



# *Понимание биологии*

*Почему при изучении биологии игнорируются фундаментальные модели, отвечающие на ряд очевидных вопросов?*



*Часть первая: стабилизирующая и эволюционная роль полового размножения.*

Есть немало очевидных вопросов, ответы на которые по сути даны, но игнорируются в биологическом образовании или даются неверные ответы. Например:

- Почему живые системы организованы в виде организмов и видов?
- Всегда ли есть чёткое разграничение организма и вида?
- Почему такой ресурсозатратный процесс, как половой, является обязательным атрибутом эукариот?
- Почему все организмы смертны?
- И многие другие очевидные вопросы...

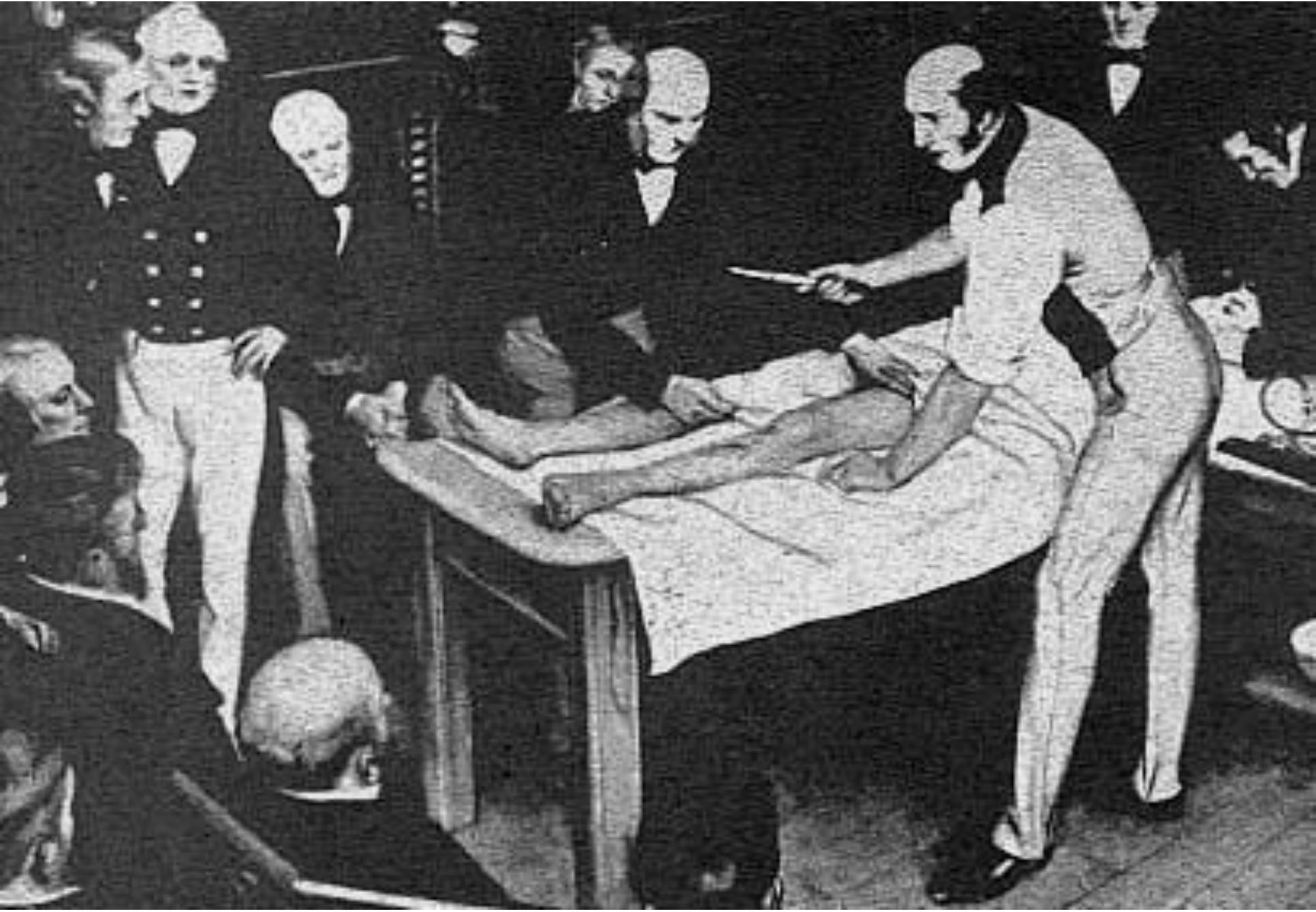
Немаловажно также, что аналоги полового процесса у прокариот по сути изложены крайне фрагментарно и существенно неполно даже в вузовских учебниках.

- Значения многих процессов в мире прокариот даны с неверными акцентами и искажениями.

# Как исторически получали знания по биологии?

- Когда-то максимум, что могли сделать исследователи, - это вскрыть тело, посмотреть на органы и предположить, как они работают.





*«Ботаника – наука о природе, с помощью которой искуснейшим образом и с наименьшими усилиями познаются и удерживаются в памяти растения»*



**Герман Бургаве (1668-1738)**

Тем не менее, в биологии  
существуют ряд важнейших  
обобщений...

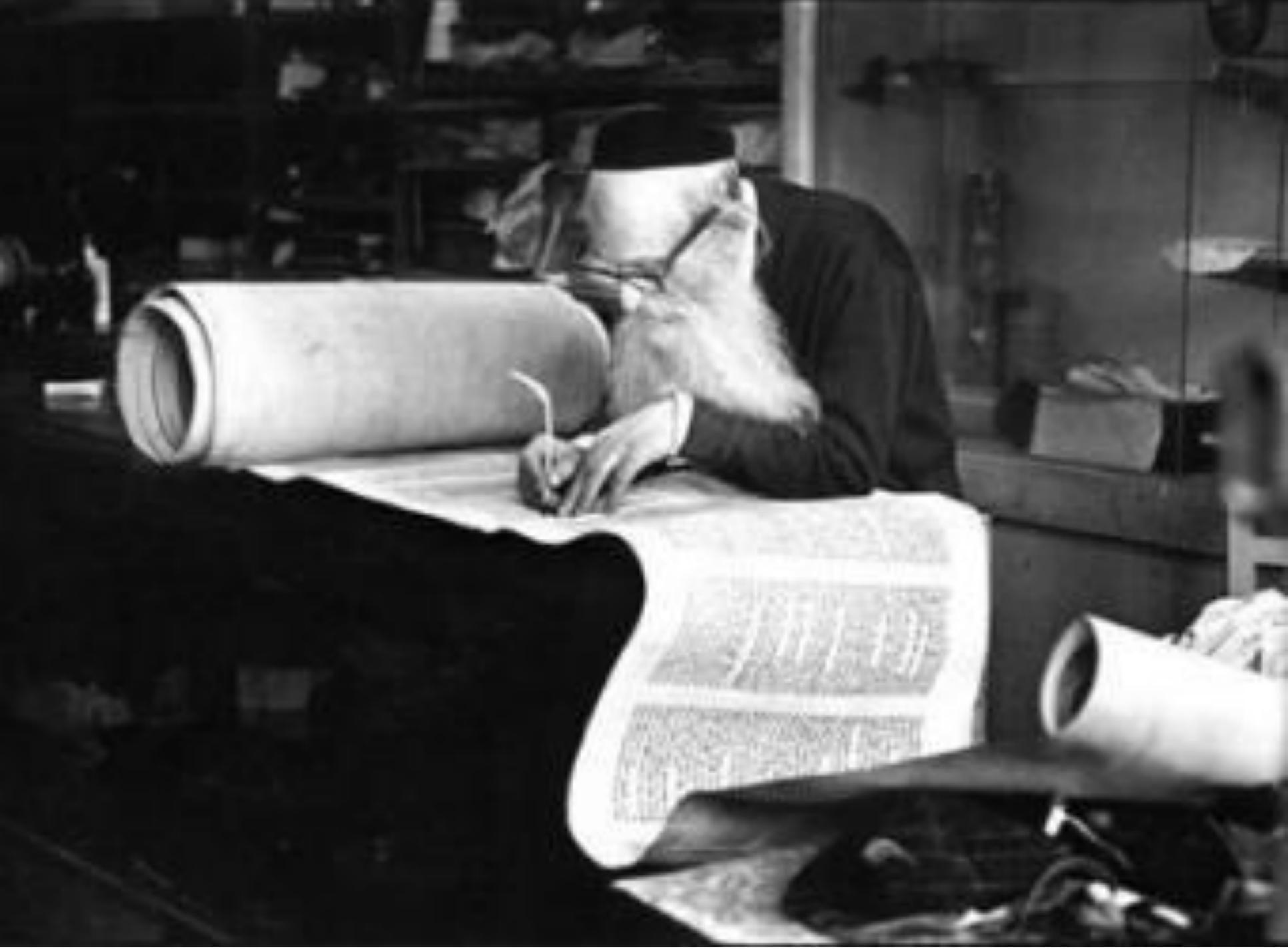
Сейчас биология стала чем-то большим,  
чем просто разрозненная коллекция фактов

В настоящее время существует  
определённая инерция в  
понимании основ биологии.



Тонкая ирония над самодовольным и не признающим отступлений научным классицизмом заключена в притче Сент-Экзюпери, вложенной в уста Маленького принца:

*"Астроном доложил о своем замечательном открытии на Международном астрономическом конгрессе. Но никто ему не поверил, а все потому, что он был одет по-турецки. Уж такой народ эти взрослые".*





Я понял, в чём ваша беда: вы слишком серьёзны. Умное лицо — это ещё не признак ума, господа. Все глупости на земле делаются именно с этим выражением лица. Улыбайтесь, господа. Улыбайтесь!

—Тот самый Мюнхгаузен

# В биологии есть ряд фундаментальных моделей, без которых неммыслимо её понимание

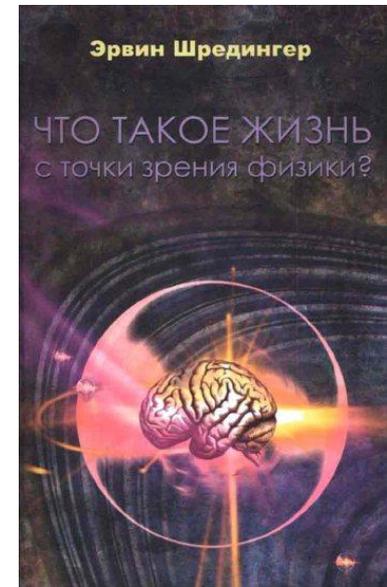
- Живые системы можно описывать на разных языках: на языке физики и химии, а также на языке математики (прежде всего теоретической информатики).



# Что такое жизнь с точки зрения физики?



Так называется брошюра Эрвина Шредингера, в которой были сформулированы исходные физические идеи по отношению к биологии.



# Описание жизни на языке физики и химии.

- Вслед за установлением химической природы гена, как известно, были описаны в молекулярных терминах такие генетические явления, как мутация, репарация, рекомбинация, а также процессы транскрипции и трансляции.
- Молекулярная биология поглотила генетику и стала более общим фундаментом биологической науки.

*«Сложно осознать, что дисциплина, которая определила развитие всей биологии в целом на протяжении всего последнего столетия и которая принесла столько знаний и пользы для современного общества, несёт в своей сердцевине фундаментальный изъян. Но, к сожалению, это так.*

*Молекулярная биология ошеломляюще быстро завоевала признание в рамках классического «ньютоновского» мировоззрения, вооружившись преимущественно редуccionистским образом мысли. Хотя на словах всем очевидно, что, сложив вместе описания отдельных механизмов, автоматически целого не получишь, — всё же большинство открытий сделано именно в этом приближении.*

*В этом «ньютоновском» мире биология стала как бы производной отраслью физики, по сути — инженерным делом без каких-либо фундаментальных задач. Биология стала наукой о биологических машинах, их частях и взаимодействиях этих частей, упражняясь в описаниях, но не объясняя сути объектов»*

*Карл Воз*

# А можно ли поставить вопрос: что такое жизнь с точки зрения математики?

- Впервые ответ на этот вопрос начал формулироваться с развитием дарвиновской теории эволюции.
- Жизнь постепенно стала рассматриваться с информационной точки зрения.

# Итак, другой фундамент - дарвиновская теория эволюции





*«Ничто в биологии не имеет смысла,  
кроме как в свете эволюции»*

Феодосий Добжанский

Описанию основных идей  
дарвиновской теории эволюции в  
школьной программе уделяется  
много внимания

- **ОДНАКО...**

Существуют и другие  
фундаментальные обобщения,  
которым в школе практически не  
уделяется внимания, но которые  
не менее всеобщие, чем  
эволюционная теория.

Это обобщение позволяет  
предсказывать и объяснять большое  
количество фактов.

**НАПРИМЕР...**

- Почему половой процесс или его аналоги есть практически у всех живых организмов?
- Почему организмы тратят столько ресурсов на осуществление полового процесса, тогда как простое копирование клетки на первый взгляд кажется куда как более эффективным.



# Данное обобщение позволяет объяснить неизбежную смертность любых организмов

Все многоклеточные организмы смертны.

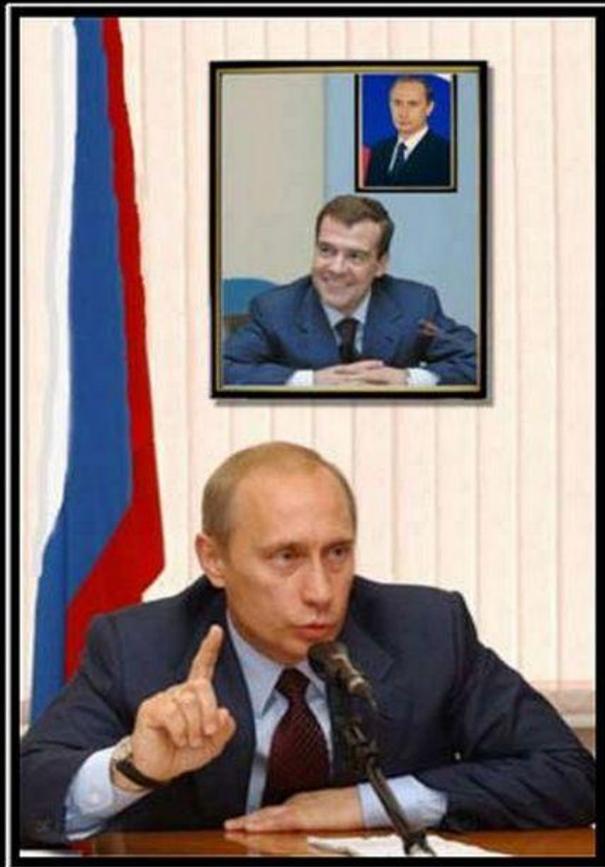
*«Отчего гибнут организмы? Концепция естественного отбора и борьбы за существование настолько овладела нашим сознанием, что мы не придаем важности тому, что при самых благоприятных условиях жизни, в отсутствие всякой конкуренции, при изобилии источников энергии и вещества организмы всё равно неизбежно погибают»*

В.Б. Щербаков

Что же за фундаментальное  
обобщение позволяет  
предсказывать и объяснять такое  
количество фактов?

- ПОПРОБУЕМ РАЗОБРАТЬСЯ...

Но прежде всего зададим один очевидный вопрос: почему живые организмы дифференцированы на виды?



# Стабильность

способность системы функционировать,  
не изменяя собственную структуру

## Ответ:

- Для каждого живого организма оптимальным является своё сочетание генов, своя генетическая программа.

Попробуйте изменить в механизме хотя бы одну деталь?



Американский художник Майк Либби (Mike Libby)

Любой совершенной системе важно  
поддерживать своё постоянство





ОНИ ТАКИЕ РАЗНЫЕ

НО ВСЕ-ТАКИ ВМЕСТЕ

Постоянство – это в том числе и репродуктивная изоляция.

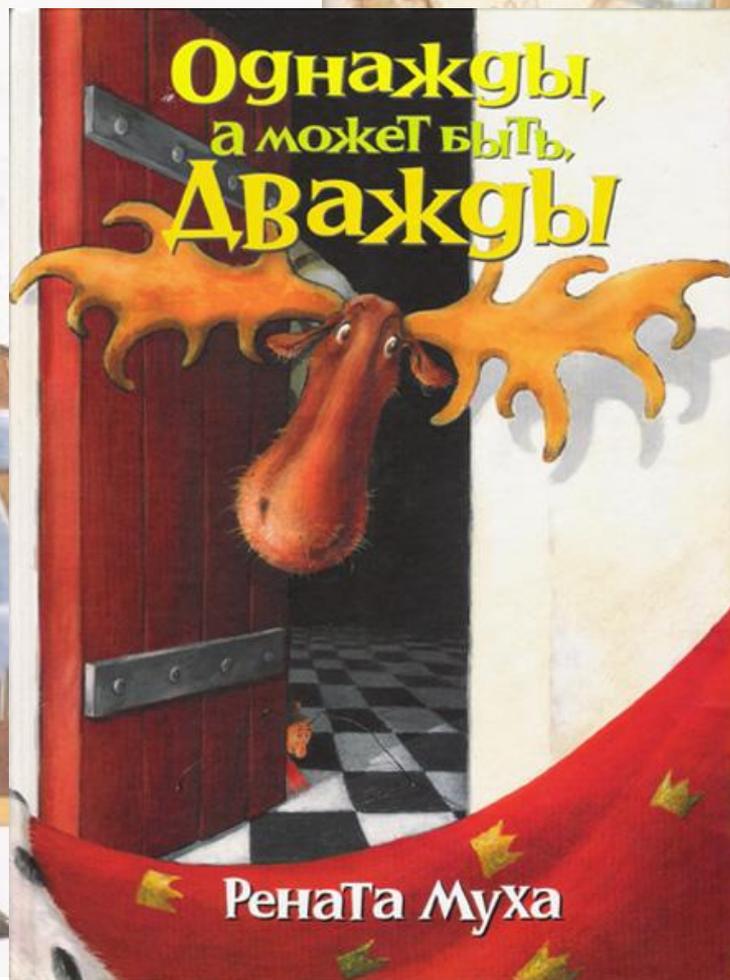
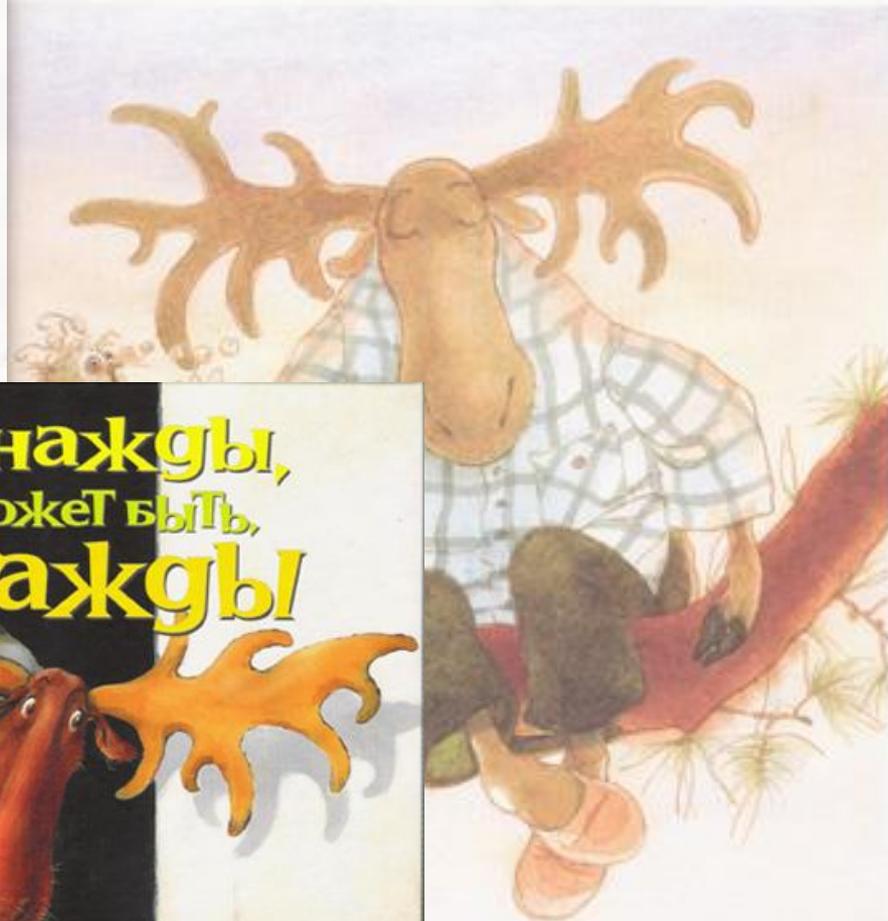
Однако...

Эволюционная теория в основном развивалась применительно к организмам, размножающимся половым путём, в результате чего многие формулируемые в её рамках представления (например, концепция вида) не могут быть непосредственно распространены на бесполое организмы.



## СЕМЕЙНАЯ ТАЙНА

Мама — Зебра, папа — Лось...  
Как им это удалось?



Однажды,  
а может быть,  
Дважды!

РенаТа Муха

ОСЬ

— подумал Лось, —

ть,

ь».

5

# Что такое вид

- Согласно определению американского зоолога Эрнста Майра (E. Mayr) у высших эукариотов, размножающихся половым путём, вид представляет собой систему репродуктивно изолированных популяций.
- Прокариоты размножаются исключительно вегетативным путём. Как к ним применить критерий вида?

Репродуктивную изоляцию нужно заменить на более общее понятие – рекомбинационную изоляцию.

Однако так ли легко  
поддерживать стабильность  
видов?

- ОДНОЗНАЧНО НЕТ...

Причина: **любое** копирование информации (в том числе и наследственной) происходит с ошибками.

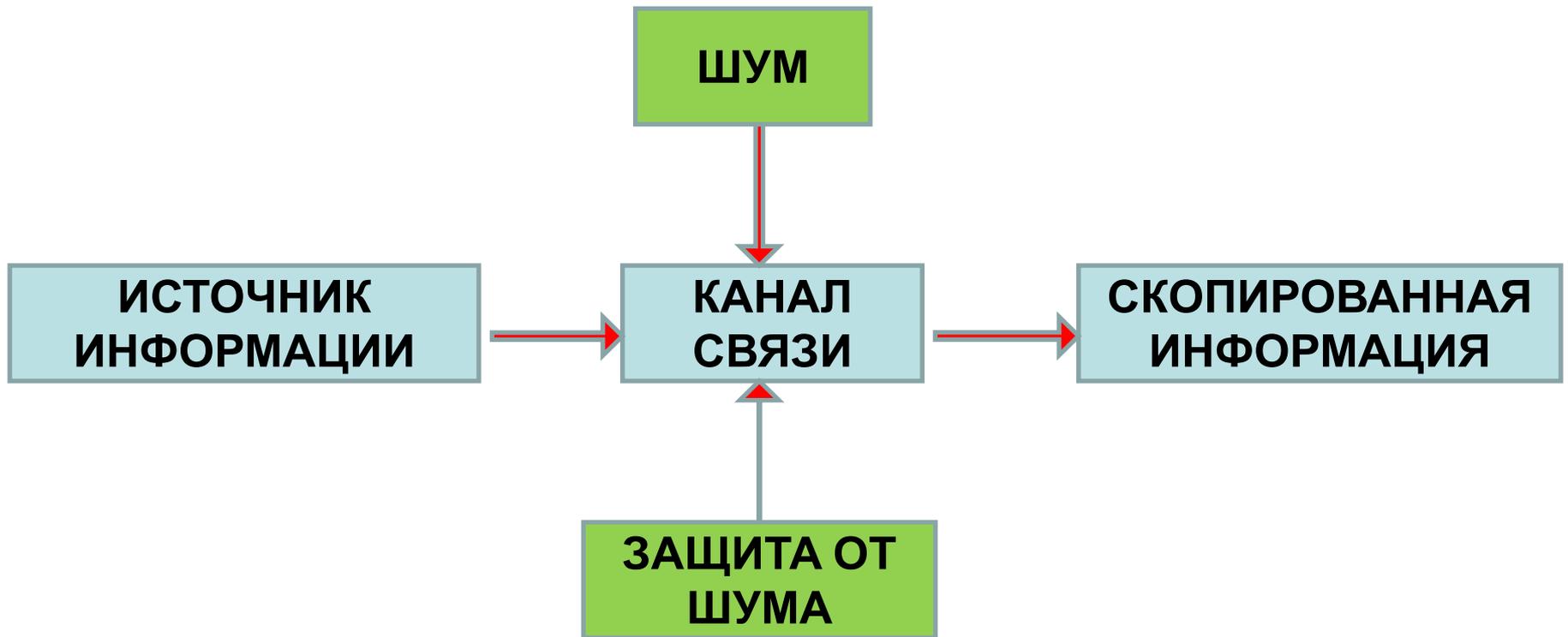


Учитесь писать без  
ошибок

# Испорченный телефон!



# Схема передачи (копирования) информации



# К чему чаще приводит случайная замена деталей?



Изменения в программе – чаще  
вред, чем польза



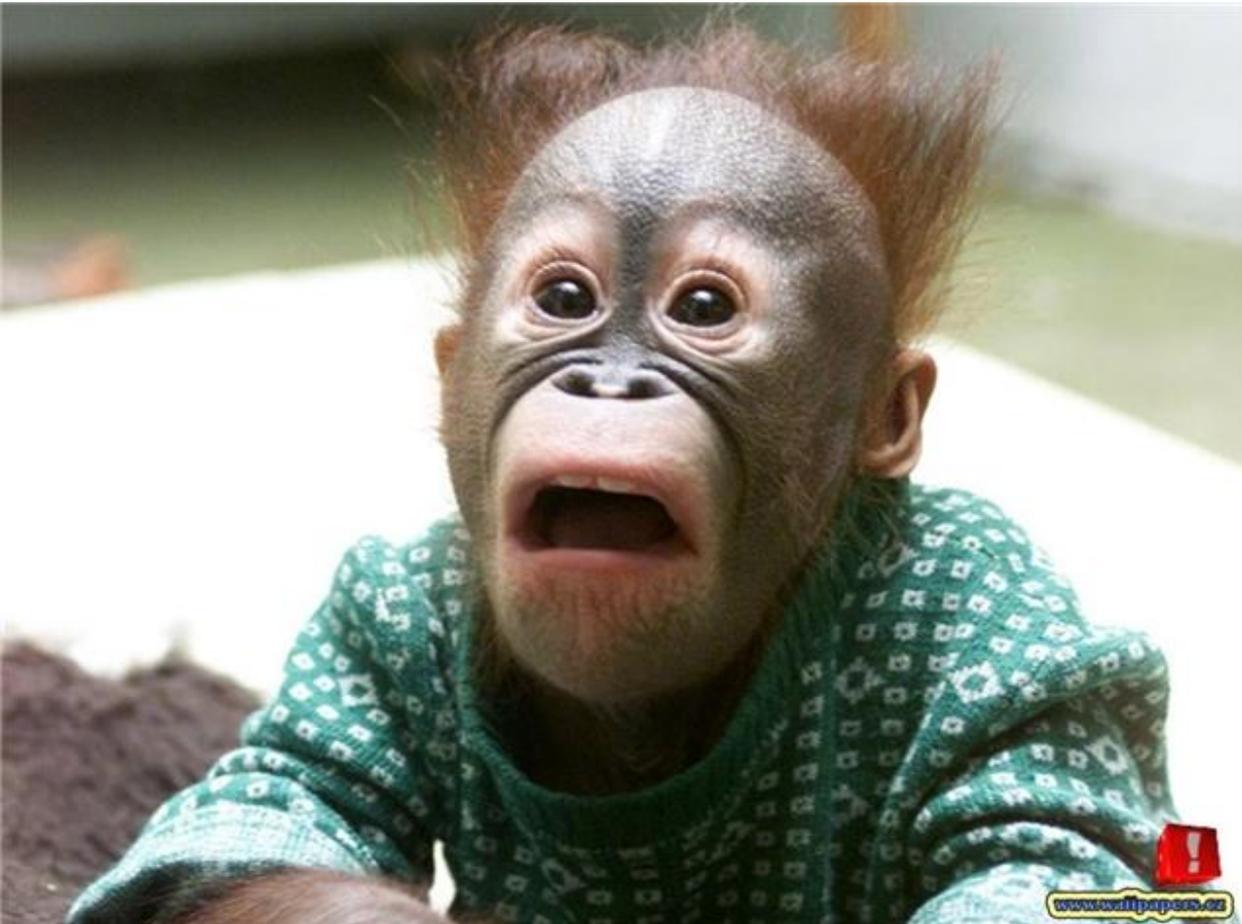
Многочисленные мутации могут убить нас или испортить здоровье, но не гарантировать успех в жизни.



**САМО СОВЕРШЕНСТВО**

Уничтожить легко, попробуй повторить

А разве дарвиновская теория отбора не должна объяснять механизм освобождения от ошибок?



Отбор позволяет отбраковывать только целые геномы, но не отдельные гены.

Долгое время половому размножению отводилась роль «собирателя» полезных мутаций.

- Этот архаизм попал в школьные учебники и вопросы ЕГЭ.

*Зачем же тогда организмы большого множества видов тратят столь ценные ресурсы на самоопыление, самооплодотворение и реализацию не менее сложных механизмов партеногенеза (например, мейотического)?*

# О роли полового размножения.

**А6** Половое размножение организмов эволюционно более прогрессивно, так как оно

- 1) способствует их широкому распространению в природе
- 2) обеспечивает быстрое увеличение численности
- 3) способствует появлению большого разнообразия генотипов
- 4) сохраняет генетическую стабильность вида

**Правильный ответ не только 3, но и,  
что важнее, 4!**

# У рекомбинации есть два главных смысла

1) Стабилизация вида (краткосрочная перспектива). Проявляется в процессе элиминации «плохих» генов.

2) Эволюция (долгосрочная перспектива). Проявляется в получении новых комбинаций «хороших» генов.

За последние 20 лет всё большее значение придаётся процессу рекомбинации как фактору генетической стабилизации вида.

# Ещё одна фундаментальная модель – гипотеза Мёллера.

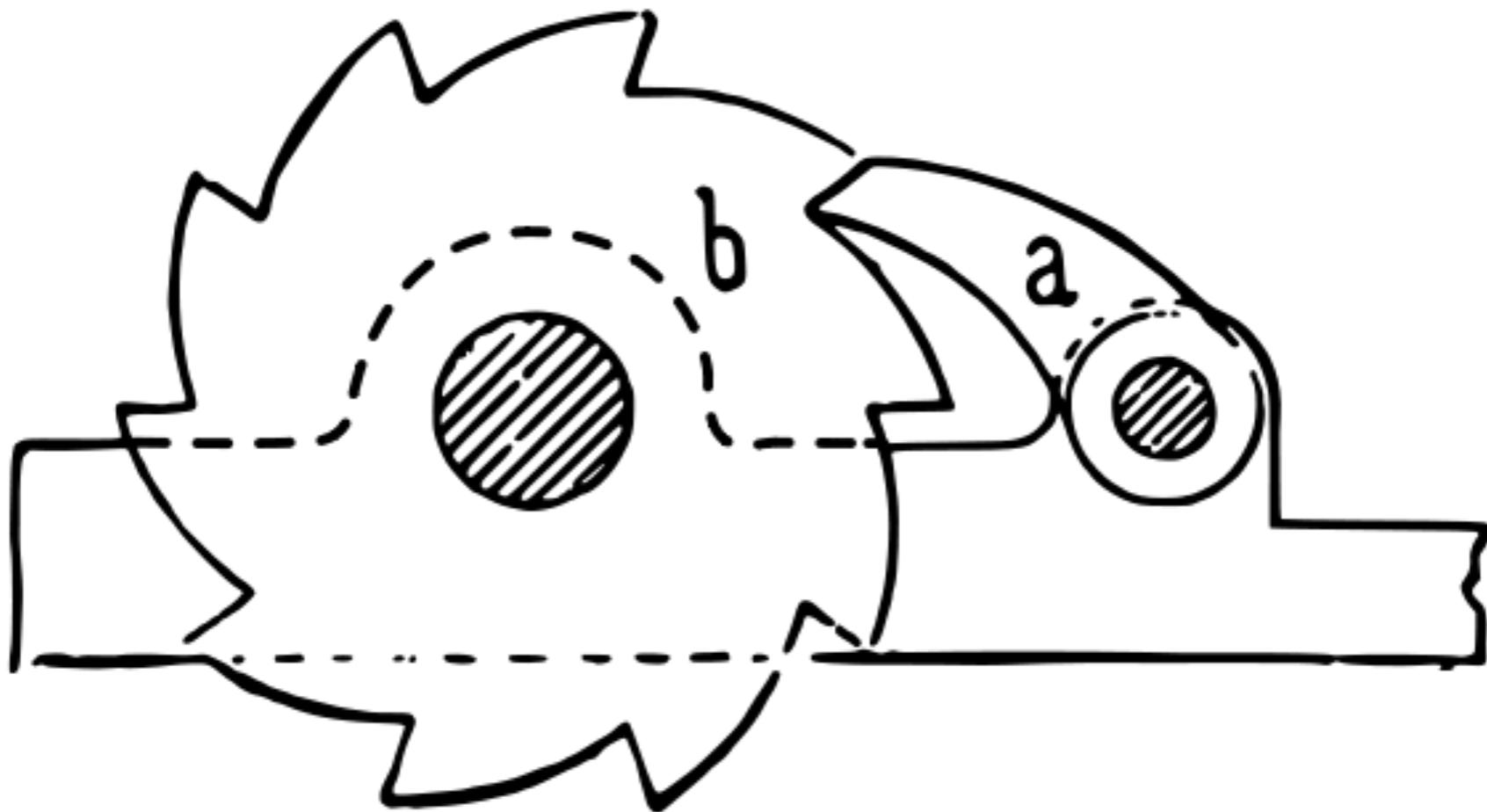
- Генофонд клонально размножающихся организмов должен медленно, но неуклонно деградировать за счёт последовательного, но неуклонного накопления вредных мутаций.
- Сейчас этот процесс называется Храповиком Меллёра.

# Герман Джозеф Мёллер (1890-1967)

- Американский генетик, ученик Т. Моргана, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине (1946), которую получил за открытие и изучение мутагенного действия рентгеновского излучения.
- Член-корреспондент АН СССР (1933—1949) В 1949 году был лишён звания за поддержку советских генетиков.
- В 60-ые годы прошлого века сформулировал идеи о генетическом грузе и о **храповике Меллера**.



Храповик – механизм,  
позволяющий вращаться только  
в одну сторону





# Храповик Мёллера

- Это процесс накопления груза вредных мутаций при клональном размножении.
- Если бы организмы размножались только самовоспроизведением, то они быстро бы накопили груз вредных мутаций.

# Храповик Меллера – «родовое проклятие»

- Если у бесполого организма возникает вредная мутация, то потомки уже не смогут от неё избавиться.
- Если в сообществе бесполой особи случайно погибает особь с наименьшим количеством вредных мутаций, то потеря необратима.

# Вынужденная простота строения

- Бесполое организмы не могут позволить себе иметь слишком большое количество полезных генов.
- Бесполое организмы не могут позволить себе иметь маленькие популяции и малое число потомков (иначе очищающий отбор не сможет избавить популяции от генгруза).

# Представим себе популяцию, недавно отказавшуюся от секса.

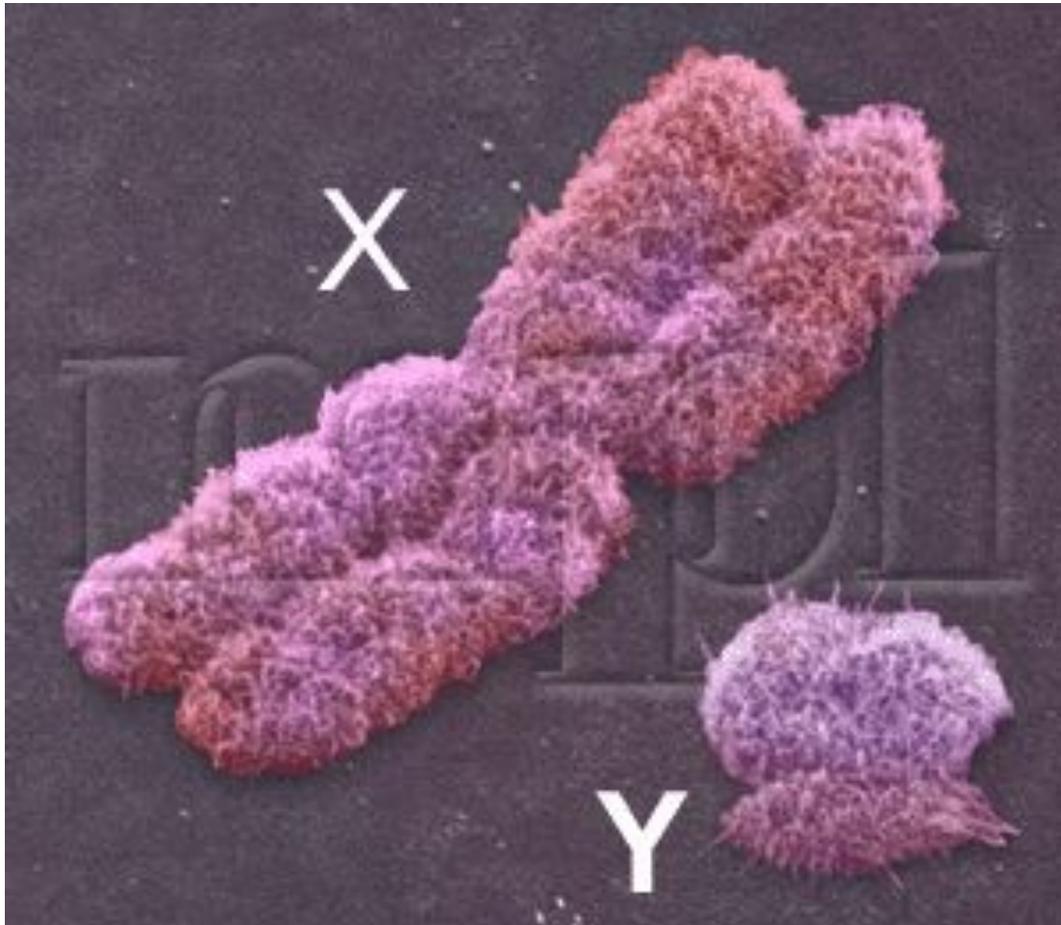
- Со временем ошибки генетического копирования приведут к мутациям у их потомков, и постепенно вся популяция будет состоять из индивидуумов, подвергшихся нескольким мутациям.
- В определенный момент последний не мутировавший индивид не сможет иметь детей и храповик повернется на одно деление.
- Процесс будет продолжаться до тех пор, пока все члены популяции не окажутся больными настолько, что не смогут размножаться, и тогда вся популяция вымрет.
- Тем же, кто размножается с помощью секса, подобная судьба не грозит, поскольку смешение генов в каждом поколении делает число мутаций достаточно низким.

# Можно ли увидеть храповик Меллера?

Клетки многоклеточного организма размножаются клонально. Неизбежное следствие – любой многоклеточный организм смертен.



# Другой пример работы храповика Мёллера – деградация половой Y-хромосомы у млекопитающих



Задача: почему половые хромосомы, как правило, сильно деградированы?

Например, у человека На женской хромосоме X имеется около 2-3 тысяч генов. А вот на мужской, в силу ее малости, генов очень немного, не более нескольких десятков.

- Ответ: потому что в её бОльшей части не происходит рекомбинации.
- Часть Y-хромосомы (у человека — 95 %) не способна к рекомбинации.

Другой пример храповика в  
действии:

Любые вегетативно  
размножающиеся сорта растений  
неизбежно вырождаются и погибают

Срок жизни сортов бананов –  
десятки лет.



Только 10% сортов картофеля живут в производстве более 20 лет.

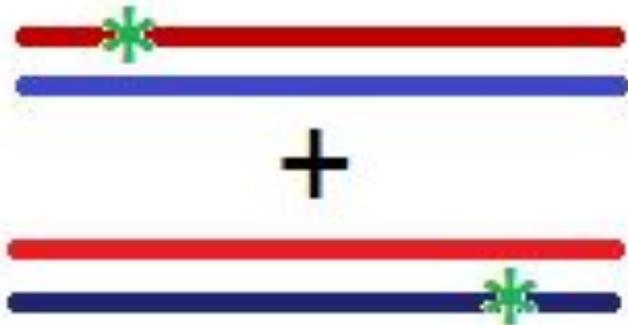
- Даже технология избавления от вирусов, лишь отсрочивает вырождение сортов картофеля.



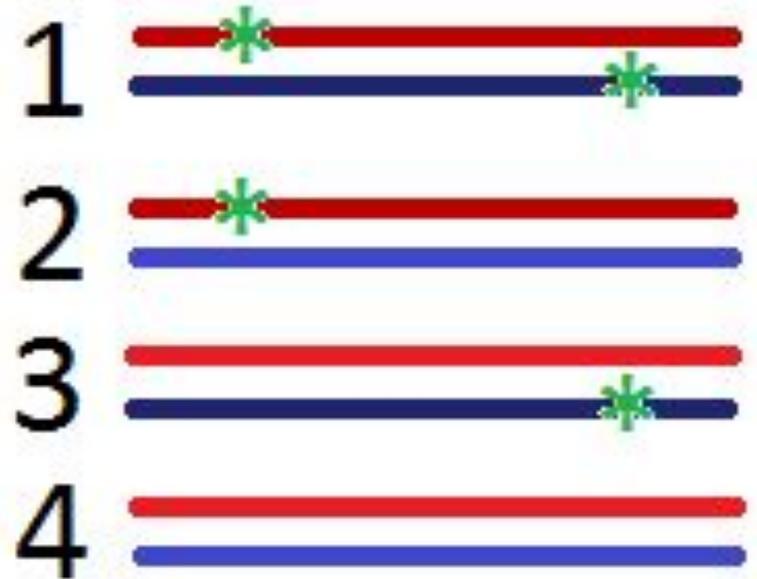
# У вирусов, прокариот и эукариот проявляется сходный результат гомологической рекомбинации

- Сложнейший механизм генетической рекомбинации осуществляется в мейозе у эукариот.
- У прокариот имеются особые биологические механизмы, которые плохо отражены в учебной литературе и будут рассмотрены во второй презентации «Понимание биологии. Часть вторая».
- Не смотря на различия в биологических механизмах рекомбинации, это явление на молекулярном уровне как у эукариотов, так и у прокариотов сводится к одному и тому же – взаимодействию гомологичных молекул ДНК, которое обеспечивается участием специальных ферментов и завершается обменом фрагментами ДНК между молекулами. Этот процесс известен под наименованием кроссинговера.

Почему при рекомбинации увеличивается  
доля немутантных аллелей



=



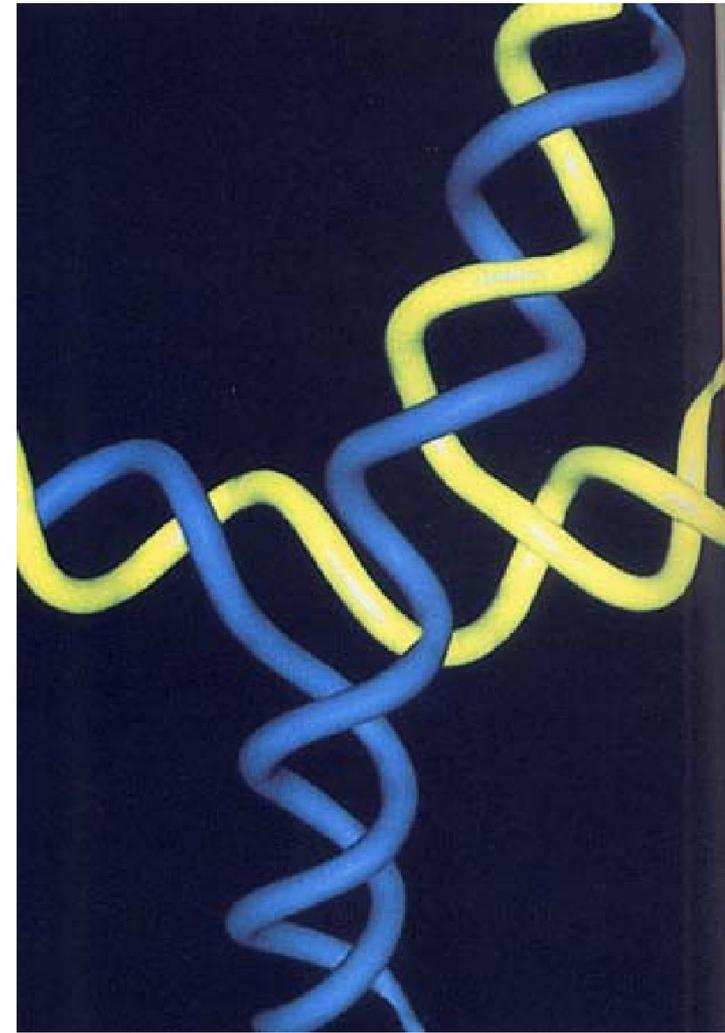
# «Топор Кондрашова»

- В популяциях, размножающихся с помощью секса, смешение генов создает целый ряд счастливых, в организмах которых число вредных мутаций невелико.
- Однако при этом появляются на свет и такие индивидуумы, у которых их в избытке. Последние попадают под топор, унося вредные мутации с собой в могилу.

# Рекомбинация – это перетасовка



- *«Рекомбинация — это процесс, который обеспечивает формирование новых сочетаний аллелей генов в ряду поколений, образование новых порядков генов в результате инверсий, дупликаций и делеций генов при неравном кроссинговере и целом ряде других генетических событий, связанных с процессом разрыва/воссоединения ДНК/хромосом»*

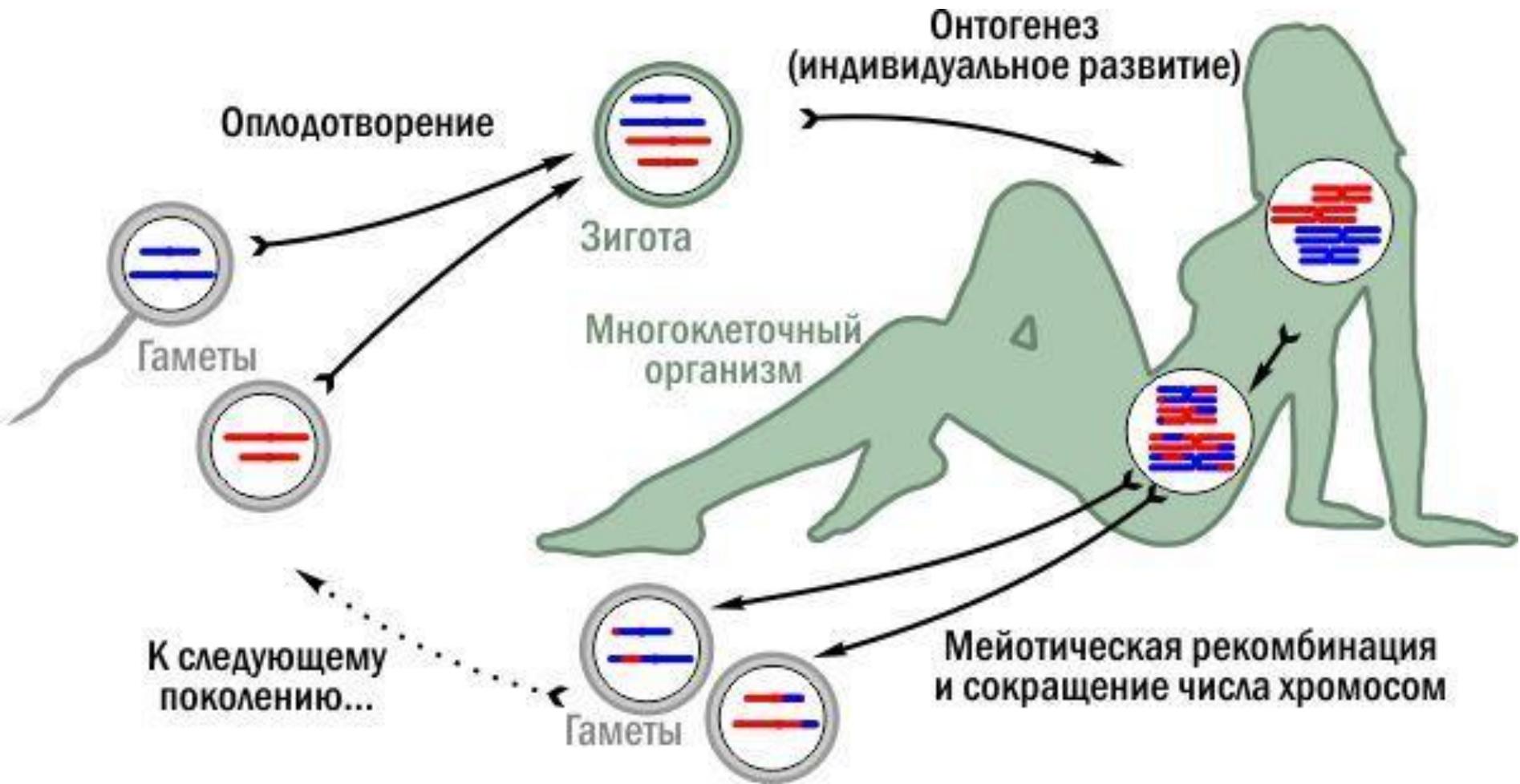




# Рекомбинация спасает от храповика Меллера

- Гены собираются по отдельности, а не целыми геномами.
- Утрата особи с наименьшим генетическим грузом обратима.

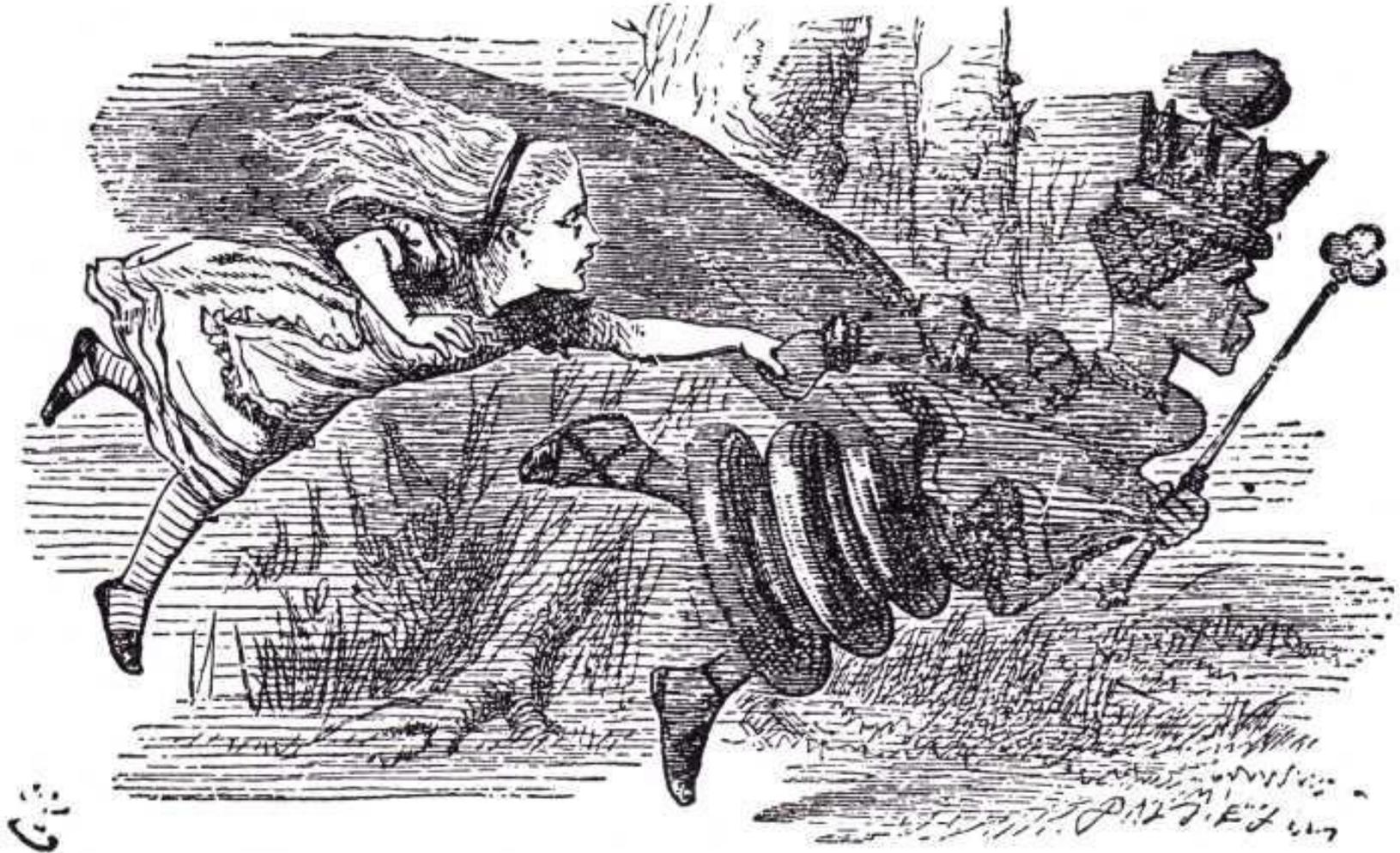
# У большинства эвкариот превагирует диплоидная фаза



Гаплоидная фаза может быть хорошо выражена у мицелиальных грибов и многих одноклеточных эвкариот.

- Диплоидная фаза может быть представлена только зиготой, которая делится мейотически.
- У мхов одинаково сильно могут быть выражены и гаплоидная, и диплоидная фазы

Модель Храповика Меллера может  
быть дополнена  
ГИПОТЕЗОЙ ЧЁРНОЙ КОРОЛЕВЫ



- Гипотеза Черной Королевы была предложена в 1973 году американским ученым Ваном Валленом. Он сравнил существование видов с бегом в Зазеркалье - стране, куда попала Алиса из книги Льюиса Кэрролла.
- Черная Королева объяснила Алисе, что *"приходится бежать со всех ног, чтобы только остаться на том же месте"*.
- В эволюционном контексте это можно представить как постоянное соревнование живых существ с видами, которые обитают неподалеку.



В любой непонятной  
ситуации —  
эволюционируй.



А как же партеногенез?



**Партеногенез не исключает  
рекомбинацию!!!**



**Скальные ящерицы,**  
или **даревскии** (*Darevskia*) — род ящериц,  
часть видов которого известна тем, что  
способны размножаться без участия самцов  
(партеногенетически).



# Кажущееся противоречие

- У партеногенетических видов слияние мужской и женской половых клеток не происходит, тем не менее развивающийся из яйца зародыш также обладает удвоенным числом хромосом.



- У скальных ящериц перед мейозом происходит митотическое увеличение числа хромосом в клетках половых желез. Далее клетки проходят нормальный цикл мейоза, и в результате образуются диплоидные яйцеклетки, которые без оплодотворения дают начало новому поколению, состоящему только из самок.

- Это позволяет поддерживать численность особей в условиях, когда затруднена встреча особей разного пола.

- Яйцеклетки могут содержать два, три, четыре, а у дождевых червей — пять, восемь и даже десять хромосомных наборов.
- Хромосомные наборы могут восстанавливаться перед мейозом.
- Кроссинговер спасает от храповика Мёллера.

Таким образом, у партеногенетических организмов все равно происходит рекомбинация генетического материала и они могут избавляться от генгруза.

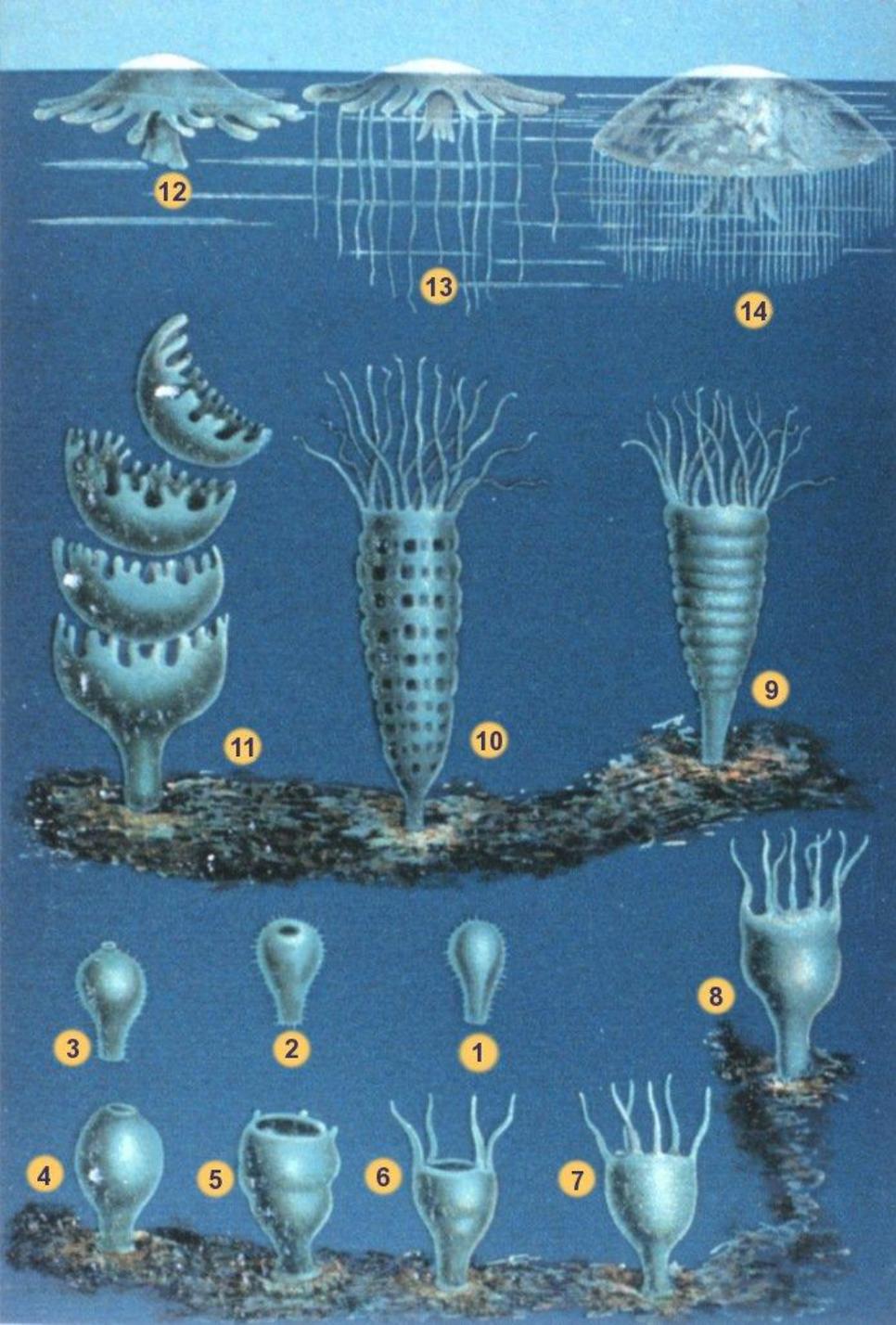
- При этом они подобно самооплодотворяющимся организмам сохраняют стабильность генома, **хотя и не клональным способом!!!**



# «Географический партеногенез»

- Партеногенетические формы нередко встречаются в северных широтах, высоко в горах и на островах, где «гонка вооружений» - модель Чёрной королевы – не так обострена.
- Партеногенетические виды успешно избегают от генгруза благодаря рекомбинации, но новые комбинации от разных особей не создаются: ситуация напоминает самоопыление у растений.

У форм, с чередованием полового и бесполого (или гамогенетического и партеногенетического) размножения половые формы более приспособлены к расселению.



Полип расселяет  
ближлежащую зоны,  
а медузоид -  
расселяется

Ближайшие участки заселяются  
цветковым растением  
вегетативно.

- Распространение семян нередко доверяется ветрам и животным.

У половых форм тли вырастают  
крылья, у патеногенетических –  
нет.

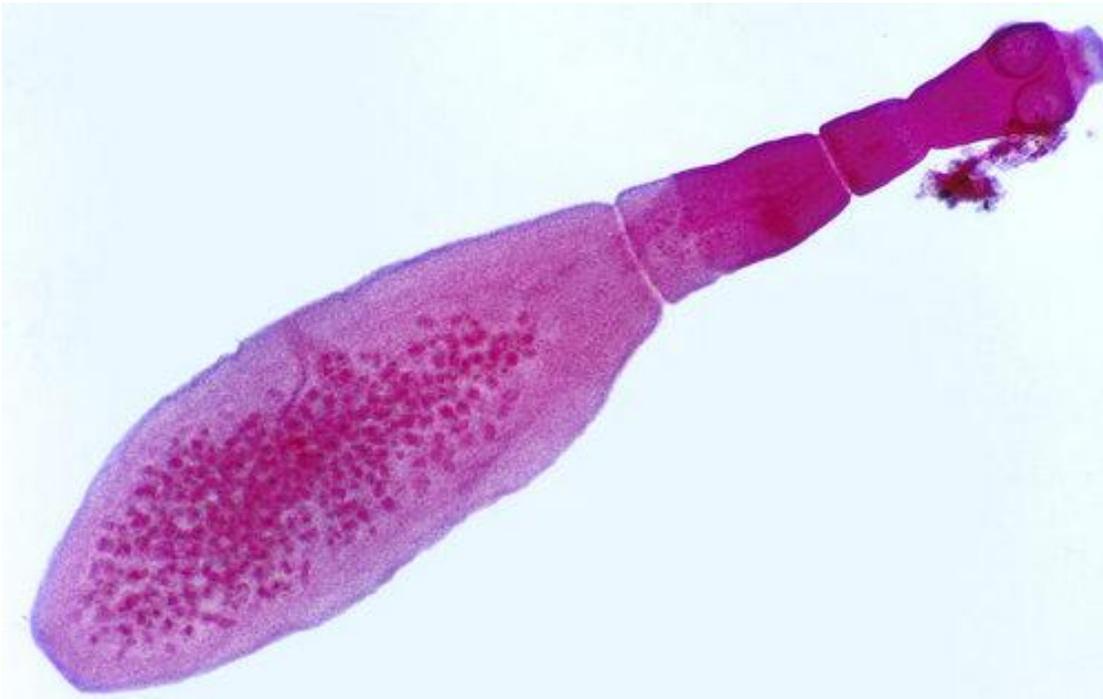
Возможен циклический партеногенез



Усы дают возможность клубнике заселить ближайшие участки, а семена распространяются птицами



- Широко распространён партеногенез у паразитических червей, находящихся на личиночных стадиях развития, что обеспечивает их интенсивное размножение и выживание, несмотря на массовую гибель на различных этапах жизненного цикла.



# Опровергнутый миф

- Среди простейших, грибов и прокариот якобы существует множество организмов без рекомбинации генетического материала.
- Однако в настоящее время показано, что у большинства из них может за счет различных механизмов происходить обмен генетической информацией

**Кандида** - дрожжеподобный гриб рода *Candida* для которого рекомбинация наследственного материала открыта совсем недавно.



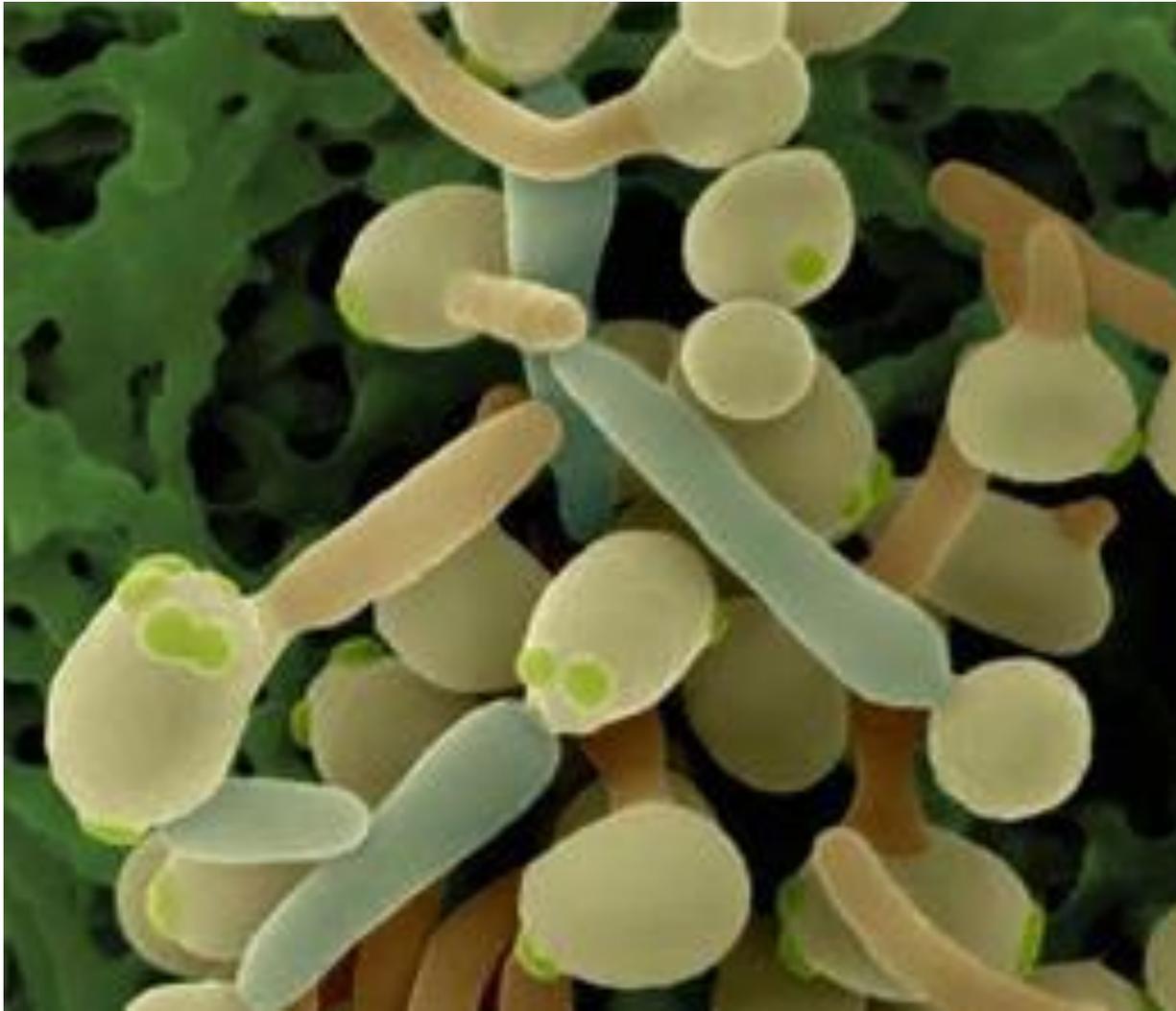
- В отличие от истинных дрожжей не образует аскоспор и имеет псевдомицелий

- До недавнего времени относилась не к аскомицетам, а к несовершенным грибам. Сейчас – к аскомицетам.
- *Candida albicans* встречается у 80% людей.
- Является диплоидом.





Как правило, «кандида» не враг. Он живет в пищеварительной системе (кишечник, ротовая полость, пищевод) как симбионт.



# Кандидоз (молочница)

- Микроорганизмы рода Кандида входят в состав нормальной микрофлоры рта, влагалища и толстой кишки **большинства** здоровых людей. Заболевание обусловлено не просто наличием грибов рода *Candida*, а их размножением в большом количестве, и/или попаданием более патогенных штаммов гриба.
- Чаще всего кандидоз возникает при снижении общего и местного иммунитета и при употреблении антибиотиков.

Встречается в ротовой полости.



На поверхности кожи и под  
НОГТЯМИ.



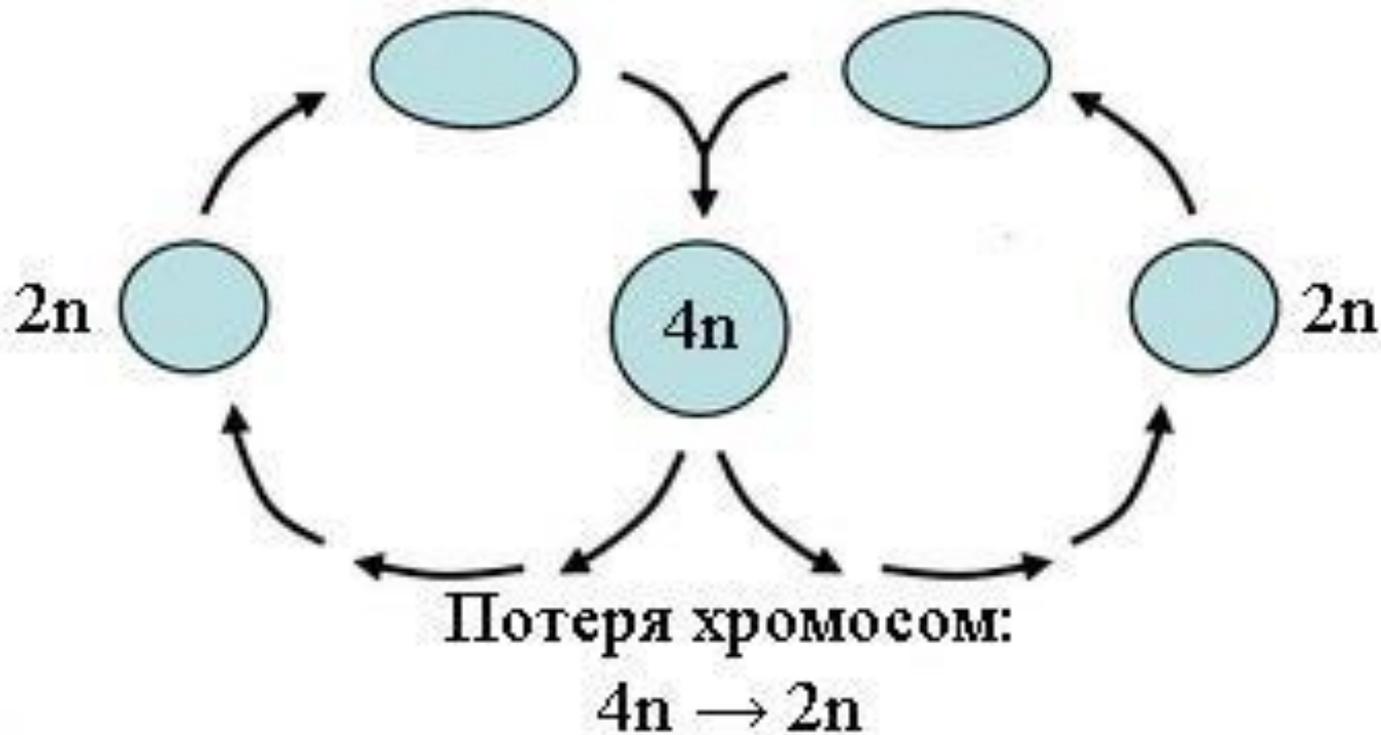
# Дыхательном и урогенитальном трактах.



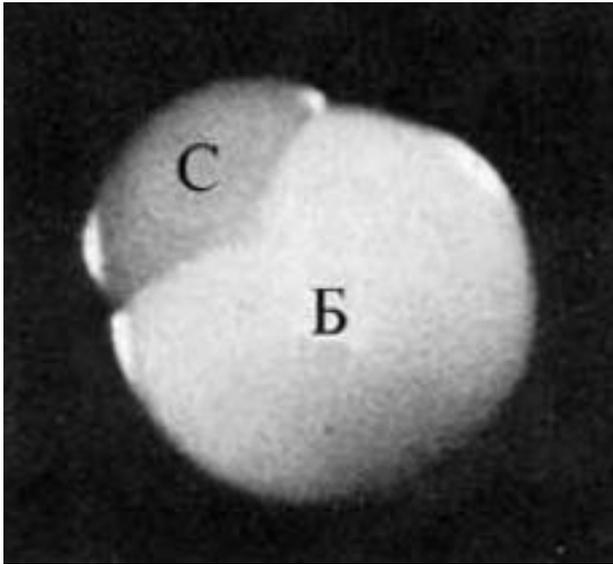
# Половой процесс у *Candida albicans*.

- Ещё недавно ошибочно считалось, что вид является константно диплоидным без полового процесса.
- В действительности половое размножение осуществляется с помощью парасексуального процесса.
- Особенность – диплоидные клетки сливаются с образованием тетраплоидов.
- В результате МИТОЗА тетраплоиды теряют хромосомы до диплоидного состояния.
- Рекомбинация митотическая.

# Чередование диплоидной и тетраплоидной стадий у кандиды при парасексуальном цикле.



# Тип спаривания может переключаться как у пекарских дрожжей



- Новый тип спаривания (изменение яркого белого цвета на более тусклый) обнаруживается после деления, и наоборот.

# Образование тетраплоида при объединении ядер клеток с разным типом спаривания.



- *Candida albicans*.

Размножаться бесполо – всё равно,  
что купить много лотерейных  
билетов с одним номером.



# Рекомбинации – стабилизатор видов



В жизни люди иногда

рассыпаются на кусочки. Соберись и получится новая картинка!

- Рассыпались – накопили генгруз
- Собрались – избавились от генгруза.

# Множественная реактивация фага

- Пример стабилизации – эффект множественной реактивации фага.
- Состоит в том, что фаг, инактивированный с помощью ультрафиолетового облучения или под действием химических мутагенов, эффективно репарируется при множественном заражении — когда в клетку попадает по два или более фаговых генома.

*«Благодаря рекомбинации эволюция в пределах вида становится потенциально обратимой. Половые популяции обладают как бы нитью Ариадны, и тупики не являются для них фатальными.»*

В.П. Щербаков «Эволюция как сопротивление энтропии»





*«Финальный половой акт, к которому стремится каждое существо, — это смешение генов и создание нового существа, обладающего собственным генетическим кодом. Бедолаге, сидящему в баре знакомств, смешение генов, возможно, не кажется целью, стоящей приложения усилий. Однако по большому счету именно это главное.»*

Из книги О.Джэдсон «Каждой твари по паре»