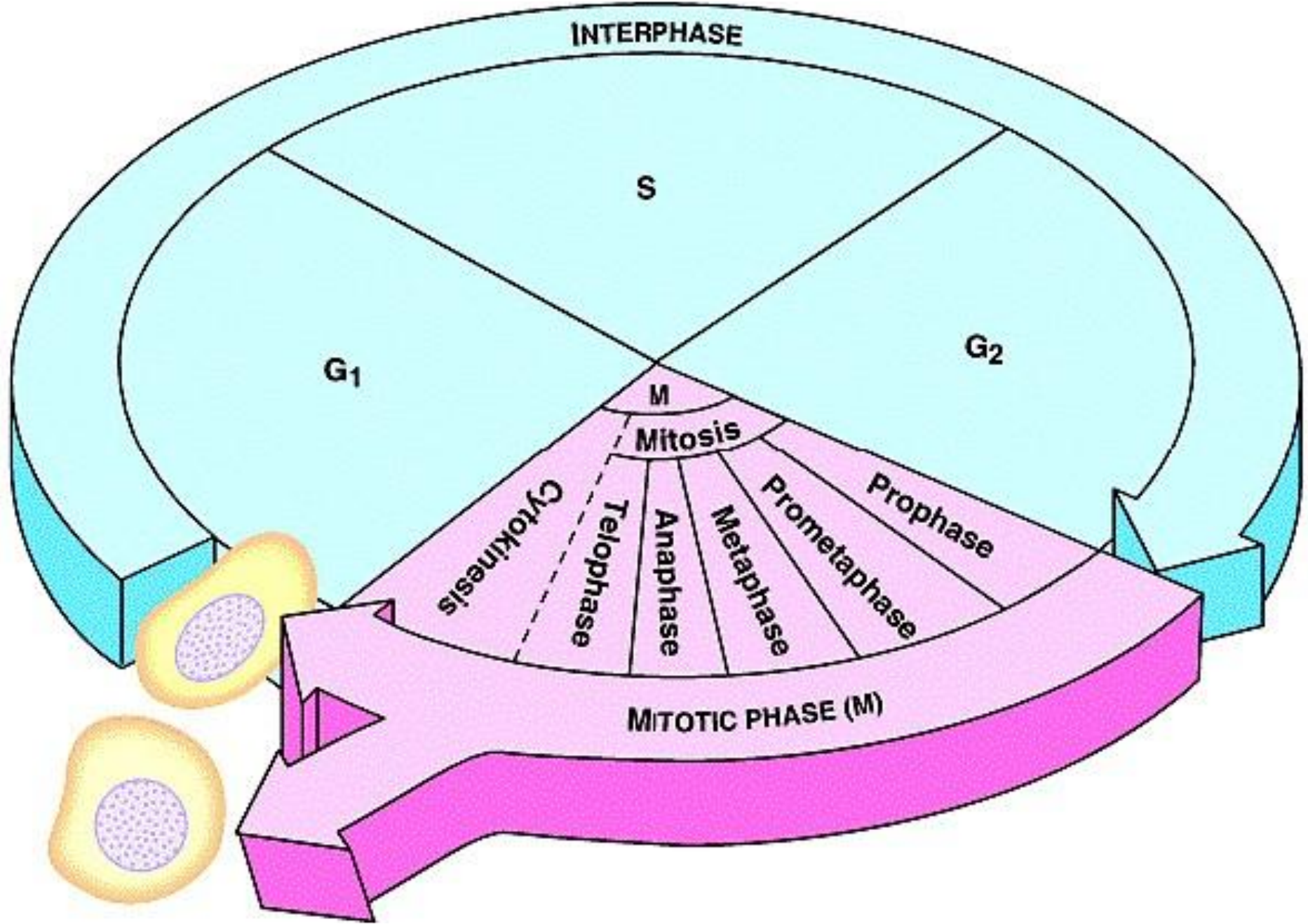


Разнообразие типов хромосом



Соотношение размеров хромосом. Красные линии демонстрируют длину хромосомы в масштабе. Для верхней группы масштабом является длинная зеленая линия, а для нижней группы — короткая. В обоих случаях длина масштабной линии соответствует двум миллионам пар нуклеотидов.



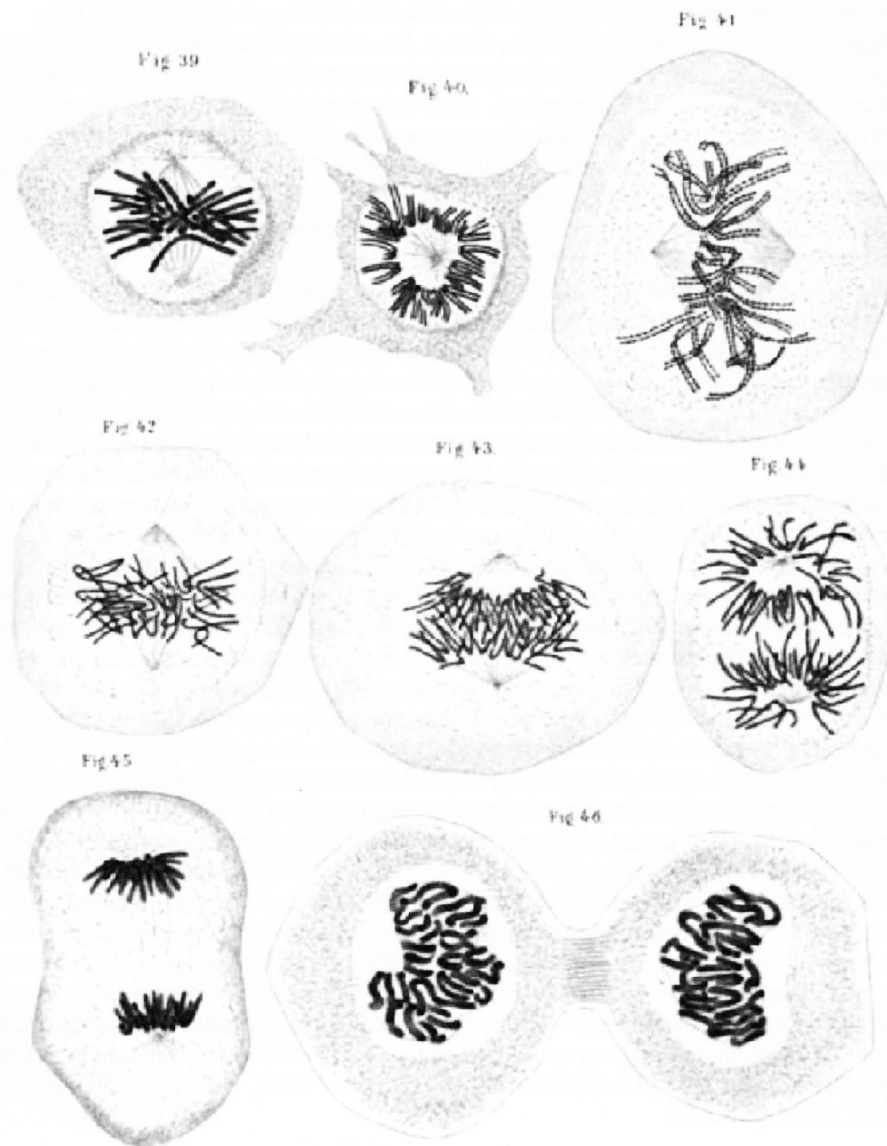
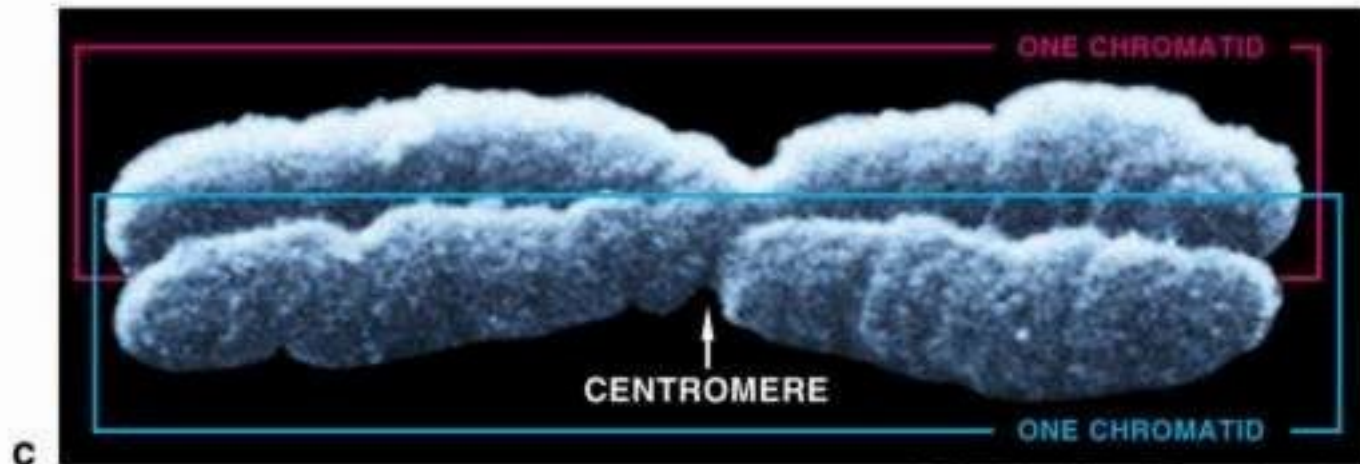
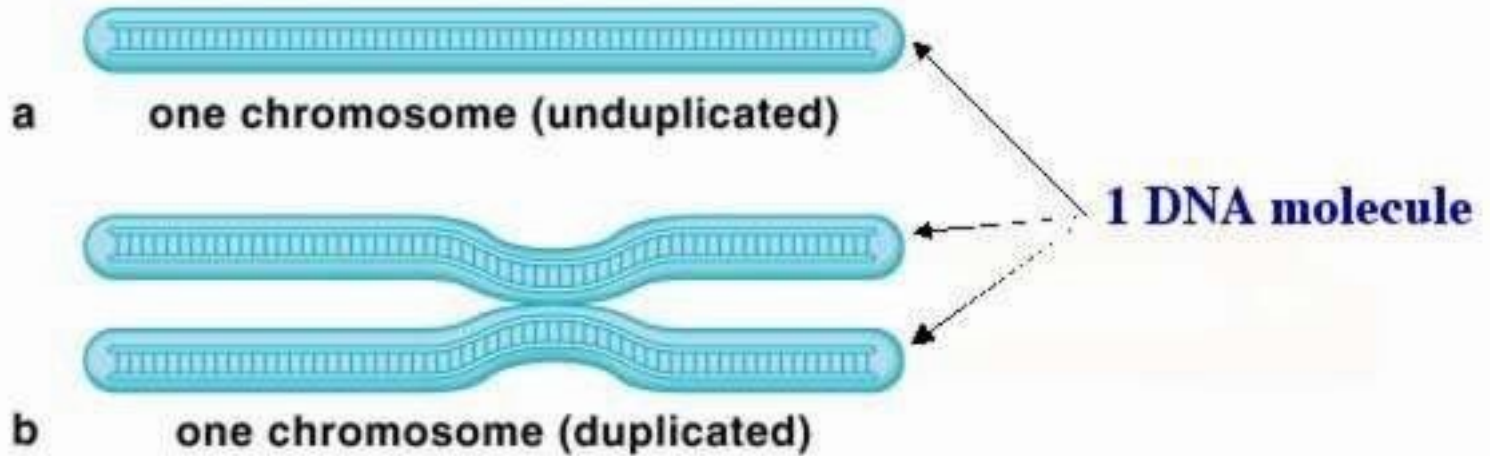


Рисунок из книги В. Флемминга (1882), изображающий разные стадии деления клетки эпителия саламандры

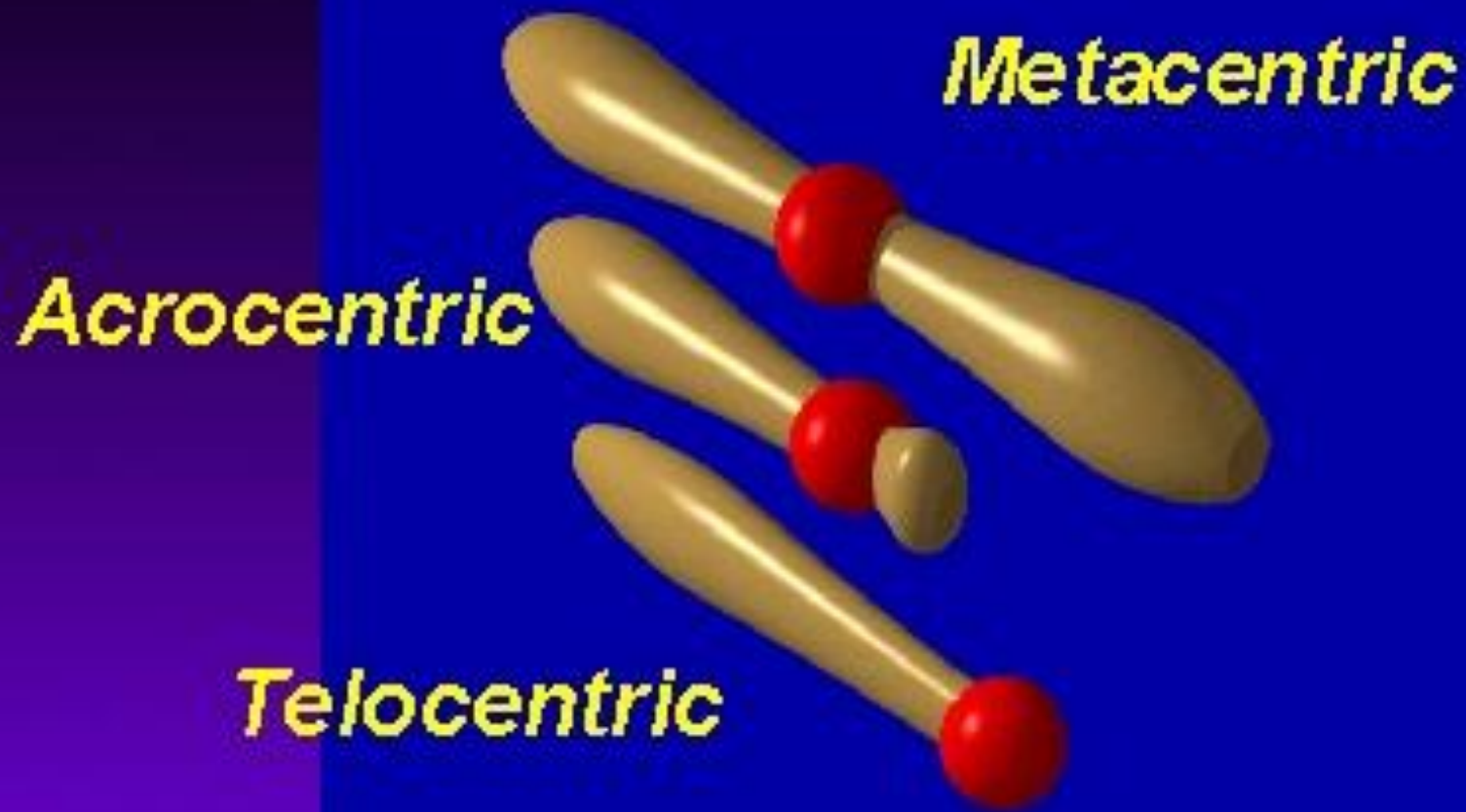
# Chromosomes are made of DNA molecules

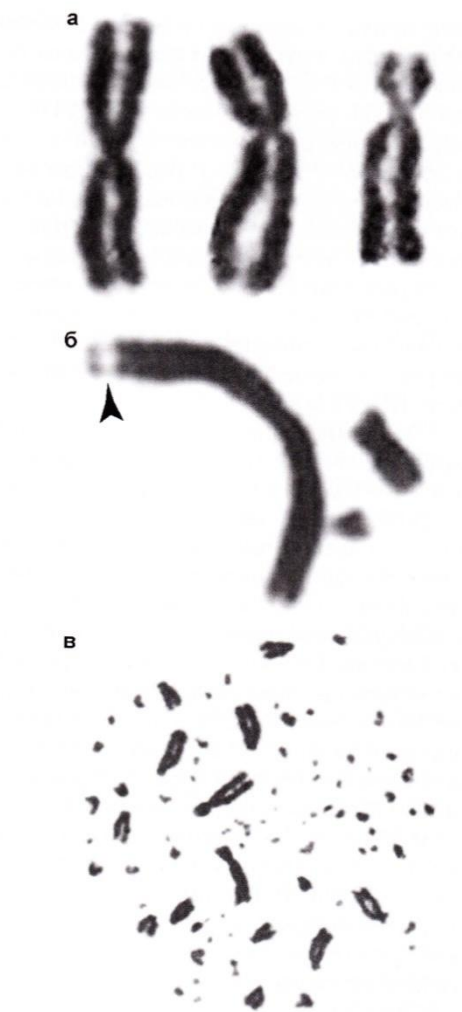




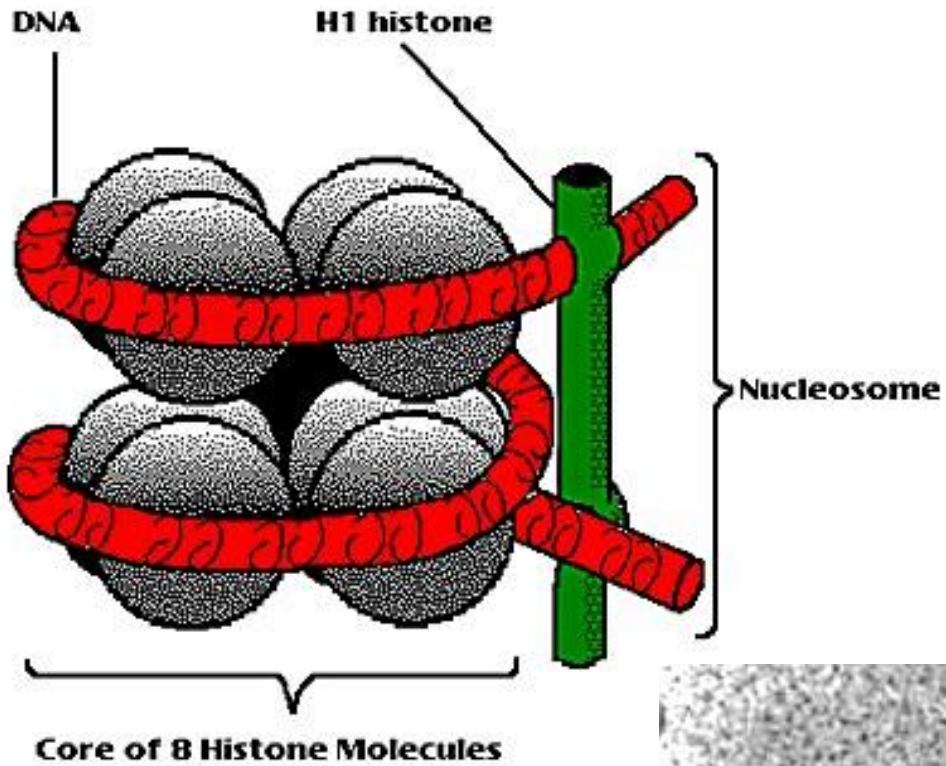
# Chromosome Types

---

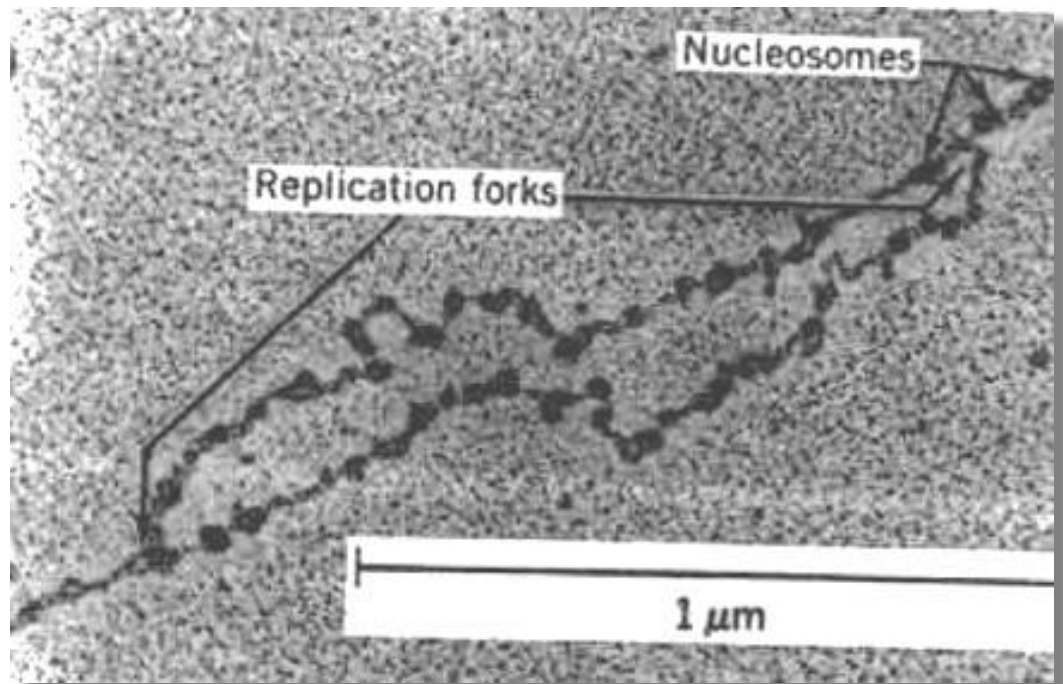
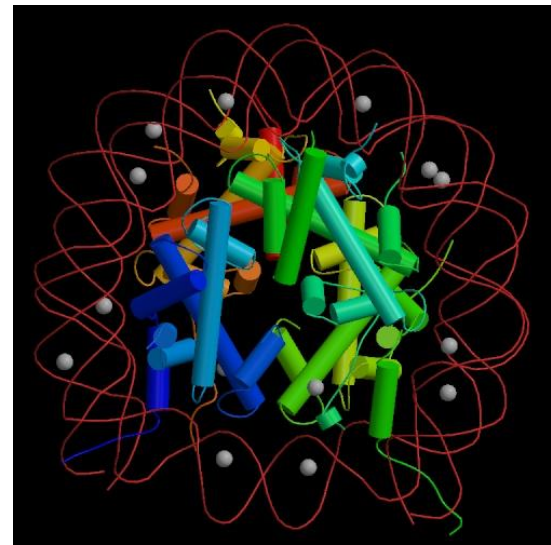




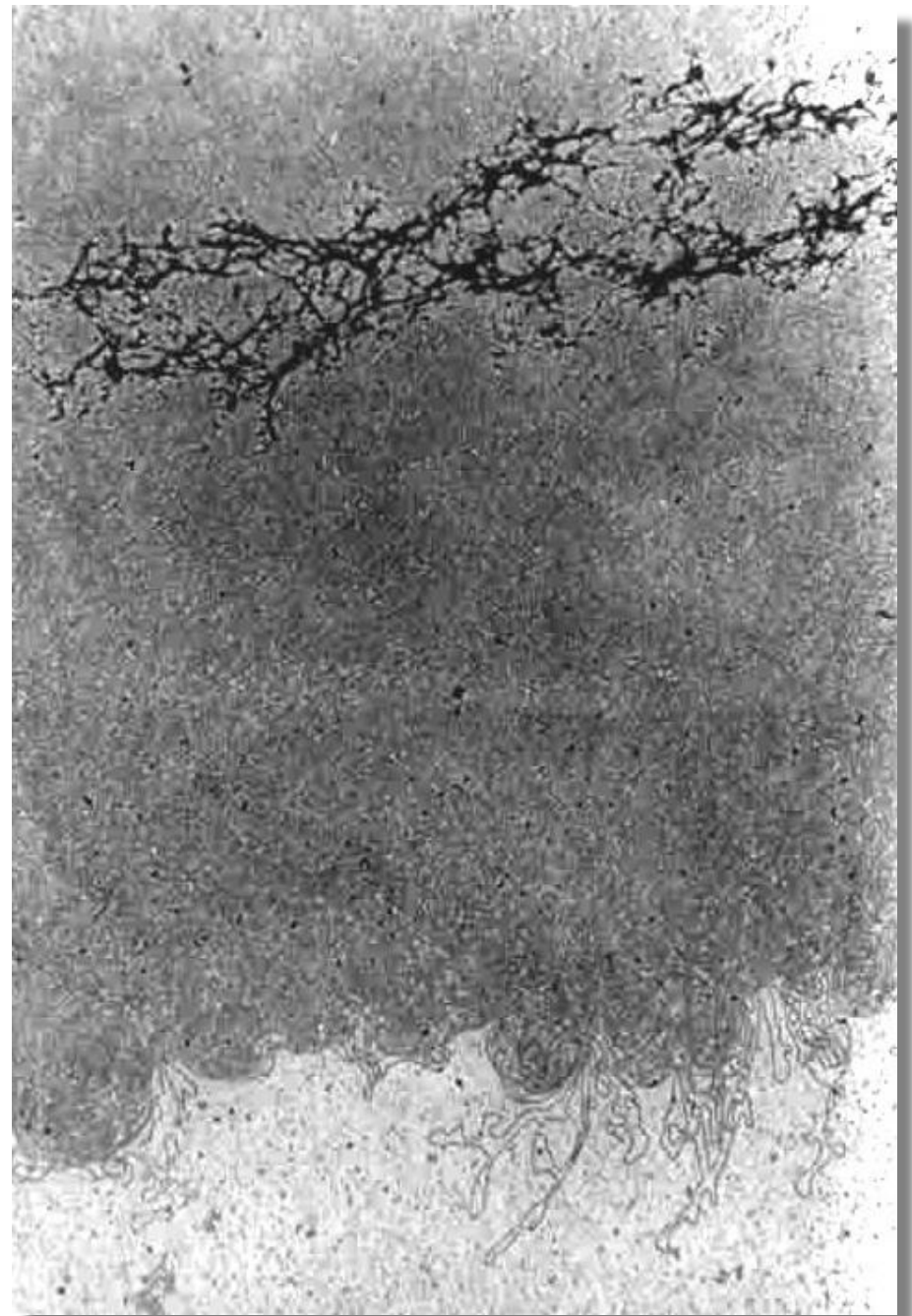
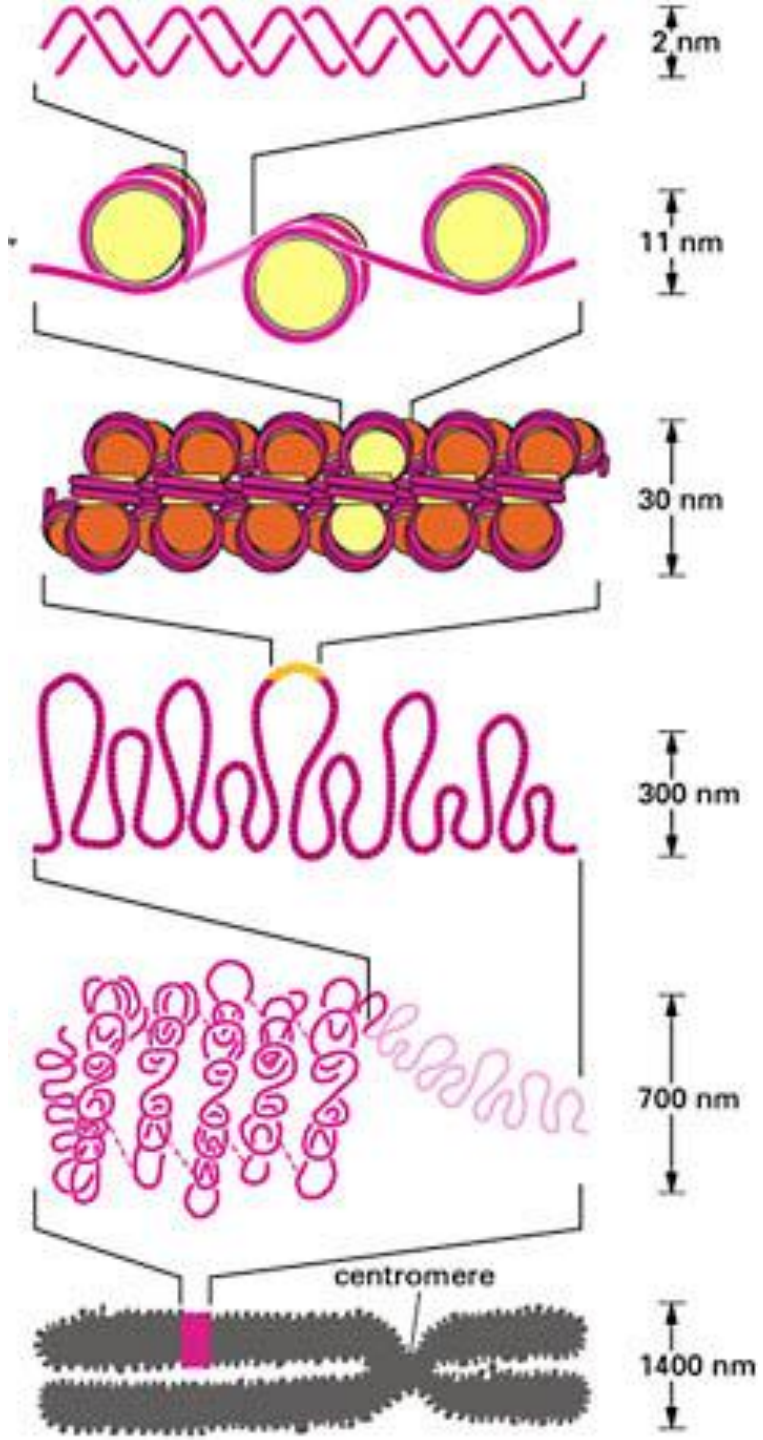
Классификация митотических хромосом по расположению центромеры (а): метацентрик (слева), субметацентрик (в центре) и ахроцентрик (справа). Спутник и вторичная перетяжка (указана стрелкой) на одной из хромосом обыкновенной гадюки (*Vipera berus*) (б). Макро- и микрохромосомы на метафазной пластинке серой вороны (*Corvus cornix*) (в). Фото предоставлены А. С. Графодатским (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск).



# Nucleosome







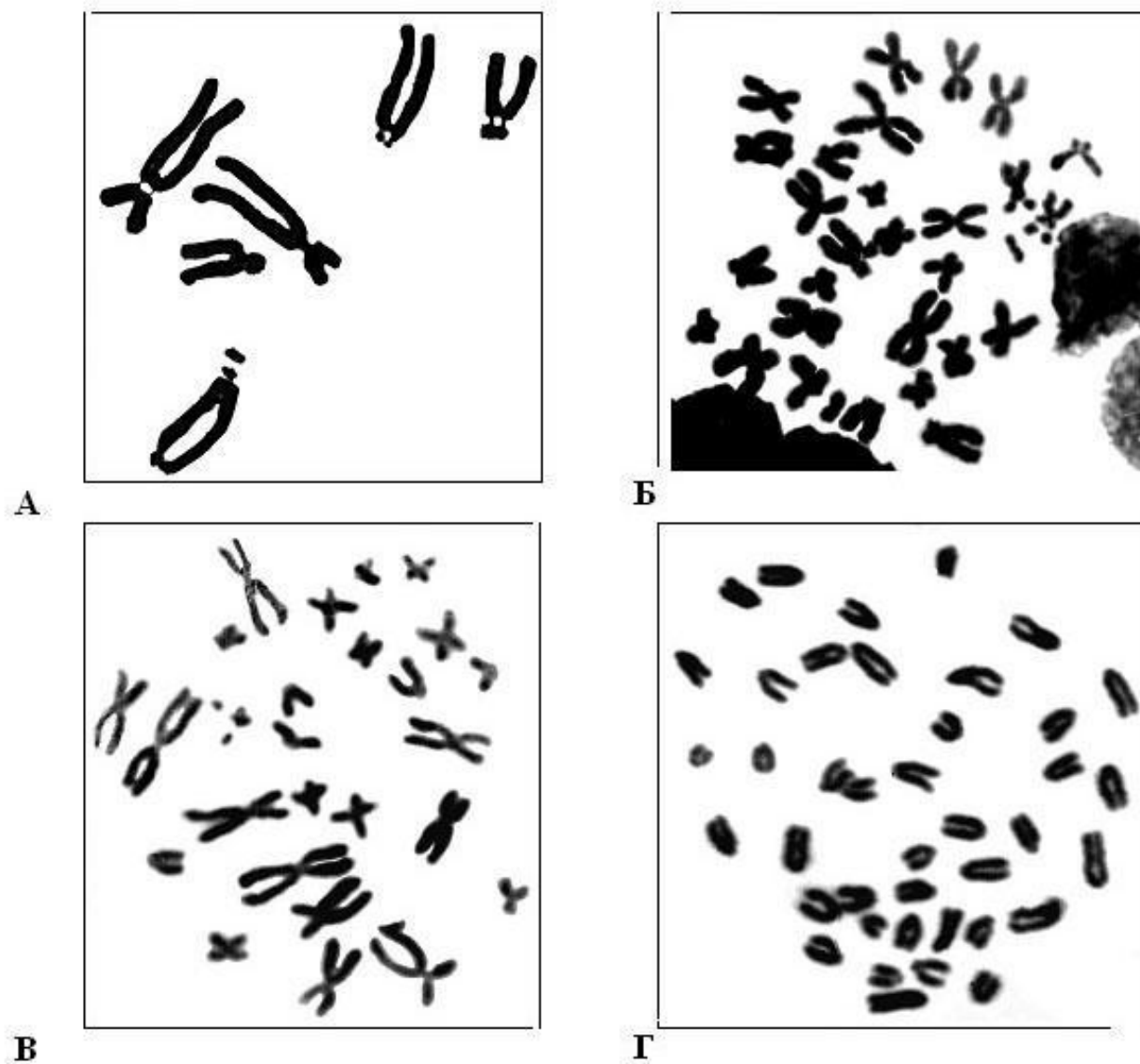
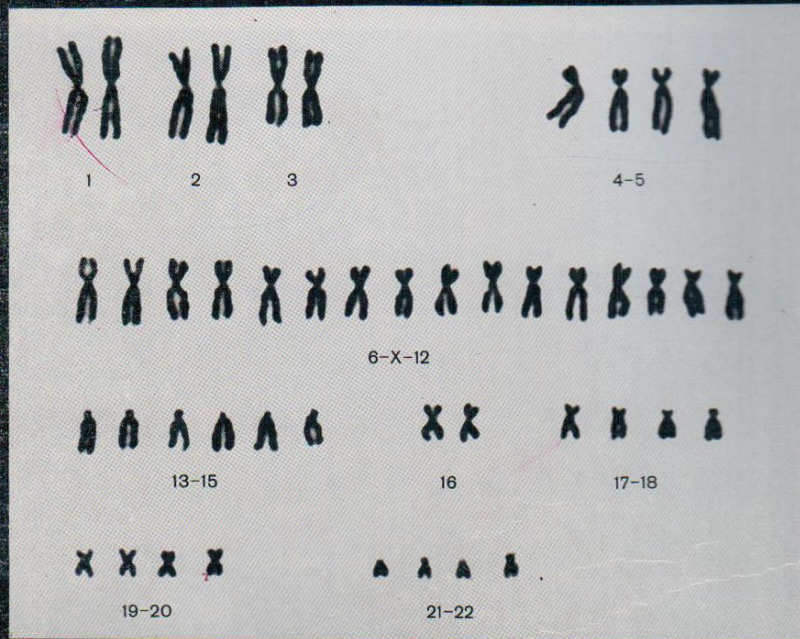
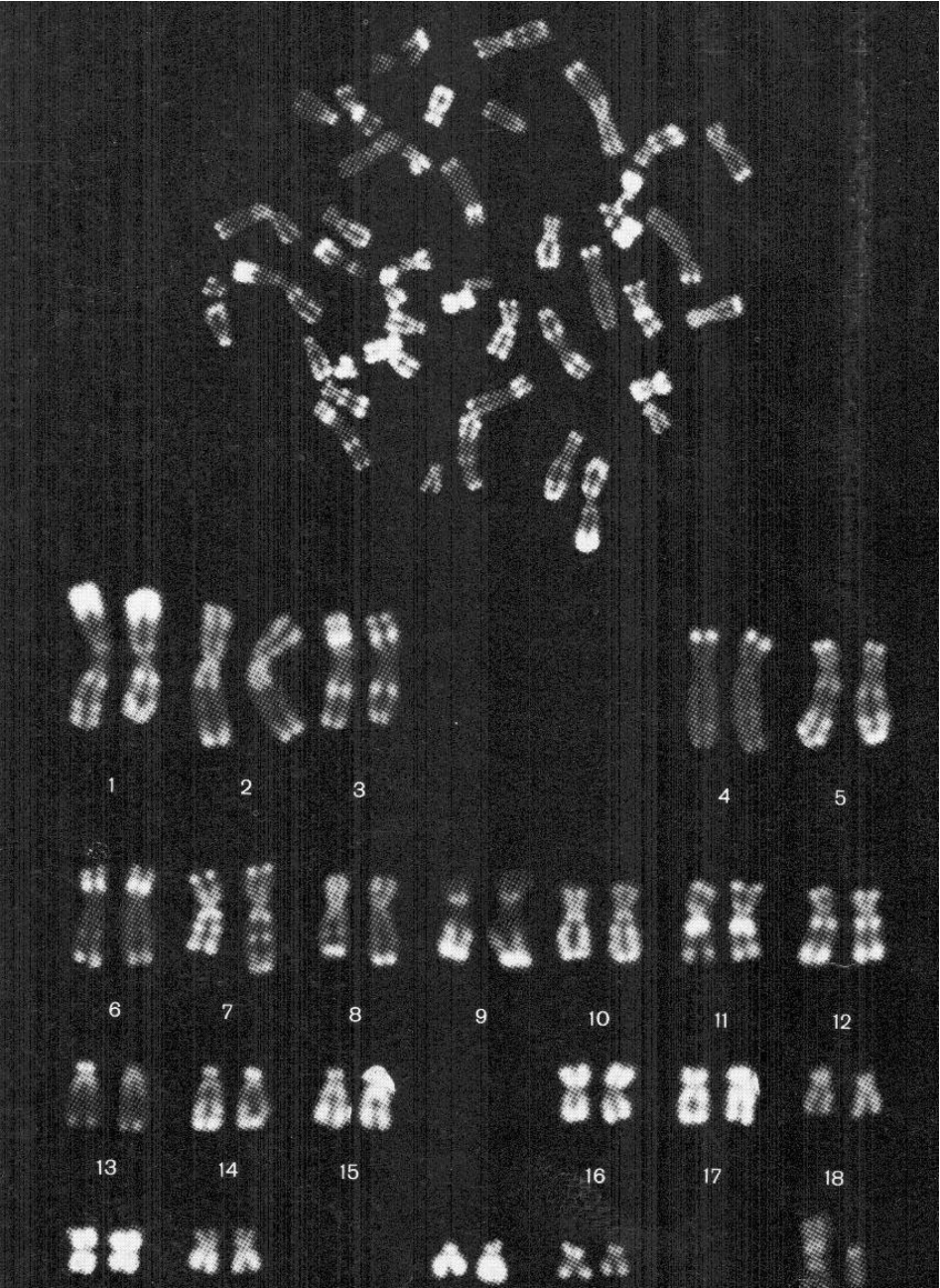


Рис.4. Примеры кариотипов: А – скерда (сорное растение); Б – норка,  
 В – лягушка, Г – мышь





Нормальный хромосомный набор женщины (46, XX), метафазная пластинка и раскладка хромосом.  
Возможна идентификация хромосом 1, 2, 3 и 16.



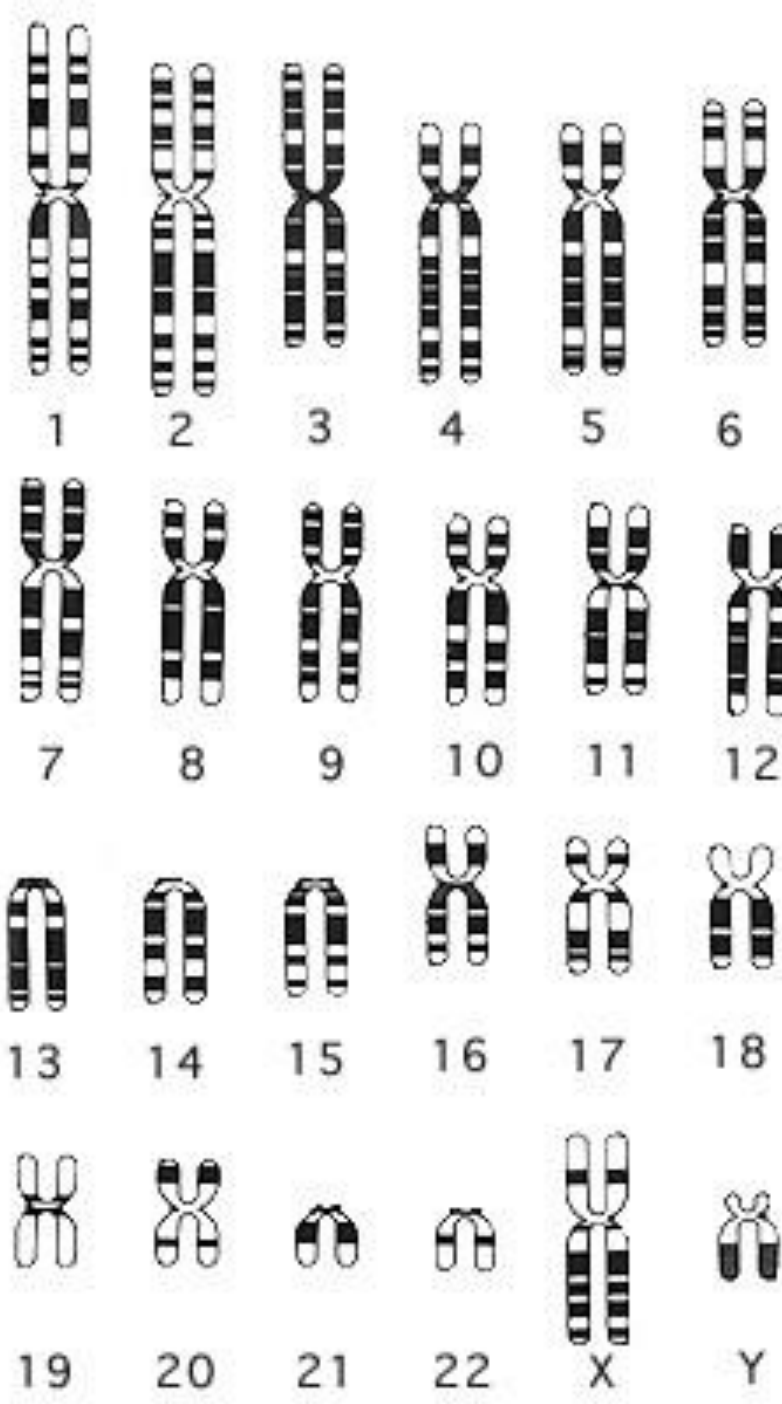


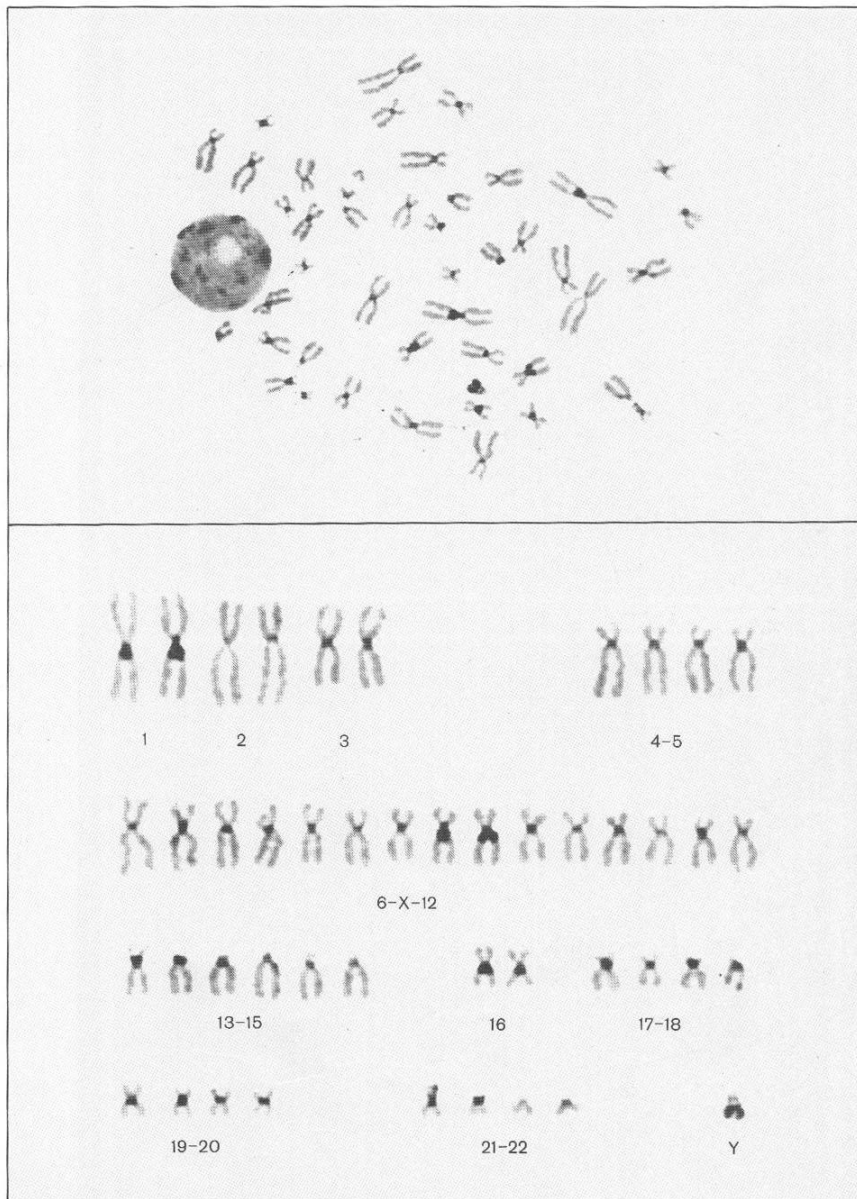


Дифференциальная G-окраска хромосом (46, XY) с использованием трипсина (см. приложение 4.2.3); метафазная пластинка и раскладка.



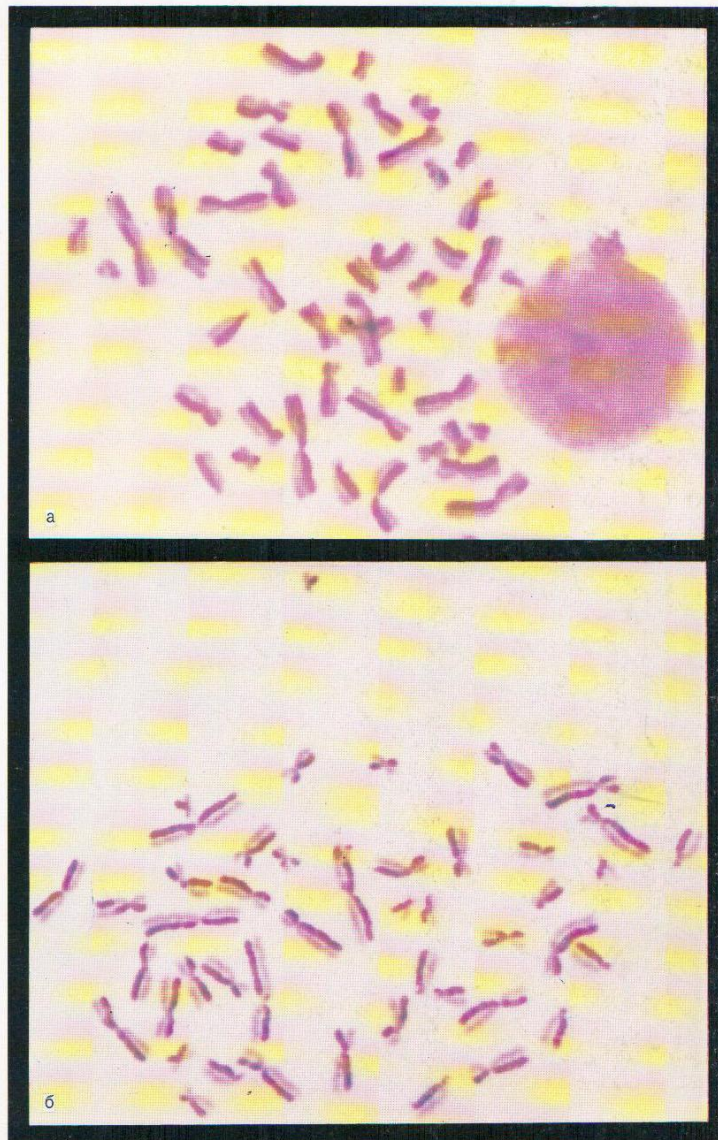
Дифференциальная G-окраска хромосом (46, XY) без предварительной обработки препаратов (см. приложение 4.2.1); метафазная пластинка и раскладка.



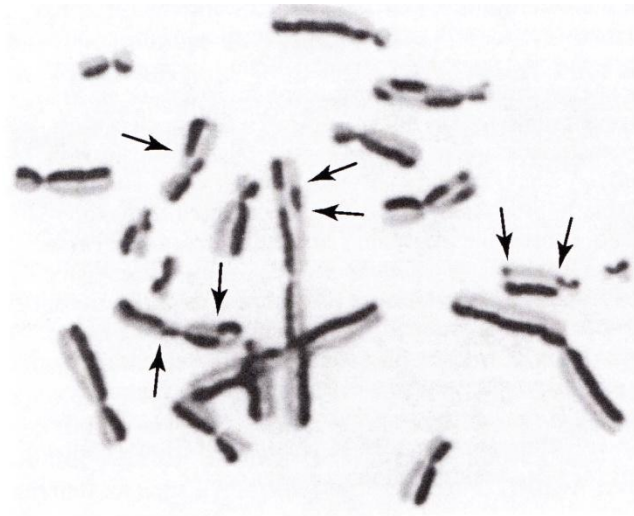


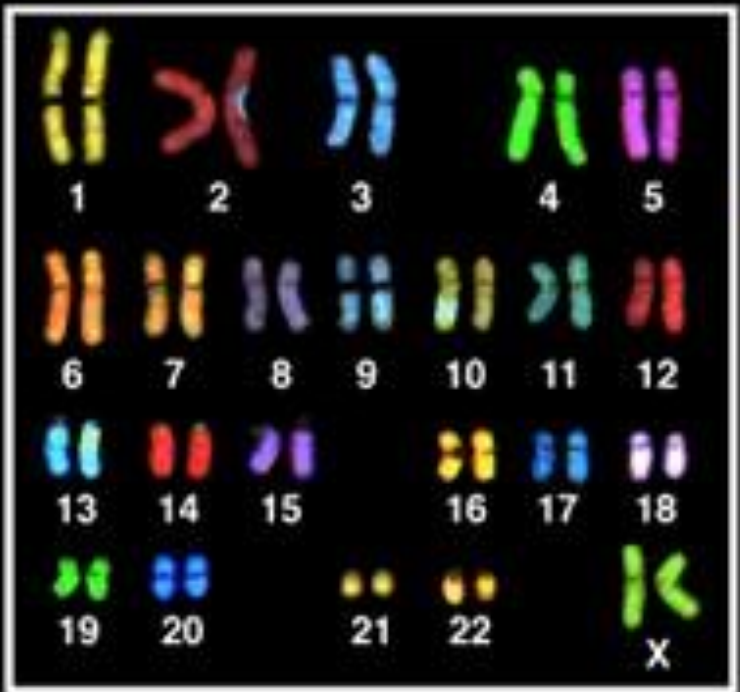
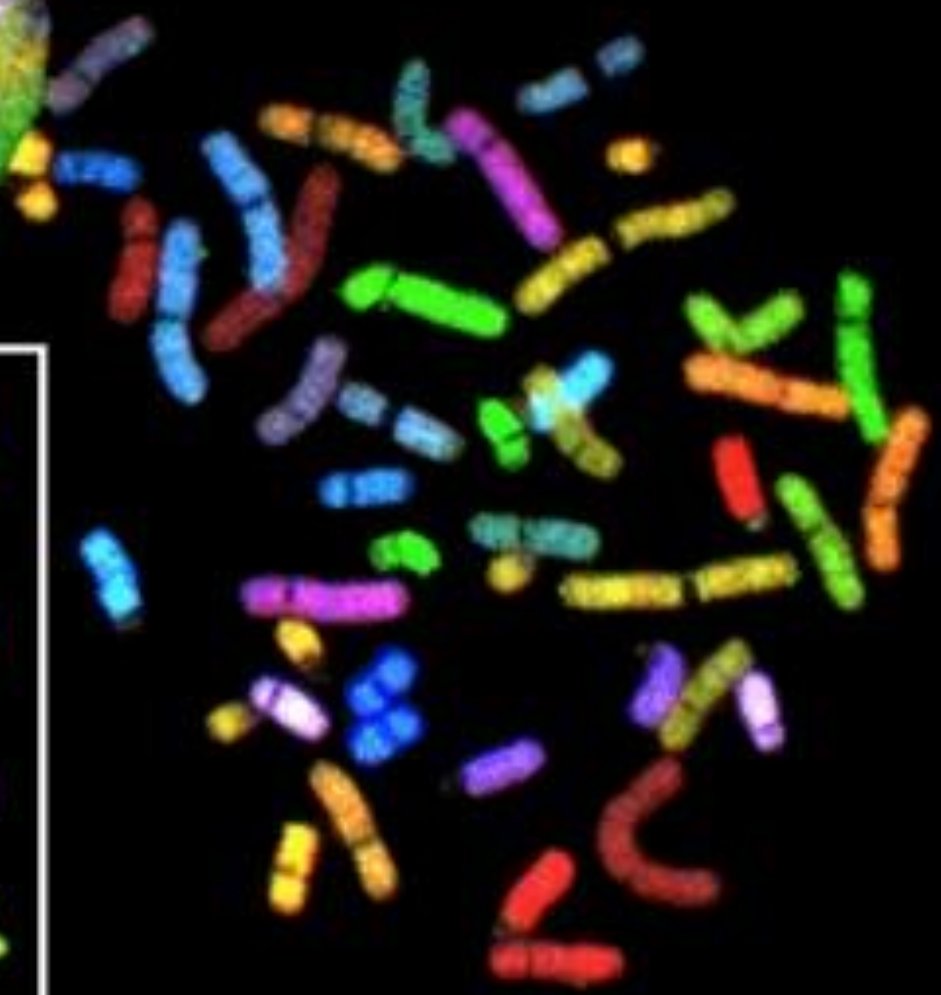
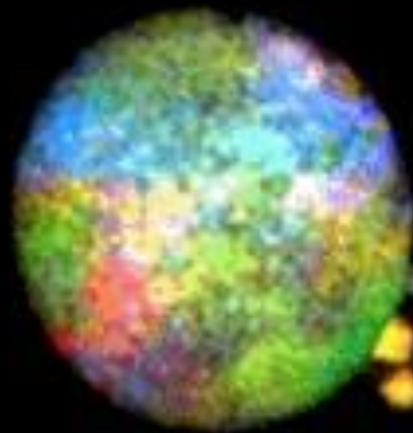
Дифференциальная С-окраска хромосом (46, XY) с использованием гидрата окиси бария и хлорида цезия (см. приложение 4.4.2); метафазная пластинка и раскладка хромосом.





Дифференциальная окраска сестринских хроматид при включении BrdU. Краситель Романовского-Гимзы.  
а – окраска с использованием термической обработки (см. приложение 5.2.4.); б – окраска с использованием флюорохрома Hoechst 33258 и УФ-облучения (см. приложение 5.2.3).

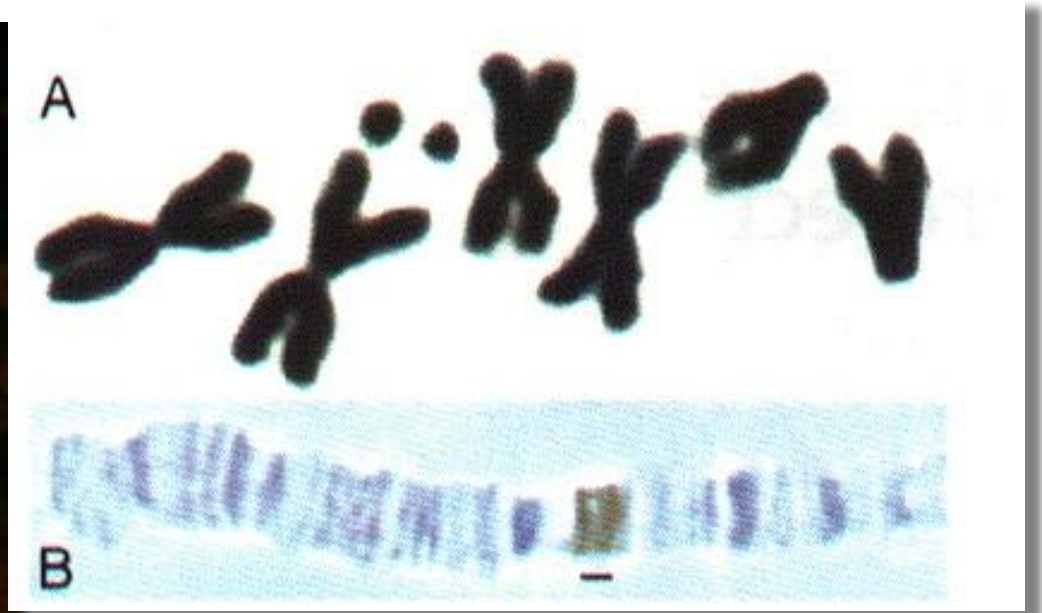
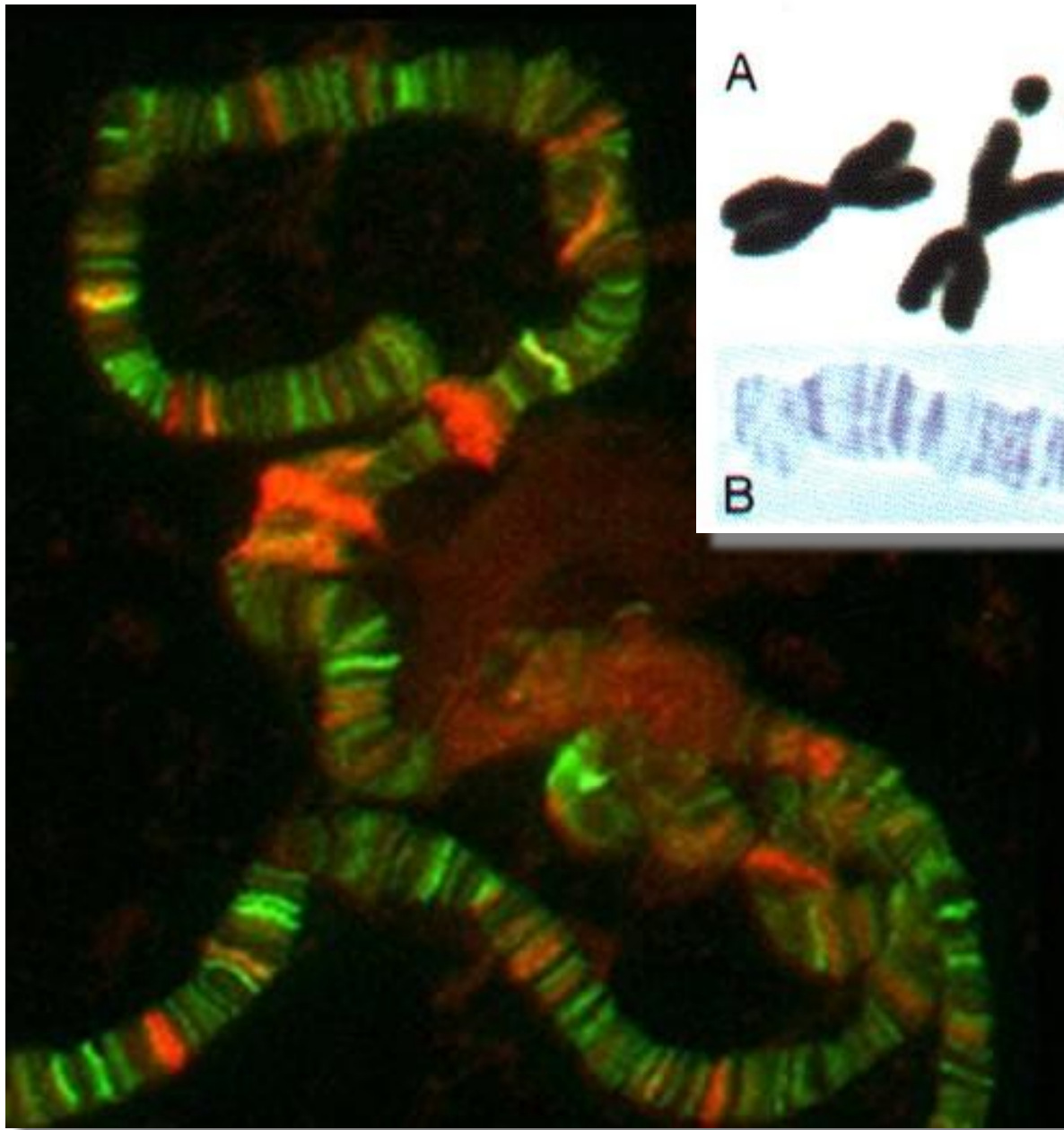


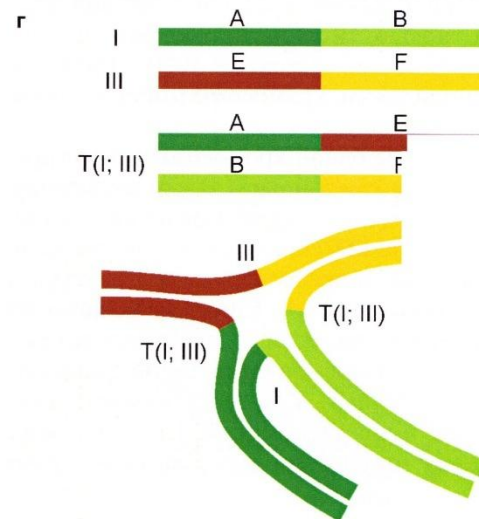
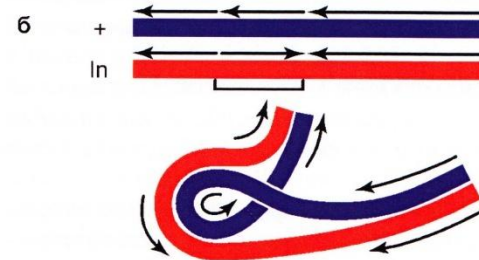




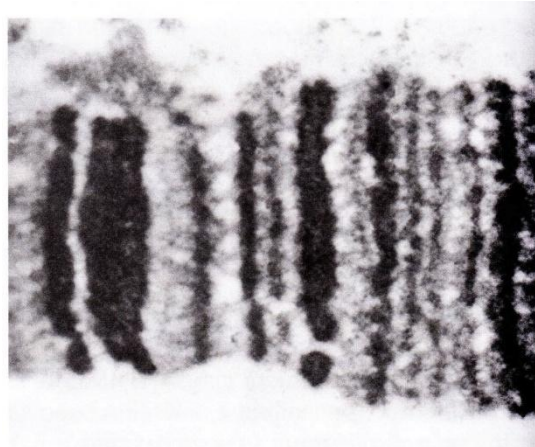
Метафазная пластинка человека, покрашенная с использованием метода Rx-FISH. Вверху видно интерфазное ядро (из [Ferguson-Smith, Trifonov, 2007])



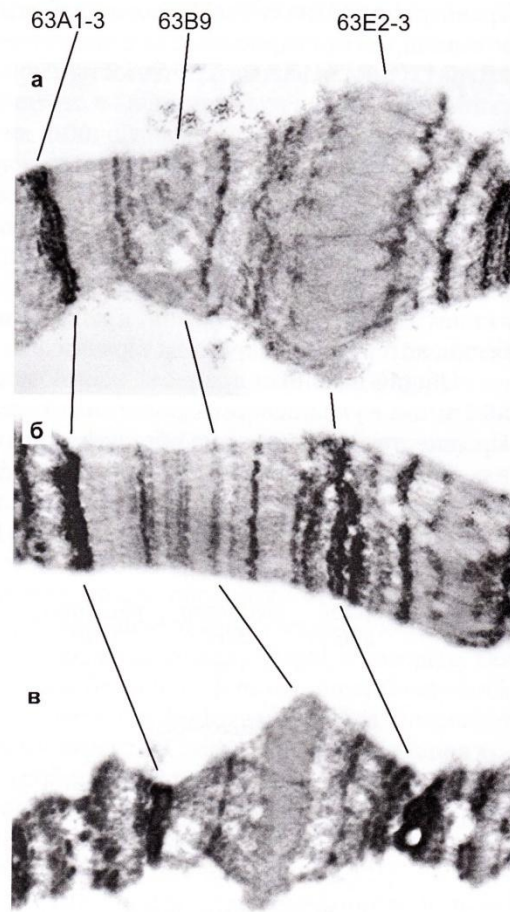




Петля в плече D хромосомы II у гетерозиготной особи *Chironomus cingulatus*, образовавшаяся благодаря инверсии (а). Схема, поясняющая фотографию (б). Нормальная хромосома показана синим цветом, а хромосома с инверсией — красным. Стрелки обозначают порядок генов на трех разных участках, инвертированный район обозначен скобкой. Крестообразная структура у гетерозиготной особи *Chironomus sp. prope agilis*, возникшая из-за реципрокной транслокации плеч между хромосомами I и III (в). Схема, поясняющая фотографию (г). Хромосома I состоит из плеч A и B, хромосома III из плеч E и F. В результате транслокации получается новая комбинация плеч: AE и BF. Фото предоставлены А. Г. Истоминой (а) и В. В. Гольгиной (в) (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск).

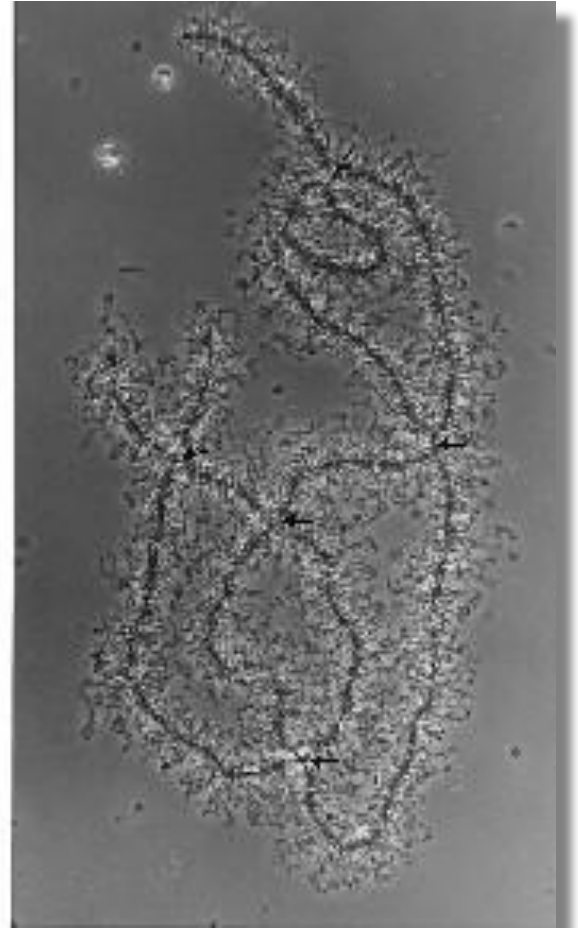
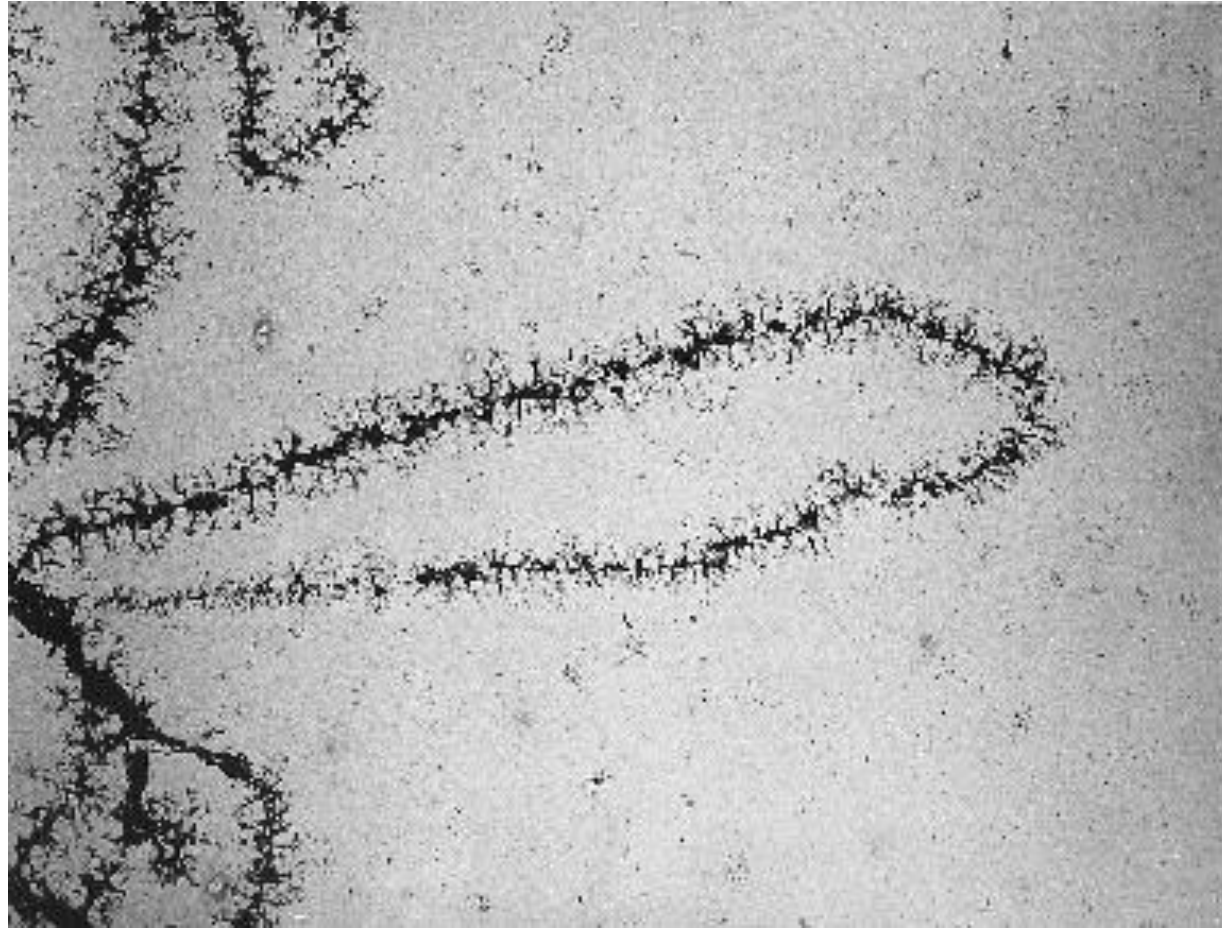


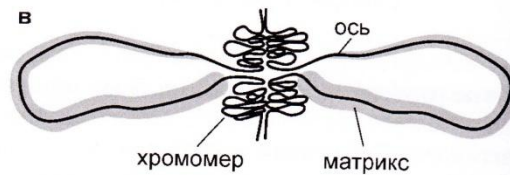
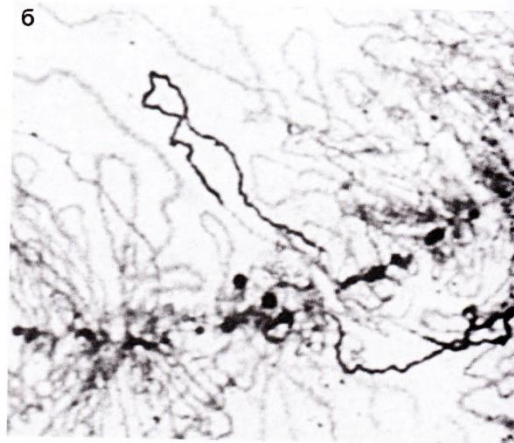
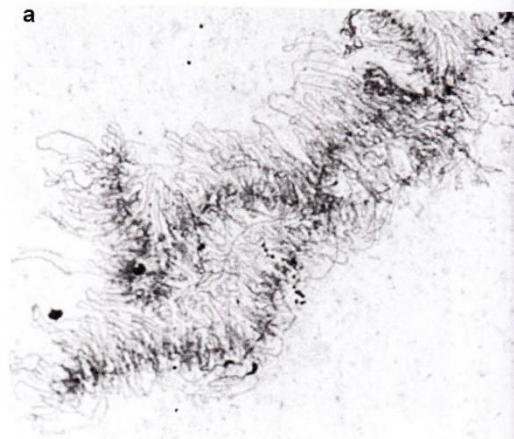
Электронно-микроскопический срез участка хромосомы 3R из слюнных желез личинок *D. melanogaster* с четким рисунком дисков и междисков. Фото предоставлено В. Ф. Семешиным (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск)



Электронно-микроскопический срез участка хромосомы 3L из слюнных желез личинок *D. melanogaster* с экдизоновым пухом (63E2-3) и пухом теплового шока (63B9). Хромосома без воздействия гормона экдизона или теплового шока (б); тот же участок хромосомы после обработки экдизоном (а) или воздействия тепловым шоком (в). В результате воздействий диски в определенных местах исчезают, а на их месте возникают пухи. Линии соединяют гомологичные районы. Фото предоставлены В. Ф. Семешиным (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск).



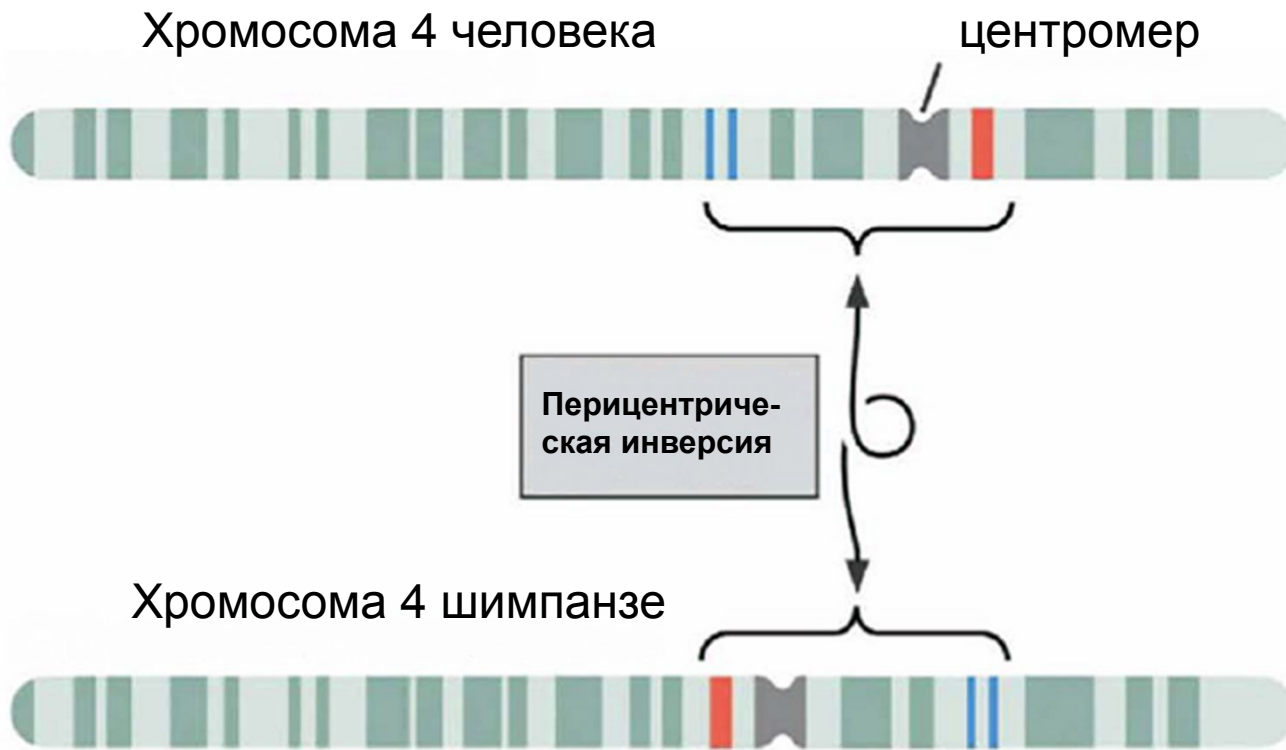




Фиксированные и окрашенные серебром хромосомы из ооцитов тритона *Triturus cristatus carnifex* (а). Хорошо видны крестообразные соединения гомологов и множество петель. Часть хромосомы при большом увеличении (б). Видны плотные темные хромомеры и петли. Схема организации хромосомы ЛЩ (в) (из [Morgan, 2002]).



Сравнительные исследования геномов человека и шимпанзе показывают, что некоторые их хромосомы отличаются лишь по наличию перичентрических инверсий







Раскладки хромосом человека, после рутинной окраски (а), G-бэндинга (б), R-бэндинга (в) и С-бэндинга (г). На фото а, б и г даны раскладки отдельных метафазных пластинок, на фото в представлены хромосомы разной степени конденсации из разных ядер. Фото а, в и г предоставлены А. С. Графодатским (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск). Фото б предоставлено D. McDonald и T. Knight (Fred Hutchinson Cancer Research Center, Seattle, WA, USA).

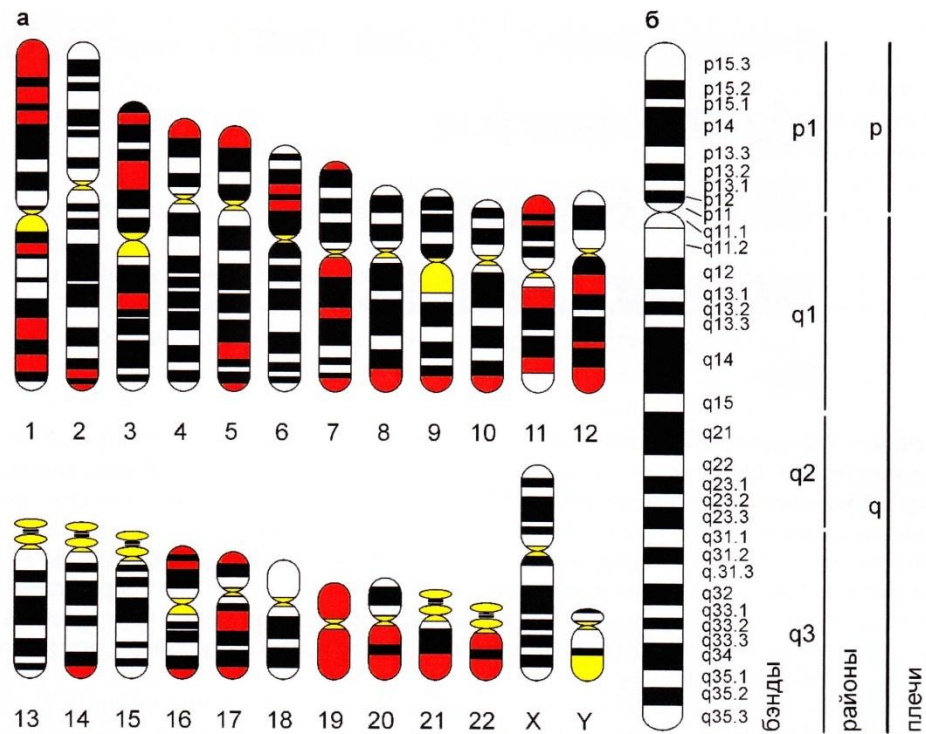
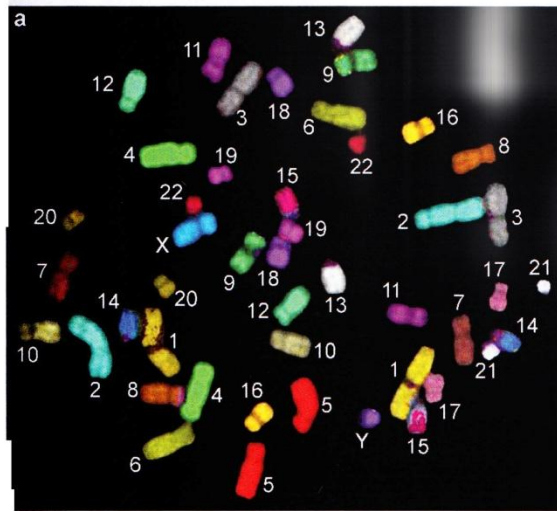







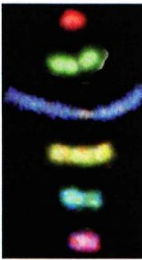
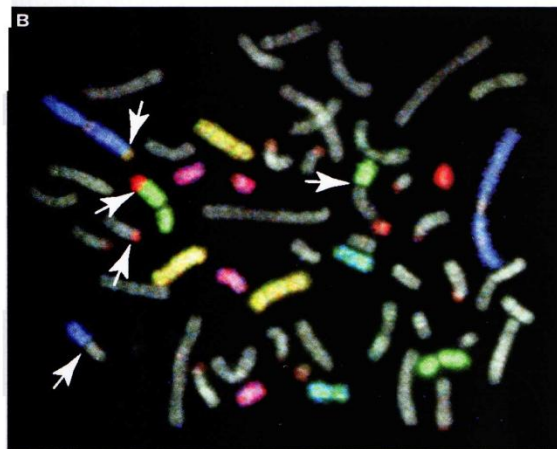


Схема кариотипа человека (а). Черный цвет соответствует G-бэндам, красный — T-бэндам, желтый — C-бэндам. Хромосомы 13, 14, 15, 21 и 22 имеют спутники на коротких плечах. Хромосома 5 (б). а — низкое разрешение, б — высокое.

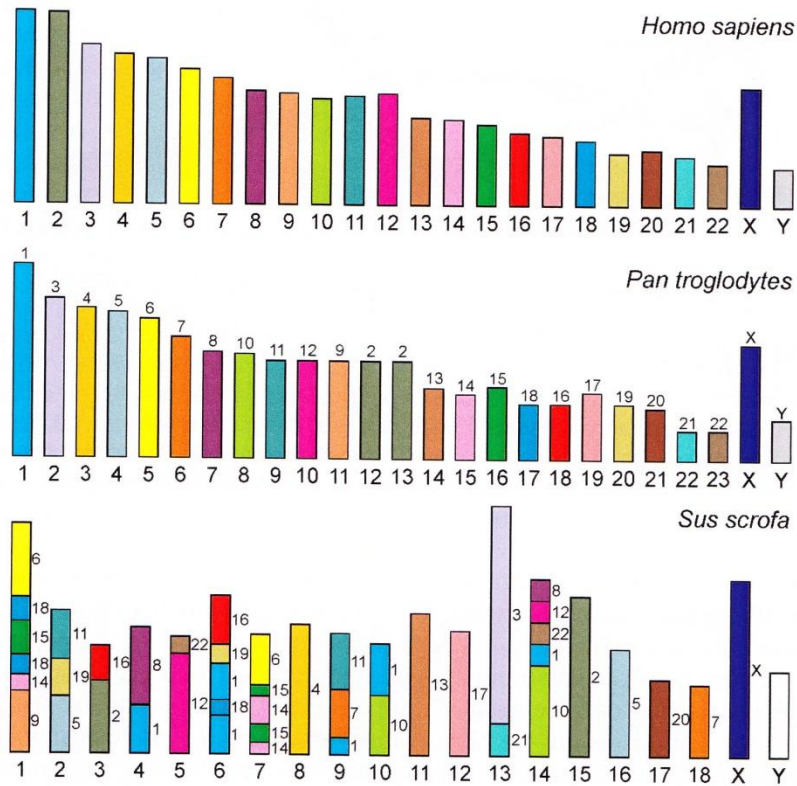


**б**

флуорохром		псевдоцвет	хромосома
	1	→ 1	22
	2	→ 2	9
	3	→ 3	1
	1 + 2	→ 4	8
	2 + 3	→ 5	17
	1 + 3	→ 6	19
	1 + 2 + 3	→ 7	

FISH с использованием 24 хромосомо-специфичных библиотек человека на хромосомную пластинку с нормальным кариотипом ( $2n = 46, XY$ ) (а). Цифры обозначают номера хромосом (фото из Интернет-ресурса [www.metasystems.de](http://www.metasystems.de)). Схема, объясняющая использование трех флуорохромов для FISH на фото в, дающих семь псевдоцветов для шести хромосом (одна комбинация не использована) (б). Хромосомы из культуры клеток хронической миелоидной лейкемии, несущих множество транслокаций (указаны стрелками) (в) (фото из Интернет-ресурса [www.chrombios.com](http://www.chrombios.com)).



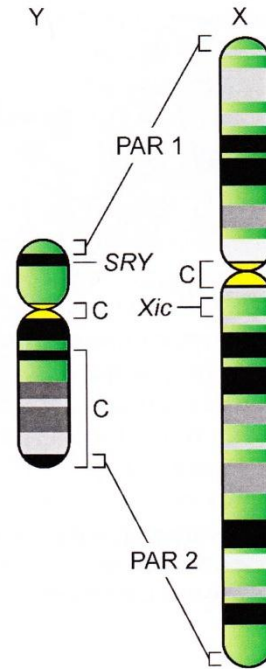
Сравнение хромосом человека (*Homo sapiens*) с близким видом (шимпанзе, *Pan troglodytes*) и далеким видом (свинья, *Sus scrofa*). Каждой хромосоме человека присвоен свой цвет, а цвета хромосом или их фрагментов у шимпанзе и свиньи показывают, какой хромосоме человека они соответствуют. Мелкие цифры над хромосомами шимпанзе и справа от хромосом свиньи указывают номера ортологичных хромосом человека. Под хромосомами указана их нумерация для каждого вида.

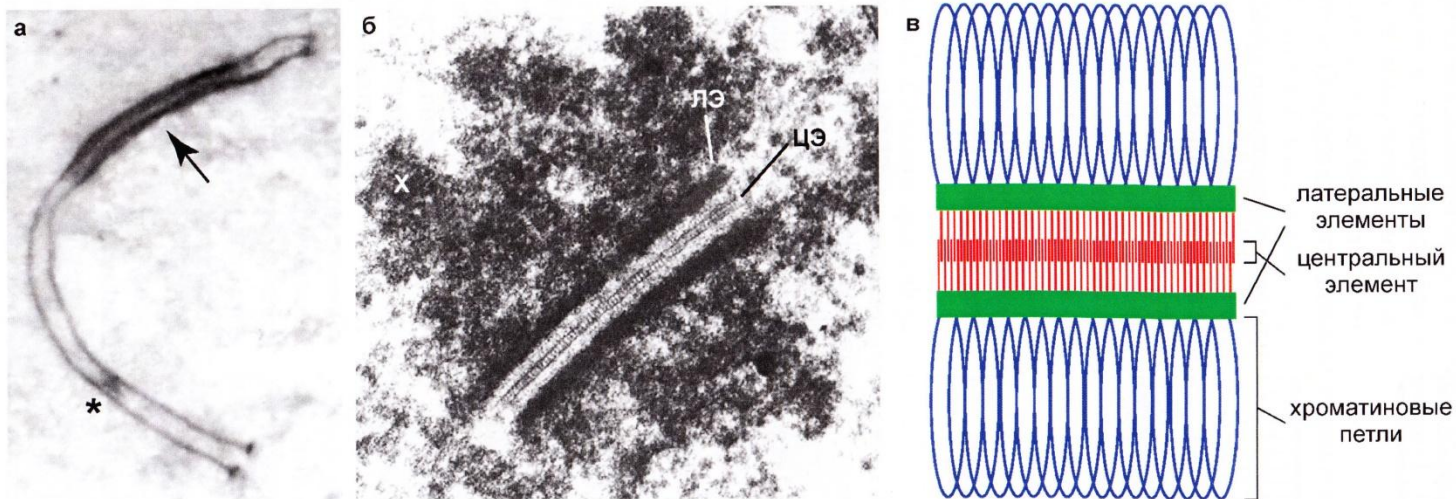




Банкнота в 50 австралийских долларов с изображением ДНК и политенных хромосом (указаны красной стрелкой на нижнем фото)

Схема X- и Y-хромосом человека. Линии соединяют гомологичные псевдоаутосомные районы (PAR); гетерохроматиновые районы X- и Y-хромосом, окрашивающиеся С-методом, обозначены буквами С; *SRY* — ген, определяющий формирование мужского пола (подробнее в разделе 13.3); *Xic* — сайт, в котором начинается инактивация X-хромосомы (подробнее в разделе 14.1). Половые хромосомы большинства исследованных млекопитающих (кроме некоторых грызунов) имеют по одному PAR, и только половые хромосомы человека несут по два PAR. Состав генов в PAR сильно варьирует между видами.



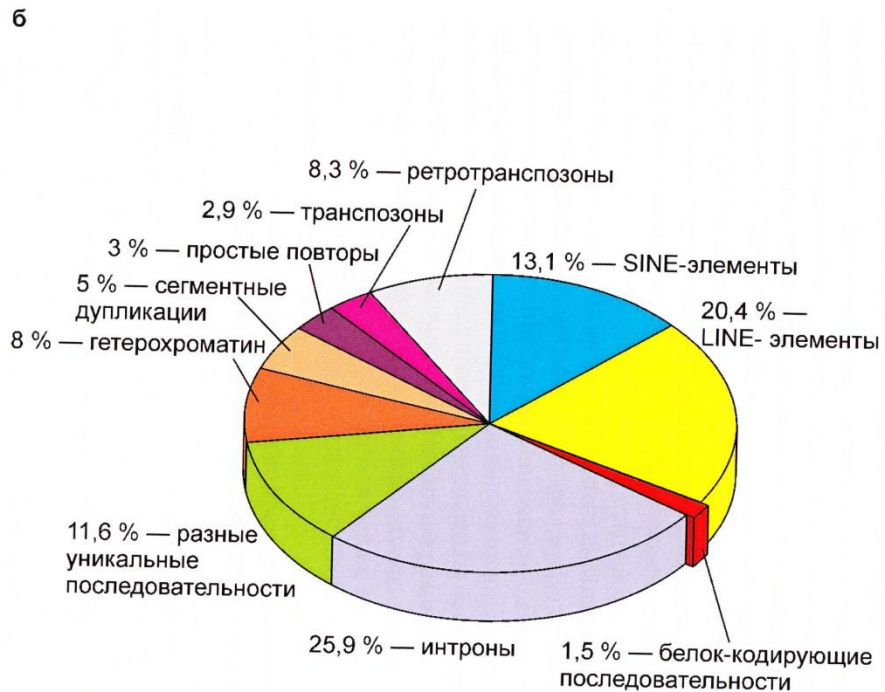
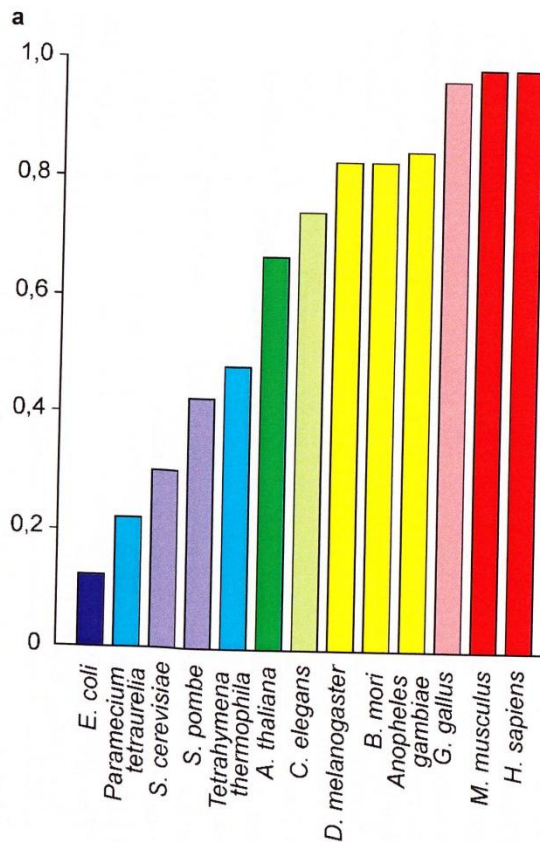


Бивалент одной из аутосом самца южноафриканского таракана *Blaberus giganteus* на стадии пахитены (а). Хромосомы были распластаны на поверхности раствора сахарозы и окрашены азотнокислым серебром, фото сделано в электронном микроскопе. Отчетливо видны синаптонемный комплекс в виде двух черных линий и серое облако петель хроматина. Звездочка указывает на рекомбинационный узелок, а стрелка — на район прицентромерного гетерохроматина. На концах хромосом видны теломерные узелки. Электронно-микроскопический срез через бивалент у таракана *B. giganteus* при большом увеличении (б). ЛЭ — латеральный элемент, ЦЭ — центральный элемент, Х — хроматиновые петли. Схема синаптонемного комплекса (в). Зеленым цветом обозначены пары хроматид, которые совместно с когезинами, SYCP3, SYCP2 и другими белками образуют по одному латеральному элементу. Красным цветом обозначены молекулы белка SYCP1, который образует центральный элемент. Фото предоставлены Л. В. Высоцкой и О. А. Агаповой (Новосибирский государственный университет).

Массы гаплоидных геномов различных организмов  
(данные из Интернет-ресурса [www.genomesize.com](http://www.genomesize.com))

Организм	Масса, пг
Самые маленькие геномы:	
нематода <i>Pratylenchus coffeae</i> (среди беспозвоночных и всех животных)	0,02
рыба <i>Tetraodon fluviatilis</i> (среди рыб)	0,35
лягушка <i>Limnodynastes ornatus</i> (среди земноводных)	0,95
фазан <i>Phasianus colchicus</i> (среди птиц)	0,97
ящерица <i>Chalcides mionecton</i> (среди рептилий)	1,05
летучая мышь <i>Miniopterus schreibersi</i> (среди млекопитающих)	1,73
Самые большие геномы:	
страус <i>Struthio camelus</i> (среди птиц)	2,16
черепаха <i>Testudo graeca</i> (среди рептилий)	5,44
грызун <i>Thomomys barrerae</i> (среди млекопитающих)	8,40
бокoplав <i>Ampelisca macrocephala</i> (среди многоклеточных беспозвоночных)	64,62
саламандра <i>Necturus lewisi</i> (среди земноводных)	120,60
двоякодышащая рыба <i>Protopterus aethiopicus</i> (среди рыб и всех позвоночных)	132,83
<i>Amoeba proteus</i> (простейшие)	300
<i>Amoeba dubia</i> (простейшие)	700
Человек <i>H. sapiens</i>	3,50





Гистограмма, отражающая долю белок-некодирующей ДНК в общей длине генома, у некоторых видов организмов (а). Разные таксоны обозначены цветом: синий — бактерия, голубой — инфузории, фиолетовый — грибы, темно-зеленый — растение, светло-зеленый — круглый червь, желтый — насекомые, розовый — птица, красный — млекопитающие. Доля разных типов последовательностей в составе генома человека (б) (из [Taft et al., 2007] (а) и [Gregory, 2005] (б)).

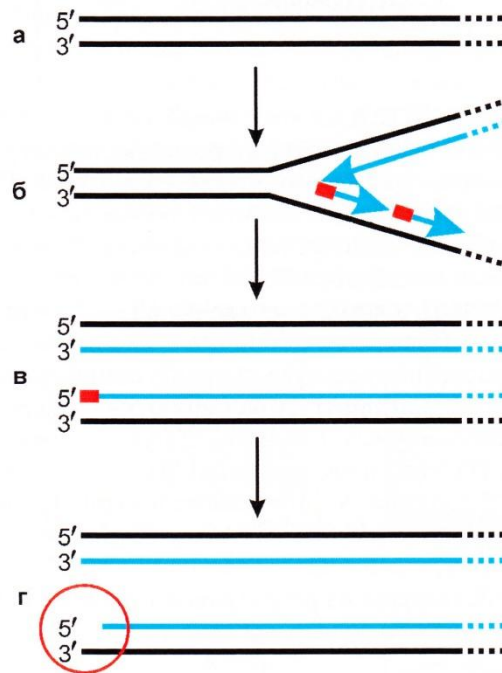


Схема репликации ДНК в теломерном участке хромосомы. Двойная спираль ДНК до репликации (**а**). Процесс репликации; новые цепи ДНК обозначены голубым цветом, а РНК-затравки — красным (**б**). Завершение репликации (**в**). Удаление самой крайней затравки и образование одноцепочечного фрагмента (обведен красным кругом) из-за укорочения одной из новых цепей ДНК (**г**).

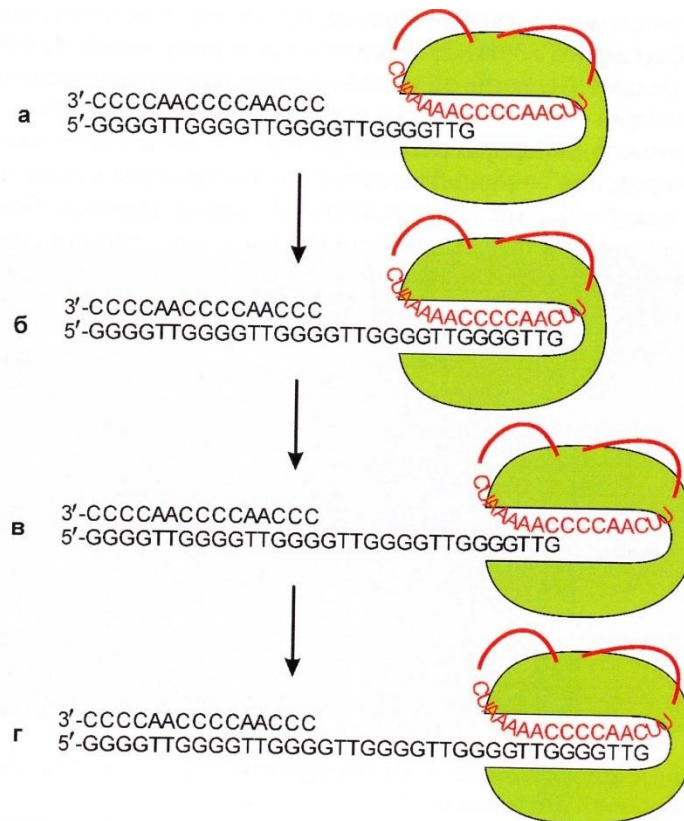
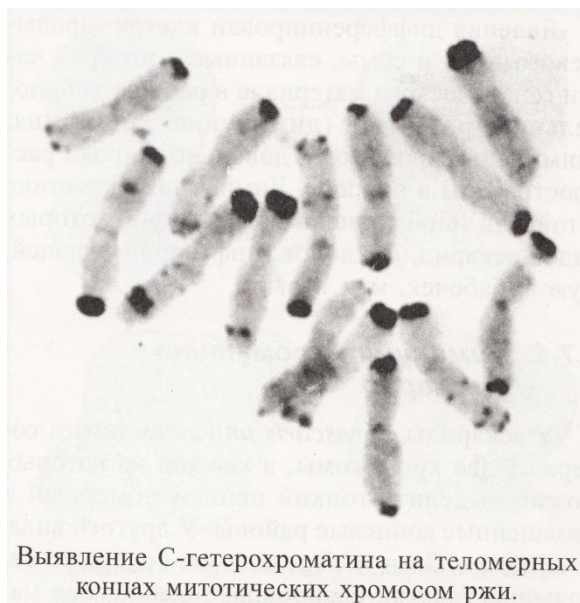


Схема работы теломеразы. Зеленым цветом изображена обратная транскриптаза TERT, красными — теломеразная РНК TR.

- В интерфазном ядре индивидуальные хромосомы занимают непрерывающиеся пространства, которые называют хромосомными территориями.
- Существуют определенные закономерности в расположении интерфазных хромосом внутри клеточного ядра. В сферических ядрах богатые генами хромосомы располагаются ближе к центру ядра, а бедные генами хромосомы – ближе к периферийной части ядра.
- Хромосомные территории построены из блоков в 1 млн п. н. и имеют «губчатый» характер.
- Между хромосомными территориями имеется пространство, которое называют интерхроматиновым доменом. Интерхроматиновый домен сочленяется с «каналами», пронизывающими хромосомные территории.
- Некоторые наиболее активно транскрибирующиеся гены выпетливаются за видимые границы хромосомных территорий.





Выявление С-гетерохроматина на теломерных концах митотических хромосом ржи.