

# **Астробиология и планетарные катастрофы (15-ое занятие)**

*Карнаухов А.В.*

e-mail: *AlexeyKarnaukhov@yandex.ru*

*2018*

**Астробиология: Происхождение и перспективы эволюции жизни на Земле.**

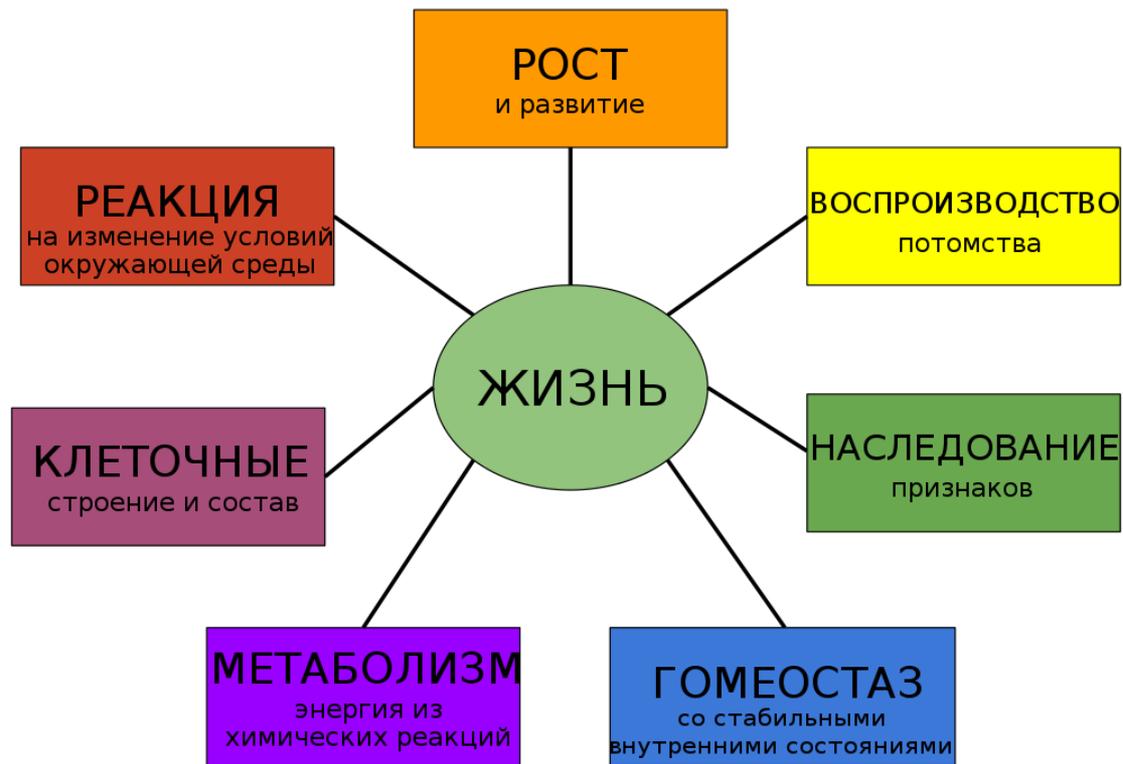
**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?**

## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

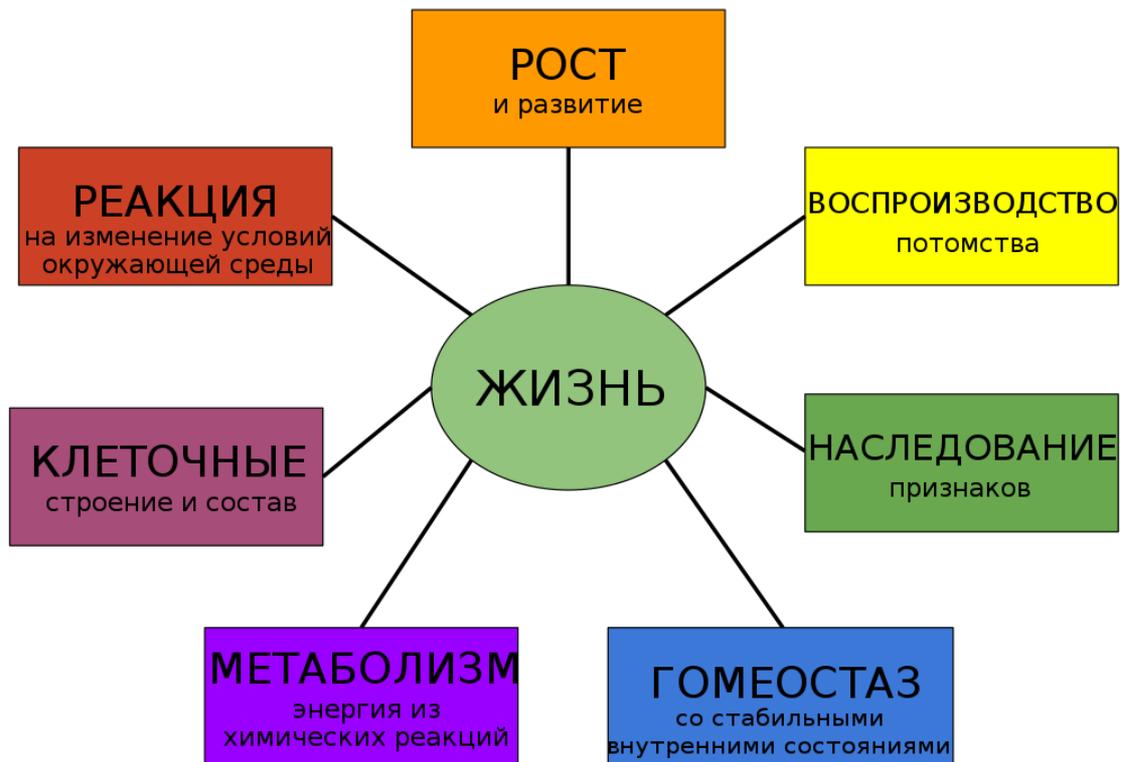
1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...



## **А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?**

- 1. человек**
- 2. собака**
- 3. осьминог**
- 4. медуза**
- 5. бактерия...**

**но...**

- 1. пожар**
- 2. смерч**
- 3. кристалл...**

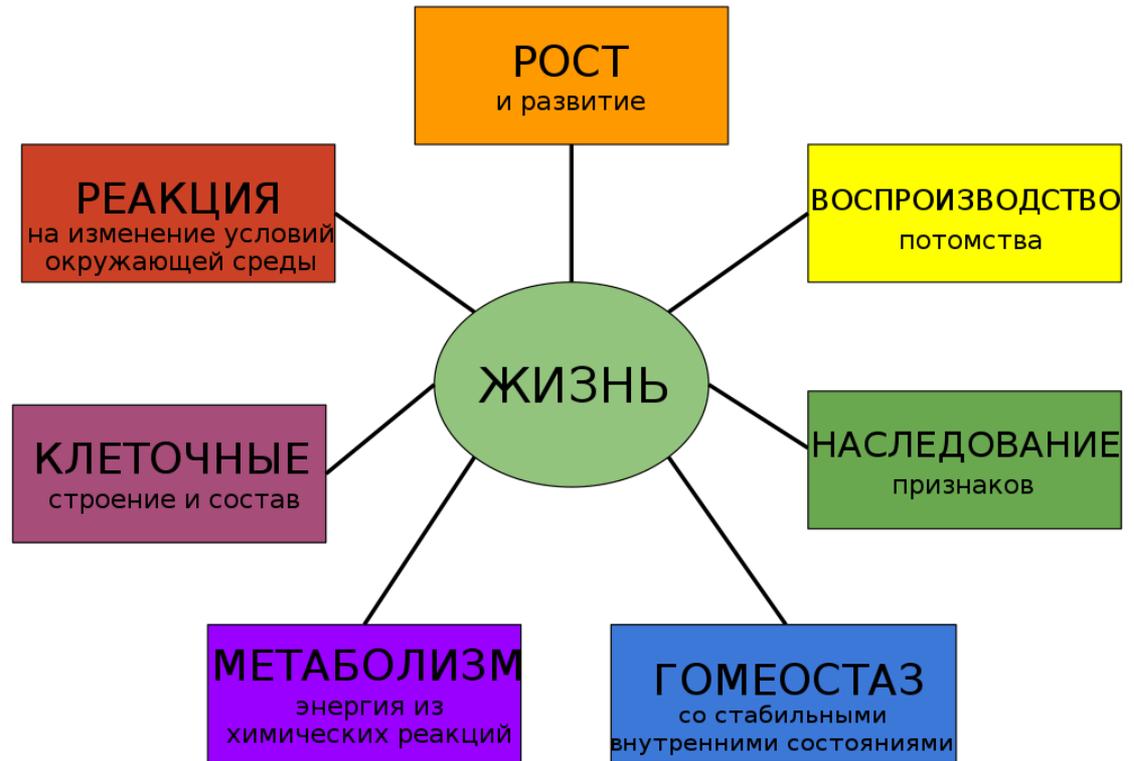


## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...

кроме того...

1. вирусы
2. споры бактерий
3. живые объекты в состоянии анабиоза...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...

кроме того...

1. вирусы
2. споры бактерий
3. живые объекты в состоянии анабиоза...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...

кроме того...

1. вирусы
2. споры бактерий
3. живые объекты в состоянии анабиоза...



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...

кроме того...

1. вирусы
2. споры бактерий
3. живые объекты в состоянии анабиоза...

И наконец,

можем ли мы представить себе **наследование признаков** без **воспроизводства потомства**?



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?

1. человек
2. собака
3. осьминог
4. медуза
5. бактерия...

но...

1. пожар
2. смерч
3. кристалл...

кроме того...

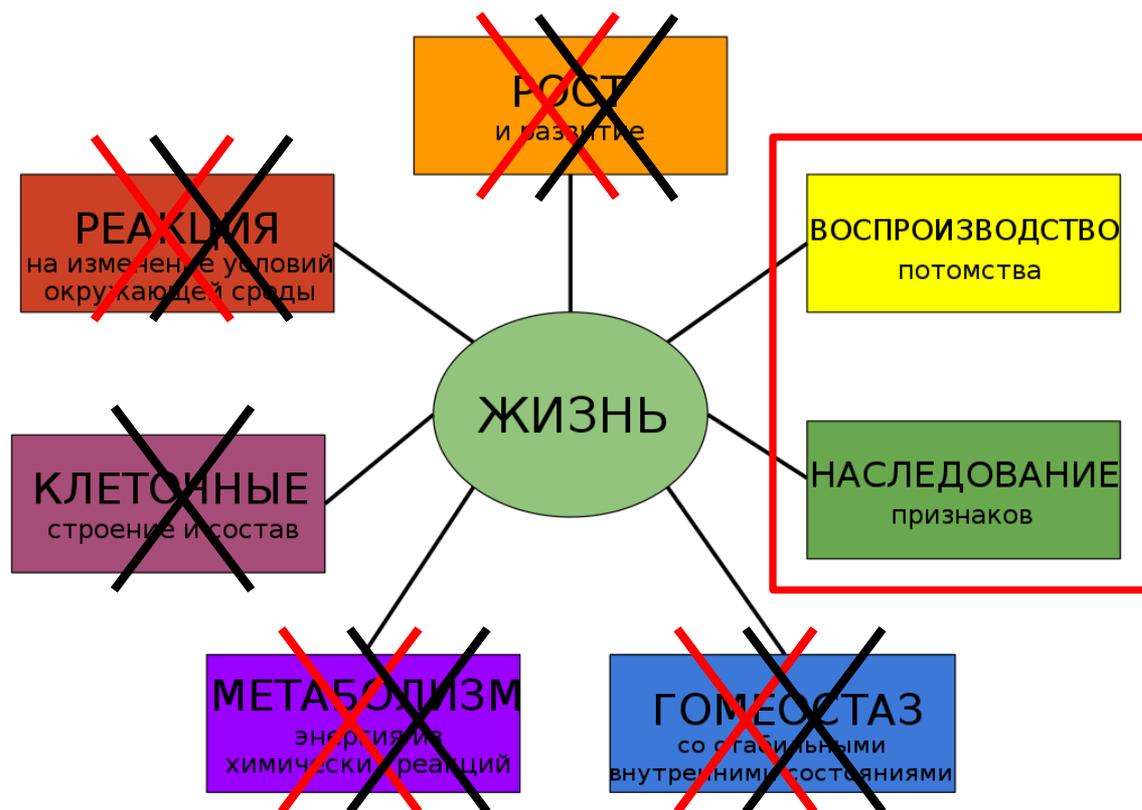
1. вирусы
2. споры бактерий
3. живые объекты в состоянии анабиоза...

И наконец,

можем ли мы представить себе **наследование признаков** без **воспроизводства потомства**?



## А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?



Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

- воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

Фридрих Энгельс : «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причём с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка».

Жизнь можно определить как активное, идущее с затратой полученной извне энергии, поддержание и самовоспроизведение молекулярной структуры.



Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

- воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

М. В. Волькенштейн : «Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот».



**Михаил Владимирович Волькенштейн  
(1912 – 1992)**

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?**

**Какие еще определения жизни используются:**

С точки зрения второго начала термодинамики, жизнь — это процесс или система, вектор развития которой противоположен по направлению остальным, «неживым» объектам вселенной, и направлен на уменьшение собственной энтропии.

\* К сожалению, живые системы, будучи открытыми, не являются термодинамическими. Поэтому термодинамические понятия (как, например, энтропия) должны применяться здесь очень осторожно. Строго говоря, их использование некорректно.

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.

= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

В. Н. Пармон : «Жизнь — это фазово-обособленная форма существования функционирующих автокатализаторов, способных к химическим мутациям и претерпевших достаточно длительную эволюцию за счёт естественного отбора».



**Валентин Николаевич Пармон  
(1948)**

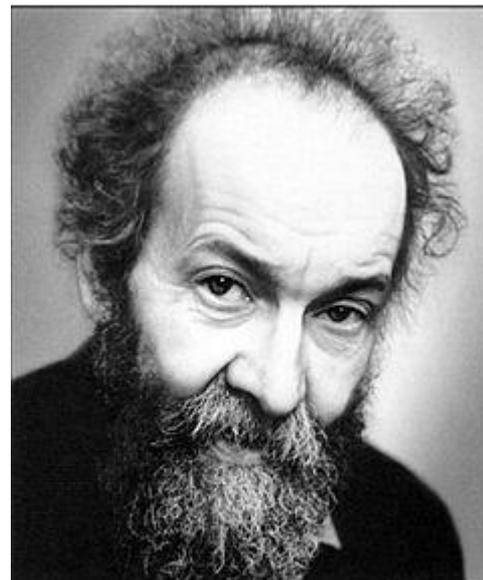
Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

Существуют также кибернетические определения жизни.

А. А. Ляпунов: жизнь — это «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул».



**Алексей Андреевич Ляпунов  
(1911 - 1973 )**

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.

**= РАЗМНОЖЕНИЕ**

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

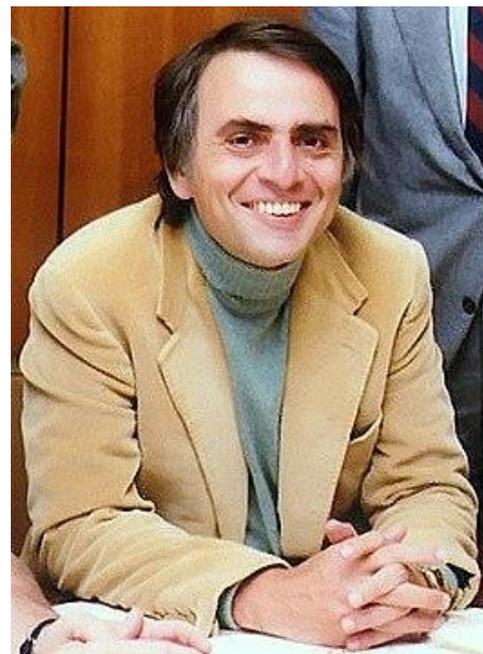
Согласно официальному определению NASA, выработанному в 1994 году и применяющемуся в задачах поиска жизни во Вселенной, жизнь — «самоподдерживающаяся химическая **система, способная к дарвиновской эволюции**».

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

Согласно официальному определению NASA, выработанному в 1994 году и применяющемуся в задачах поиска жизни во Вселенной, жизнь — «самоподдерживающаяся химическая **система, способная к дарвиновской эволюции**».



**Карл Саган  
(1934 - 1996)**

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

- воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

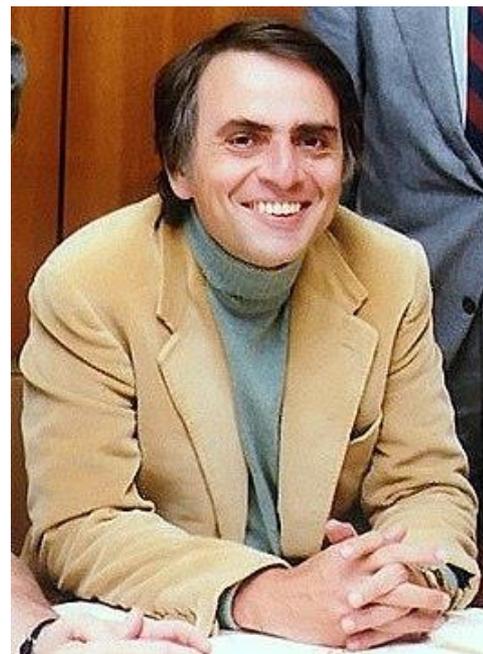
**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

Согласно официальному определению NASA, выработанному в 1994 году и применяющемуся в задачах поиска жизни во Вселенной, жизнь — «самоподдерживающаяся химическая **система, способная к дарвиновской эволюции**».

**Гавриил Адрианович Тихов  
(1875 - 1960)**



**Карл Саган  
(1934 - 1996)**



Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?  
Какие еще определения жизни используются:**

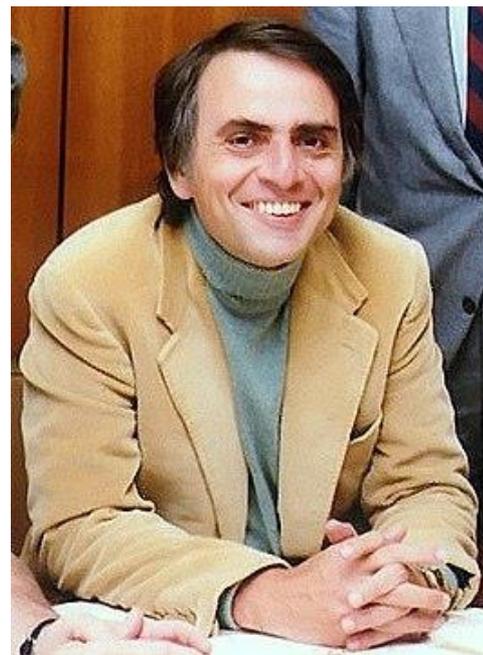
Согласно официальному определению NASA, выработанному в 1994 году и применяющемуся в задачах поиска жизни во Вселенной, жизнь — «самоподдерживающаяся химическая **система, способная к дарвиновской эволюции**».



**Линн Маргулис  
(1938 - 2011)**

**Были женаты (1957 – 1963)**

**Карл Саган  
(1934 - 1996)**



Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

- воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.  
= РАЗМНОЖЕНИЕ

## Классификация систем:

		Особенности	Примеры и особые характеристики
1.	Простая система	Детерминированное движение	Конечный набор параметров Система материальных точек $m_i, x_i(t), p_i(t)$
2.	Среда (поле)	Детерминированное движение, динамический хаос	Динамический континуум. Гидродинамический поток. $\rho_i(x,t), v_i(x,t)$
3.	Термодинамическая система	Хаотическое движение, макроскопические параметры стационарны	Закрытая система. Локальные параметры $P, T$ Глобальные параметры $V, S$
4.	Статистическая система	Хаотическое движение, макроскопические параметры могут иметь сложное поведение	Открытая система. Локальные параметры $P, T$
5.	Сложная система	Большое число динамических параметров	СМОС – матрица, песок...
6.	Сложная иерархически организованная система	Большое число динамических параметров, различных уровней иерархии	Микропроцессор, телевизор, океан, атмосфера...
7.	Система с самоорганизацией	Возникновение устойчивой собственной структуры	Использование внешних потоков энергии для формирования собственной структуры (смерч, ячейки Бенара...)
8.	Кибернетическая система	Нетривиальная реакция на внешнее воздействие	Информация
9.	Живая система	Способность к размножению с наследованием информации	Целесообразность. Вопрос «Зачем?»
10.	Искусственная система	Способность к выполнению определенных функций	Целесообразность. Вопрос «Зачем?»

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?**

**Какие еще определения жизни используются:**

Согласно официальному определению NASA, выработанному в 1994 году и применяющемуся в задачах поиска жизни во Вселенной, жизнь — «самоподдерживающаяся химическая **система, способная к дарвиновской эволюции**».

Определение:

**Живой объект – объект, способный воспроизводить себя (размножаться) с сохранением уникальных признаков у дочерних объектов.**

Теорема:

**Совокупность живых объектов (жизнь) неизбежно эволюционирует в случае, если уникальные признаки у дочерних объектов иногда воспроизводятся неточно.**

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.

**= РАЗМНОЖЕНИЕ**

**А что такое жизнь? И чем живое отличается от неживого?**

**Какие еще определения жизни используются:**

Согласно официальному определению NASA, выработанному в 1994 году и применяющемуся в задачах поиска жизни во Вселенной, жизнь — «самоподдерживающаяся химическая **система, способная к дарвиновской эволюции**».

Определение:

**Живой объект – объект, способный воспроизводить себя (размножаться) с сохранением уникальных признаков у дочерних объектов.**

Теорема:

**Совокупность живых объектов (жизнь) неизбежно эволюционирует в случае, если уникальные признаки у дочерних объектов иногда воспроизводятся неточно.**

Таким образом, живые объекты обладают, единственной уникальной способностью, которая отличает их от неживых

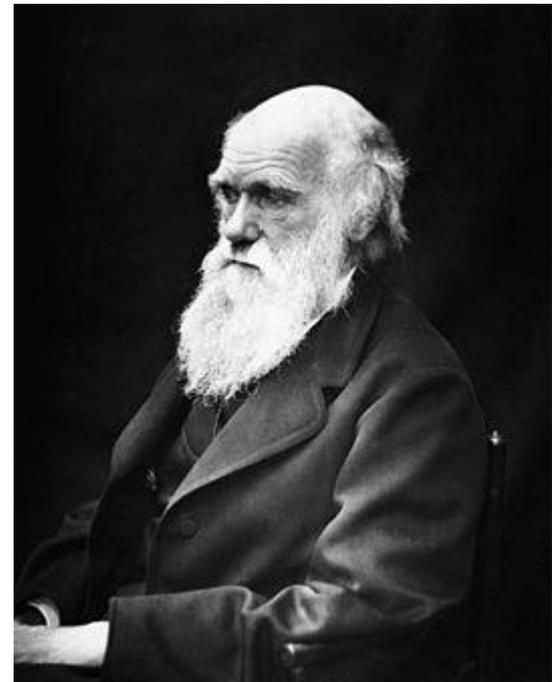
– воспроизводство дочерних объектов, наследующих признаки материнского.

= РАЗМНОЖЕНИЕ

## **Краткий обзор эволюционных теорий**

**Чарлз Дарвин первым сформулировал теорию эволюции путём естественного отбора. Эволюция путём естественного отбора — это процесс, который следует из трёх фактов о популяциях:**

- 1. рождается больше потомства, чем может выжить;**
- 2. у разных организмов разные черты, что приводит к различиям в выживаемости и вероятности оставить потомство;**
- 3. эти черты — наследуемые.**



**Чарлз Дарвин  
(1809 - 1882)**

## **Краткий обзор эволюционных теорий**

Чарлз Дарвин первым сформулировал теорию эволюции путём естественного отбора. Эволюция путём **естественного отбора** — это процесс, который следует из трёх фактов о популяциях:

- 1. рождается больше потомства, чем может выжить;**
- 2. у разных организмов разные черты, что приводит к различиям в выживаемости и вероятности оставить потомство;**
- 3. эти черты — наследуемые.**

Определение:

**Живой объект – объект, способный воспроизводить себя (размножаться) с сохранением уникальных признаков у дочерних объектов.**

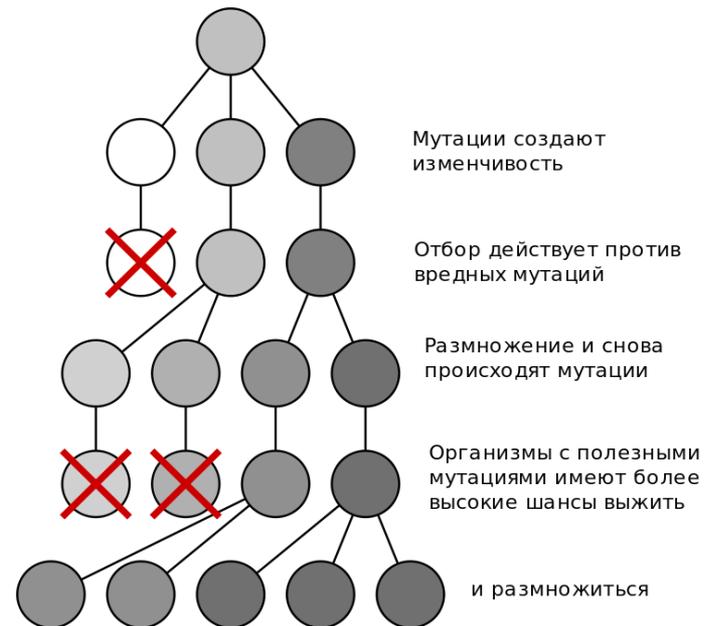
Теорема:

**Совокупность живых объектов (жизнь) неизбежно эволюционирует в случае, если уникальные признаки у дочерних объектов иногда воспроизводятся неточно.**

## Краткий обзор эволюционных теорий

Чарлз Дарвин первым сформулировал теорию эволюции путём естественного отбора. Эволюция путём **естественного отбора** — это процесс, который следует из трёх фактов о популяциях:

1. рождается больше потомства, чем может выжить;
2. у разных организмов разные черты, что приводит к различиям в выживаемости и вероятности оставить потомство;
3. эти черты — наследуемые.



## **Краткий обзор эволюционных теорий**

### **Основные положения синтетической теории эволюции:**

1. элементарной единицей эволюции считается локальная популяция;
2. материалом для эволюции являются мутационная и рекомбинационная изменчивость;
3. естественный отбор рассматривается как главная причина развития адаптаций, видообразования и происхождения надвидовых таксонов;
4. дрейф генов и принцип основателя выступают причинами формирования нейтральных признаков;
5. вид есть система популяций, репродуктивно изолированных от популяций других видов, и каждый вид экологически обособлен;
6. видообразование заключается в возникновении генетических изолирующих механизмов и осуществляется преимущественно в условиях географической изоляции.

Таким образом, синтетическую теорию эволюции можно охарактеризовать как теорию органической эволюции путём естественного отбора признаков, детерминированных генетически

## **Краткий обзор эволюционных теорий**

Основные положения **синтетической теории эволюции**:

**Синтетическая теория эволюции = естественный отбор + генетика**

Таким образом, синтетическую теорию эволюции можно охарактеризовать как теорию органической эволюции путём естественного отбора признаков, детерминированных генетически

## **Краткий обзор эволюционных теорий**

Основные положения **синтетической теории эволюции**:

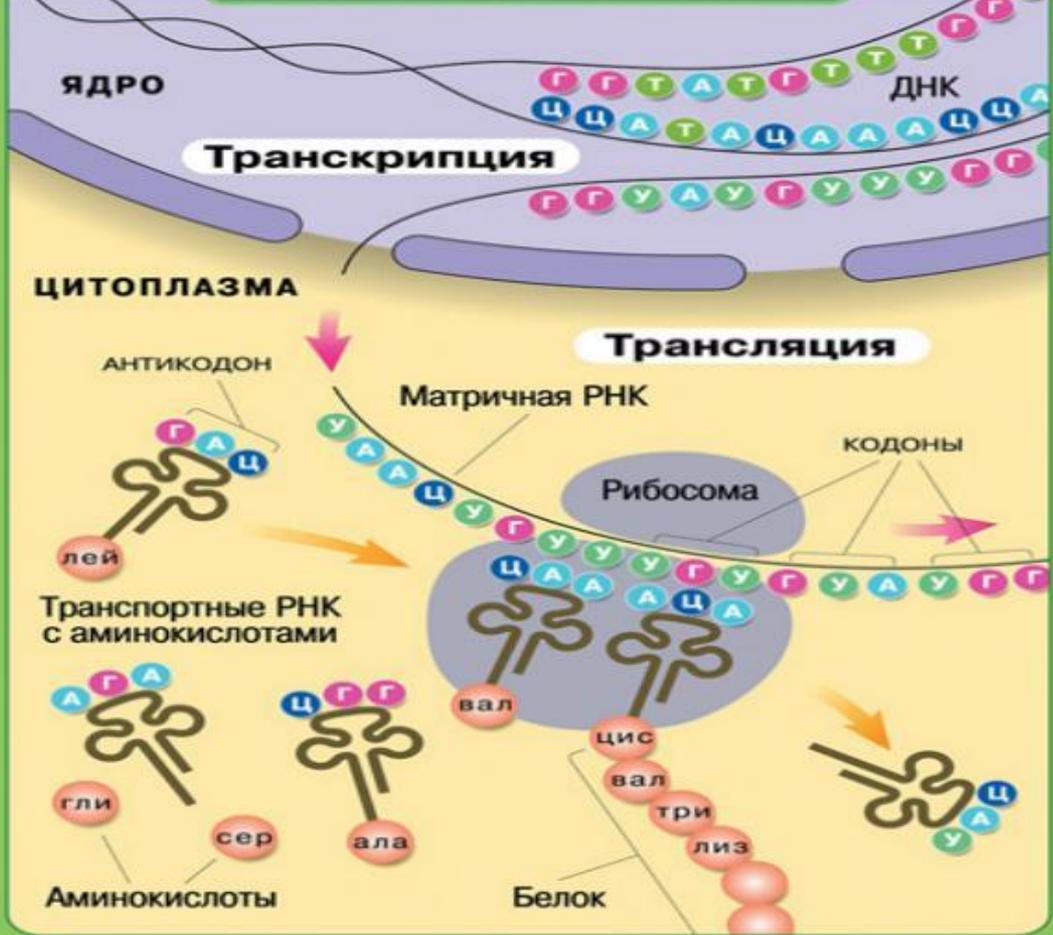
**Синтетическая теория эволюции = естественный отбор + генетика**

Две основных проблемы синтетической (современной) теории эволюции:

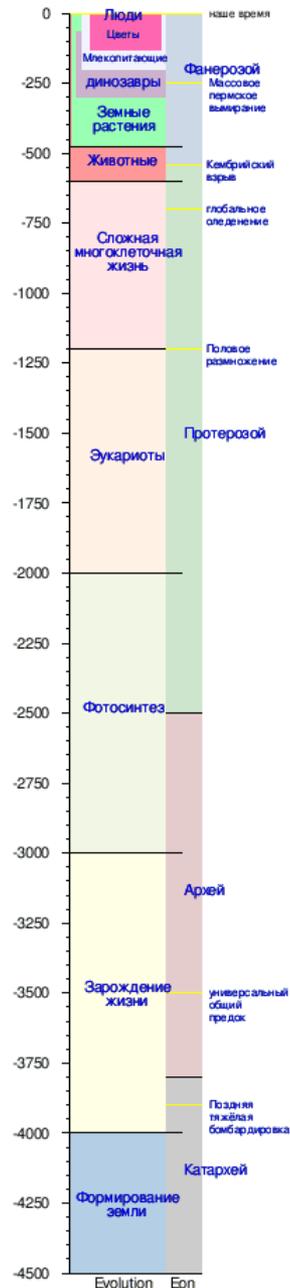
- 1. Как происходила эволюция на той стадии, когда у живых существ еще не было генетического аппарата?**
- 2. Количественные оценки вероятности некоторых эволюционных событий дают исчезающе малые величины.**

Таким образом, синтетическую теорию эволюции можно охарактеризовать как теорию органической эволюции путём естественного отбора признаков, детерминированных генетически

# СИНТЕЗ БЕЛКА



© 2000



<b>Возраст Вселенной</b>	<b>13.77 млрд. лет</b>
Галактика (Млечный Путь)	13,2 млрд. лет
Солнце	4,77 млрд. лет
Земля	около 4,567 млрд лет
Зарождение жизни	3,7 – 4,1 млрд. лет
Кислородный фотосинтез	2.5 млрд. лет
Многоклеточные	1.2 млрд. лет
Человек	ок. 0.0002 млрд. лет

## **Краткий обзор эволюционных теорий**

Основные положения **синтетической теории эволюции**:

**Синтетическая теория эволюции = естественный отбор + генетика**

Две основных проблемы синтетической (современной) теории эволюции:

- 1. Как происходила эволюция на той стадии, когда у живых существ еще не было генетического аппарата?**
- 2. Количественные оценки вероятности некоторых эволюционных событий дают исчезающе малые величины.**

Попытка решения этих проблем привела к созданию теории, которую все чаще называют **симбиотической теорией эволюции**

## **Краткий обзор эволюционных теорий**

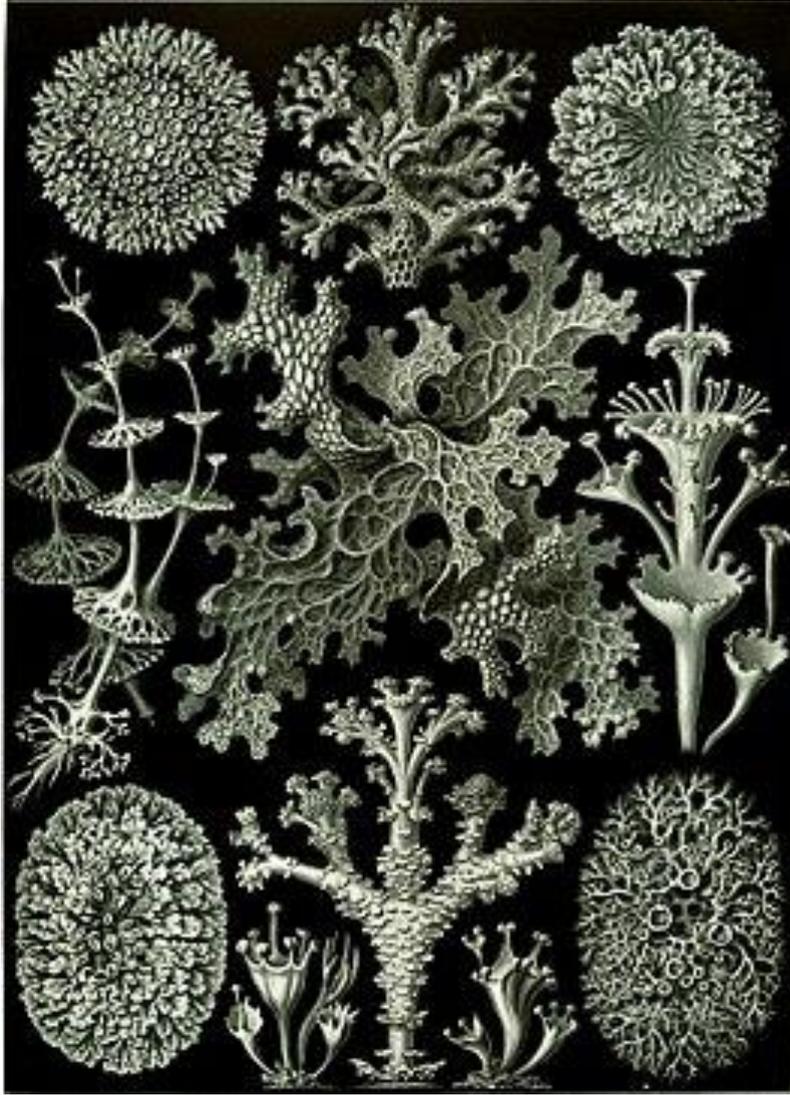
**Линн Маргулис (1938 - 2011)**



**Андрей Сергеевич Фаминцын (1835 – 1918)**



**Попытка решения этих проблем привела к созданию теории, которую все чаще называют симбиотической теорией эволюции**

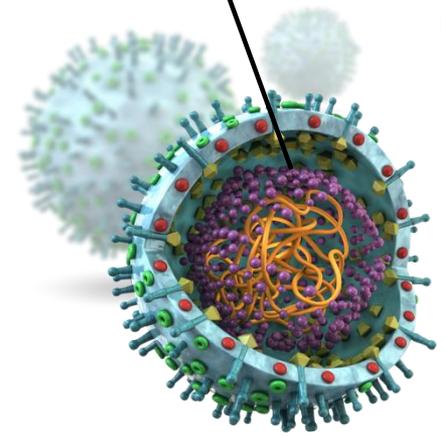
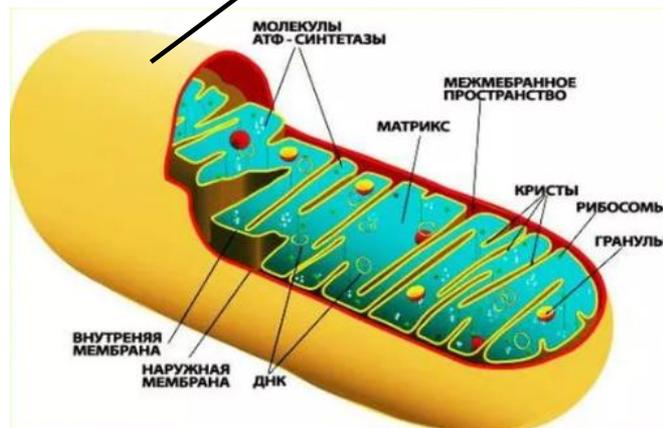
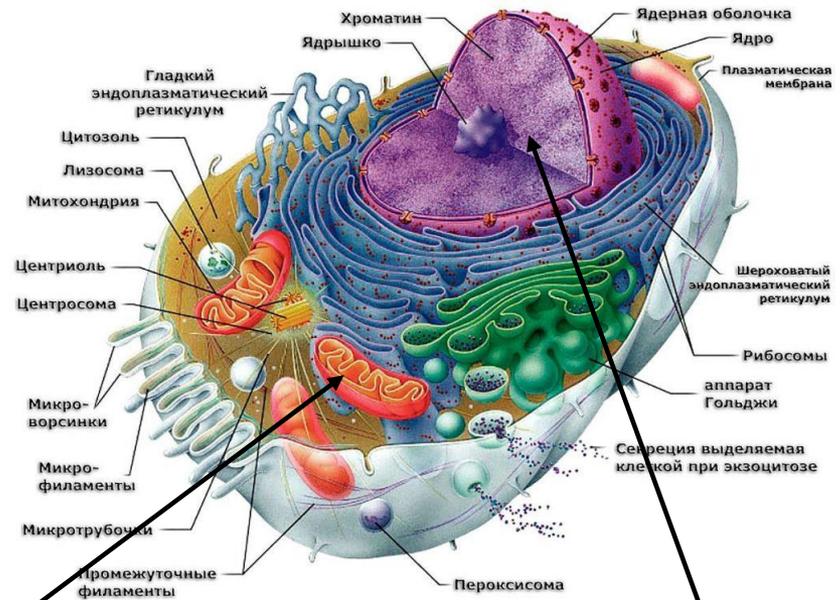


**Андрей Сергеевич Фаминцын (1835 – 1918)**



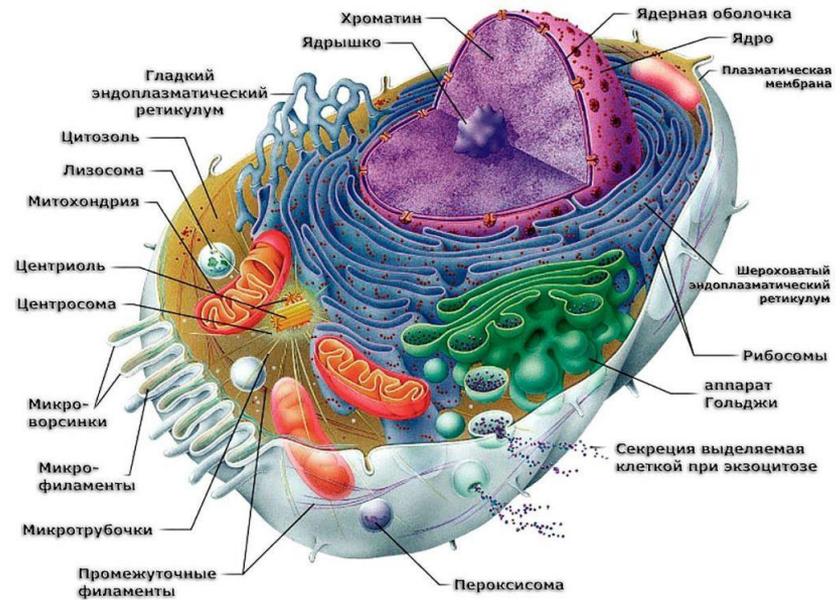
# Краткий обзор эволюционных теорий

Линн Маргулис (1938 - 2011)



## Краткий обзор эволюционных теорий

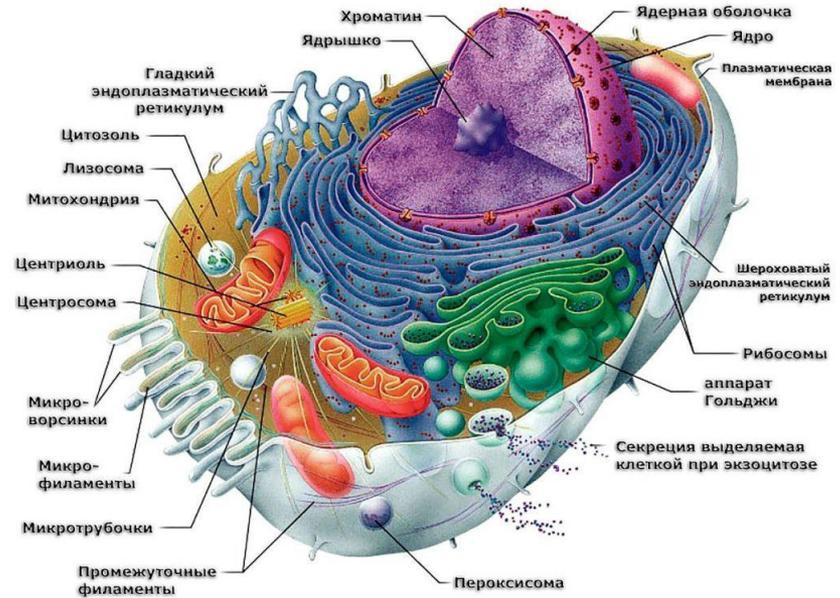
Линн Маргулис (1938 - 2011)



Наиболее известна исследованиями клеточных органоидов и развитием эндосимбиотической теории происхождения органоидов клетки — теории, которую впервые выдвинул русский ботаник Андрей Сергеевич Фаминцын (1835—1918). Лично занималась популяризацией достижений своих предшественников, включая также русских учёных Константина Мережковского и Бориса Козо-Полянского, в том числе реализовала английский перевод книги последнего «Новый принцип биологии. Очерк теории симбиогенеза».

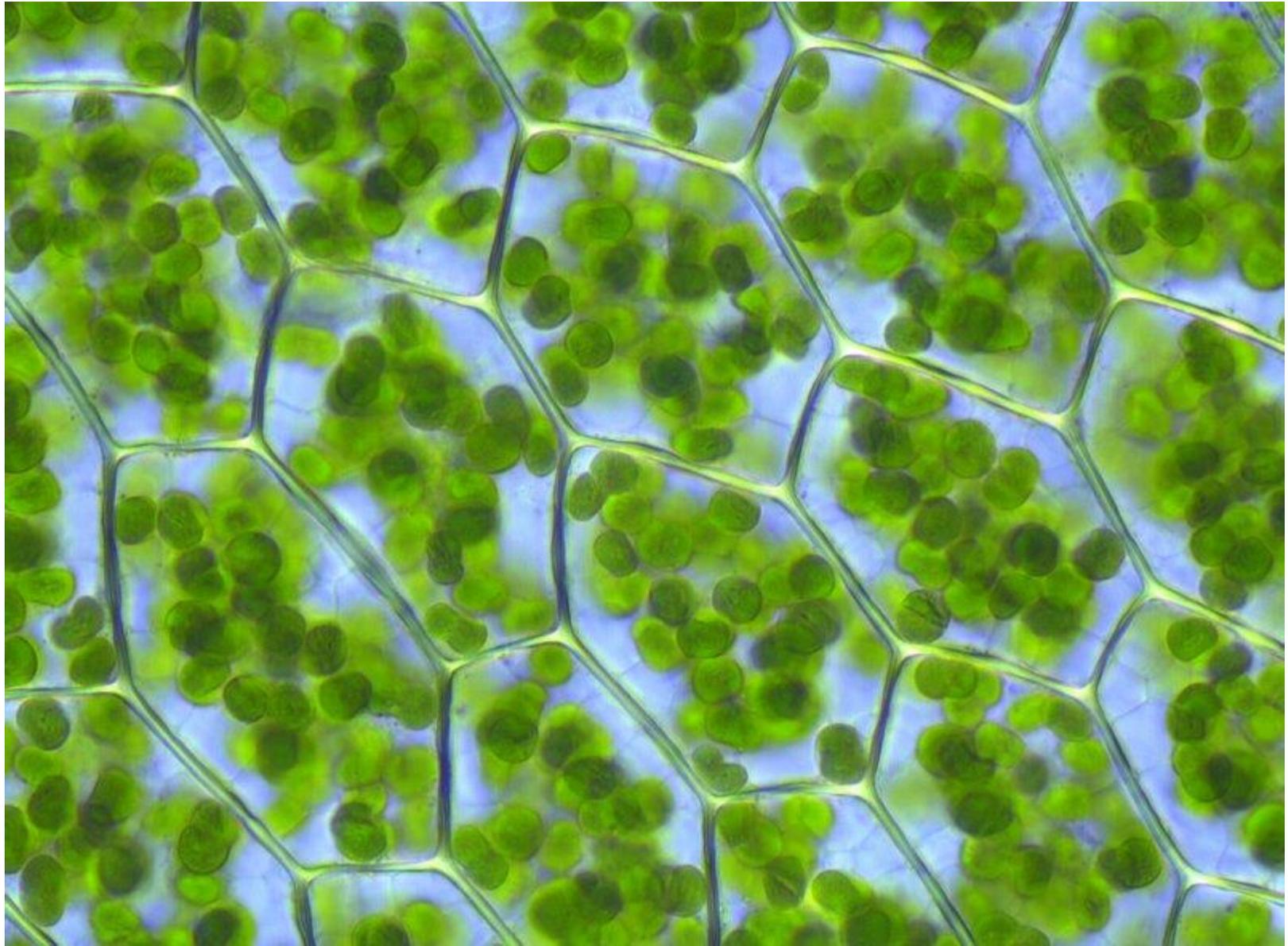
## Краткий обзор эволюционных теорий

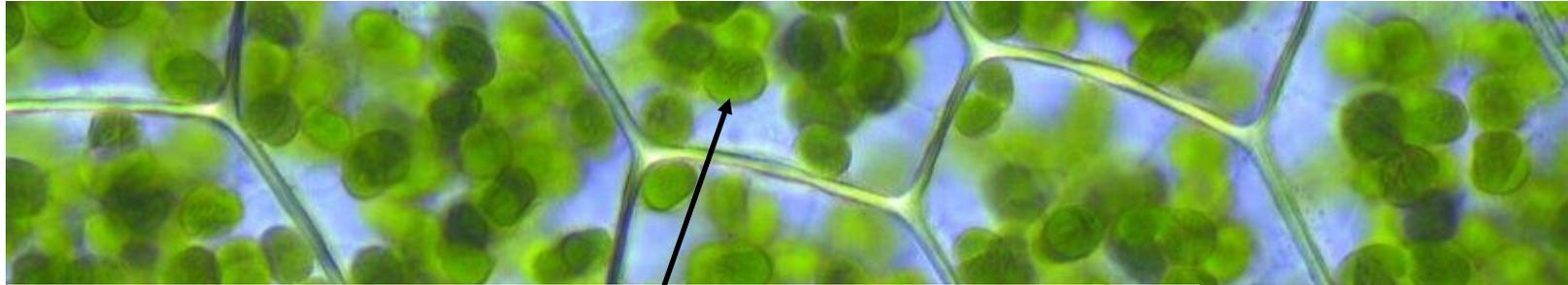
Линн Маргулис (1938 - 2011)



Линн Маргулис — один из авторов названия таксона Eukaryota Whittaker & Margulis, 1978 (Эукариоты), объединяющего все ядерные организмы, то есть те живые организмы, клетки которых содержат ядра (в том числе растения, грибы и животные).

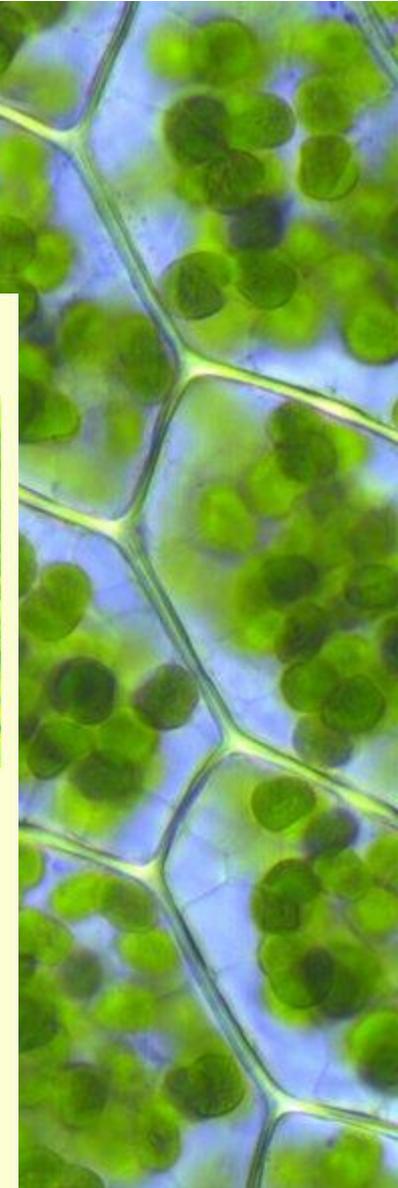
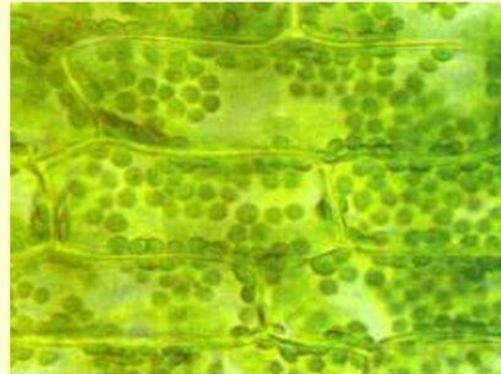
Как ботаник занималась исследованиями водорослей.





## Пластиды

- органоиды растительной клетки
- внутреннее содержимое хлоропласта – строма
- в строме находятся выросты мембраны (тилакоиды)
- стопки тилакоидов образуют граны

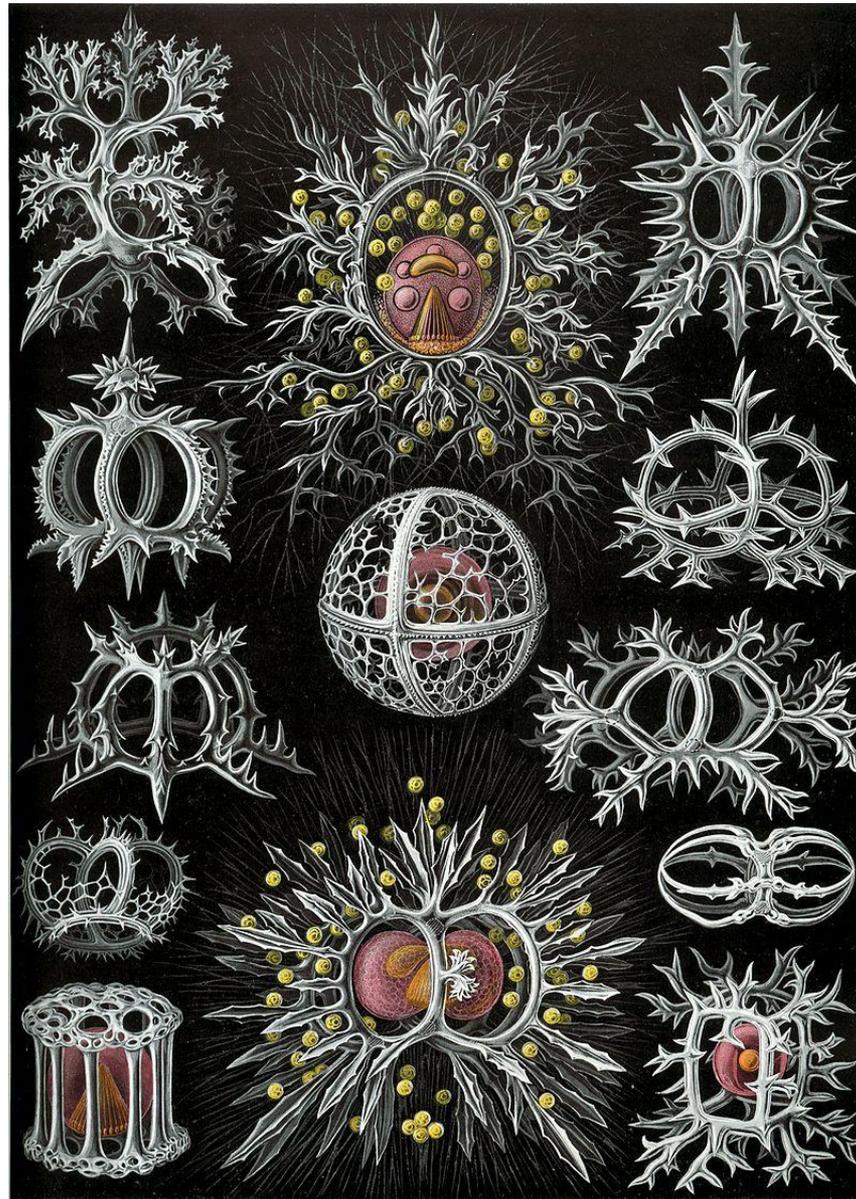


## **Краткий обзор эволюционных теорий**

### **Симбиотическая теория эволюции (основные положения):**

- 1. Важная роль межвидового (и внутривидового) сотрудничества в противовес «Дарвиновской» конкуренции (Пётр Алексеевич Кропоткин (1842 - 1921) «Кропоткин П.А. Взаимопомощь как фактор эволюции.»**
- 2. Симбиотическая изменчивость (дополнительно к мутациям)**
- 3. Симбиотическое наследование (дополнительно к генетическому)**



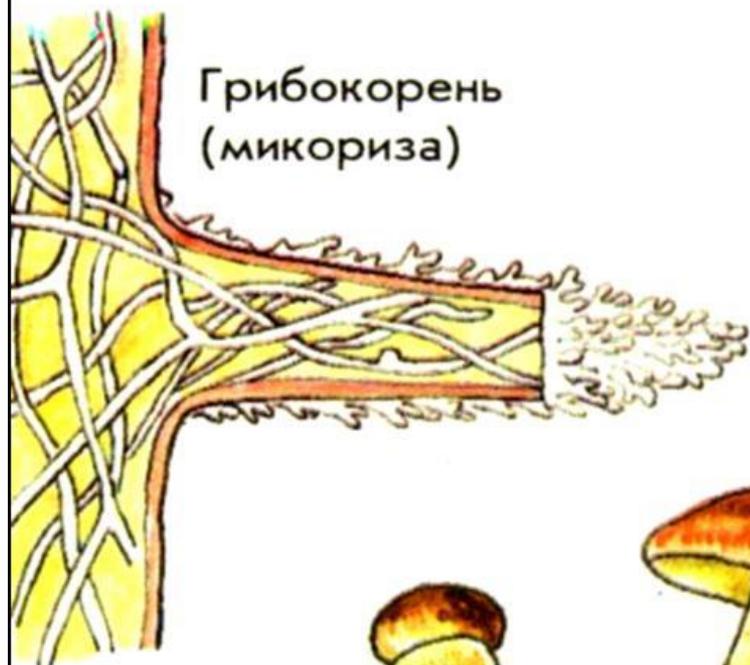








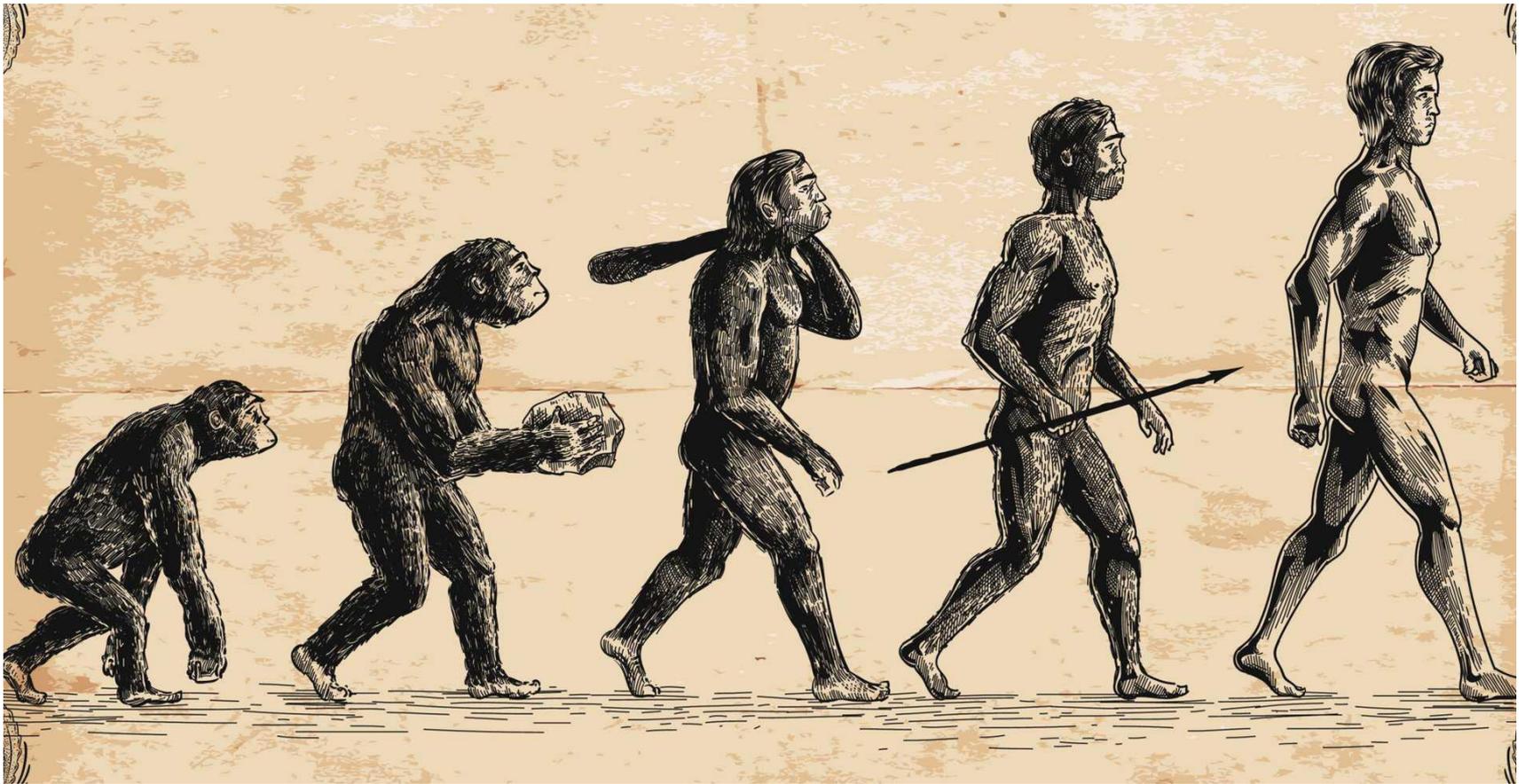




Корень дерева  
с микоризой

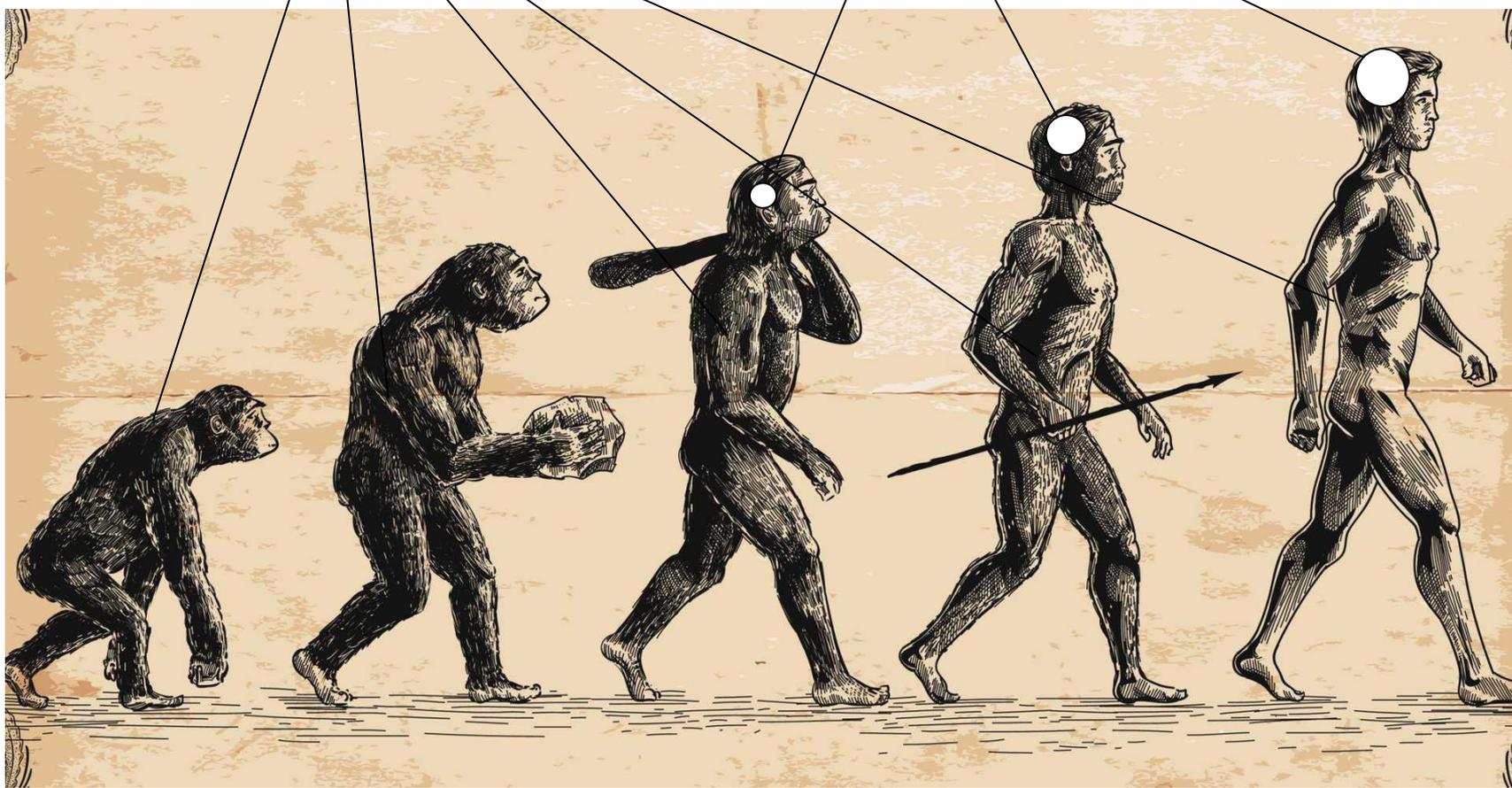


# Эволюция человека



Примат

Человек



# Эволюция человека

Существует точка зрения, в соответствии с которой человек представляет собой симбиоз примата и собственно человека (в узком смысле слова). При этом, человек в узком смысле слова (или немного упрощая - человеческое сознание) представляет собой живое существо информационной природы, обитающее в нейронной сети мозга и обладающее ключевым признаком живого существа – способностью к размножению с наследованием признаков.

Такими наследуемыми признаками человеческого сознания являются:

1. Навыки (трудовые, языковые...)
2. Знания об окружающем мире
3. Представления о правилах взаимодействия с другими людьми
4. и. т.д.

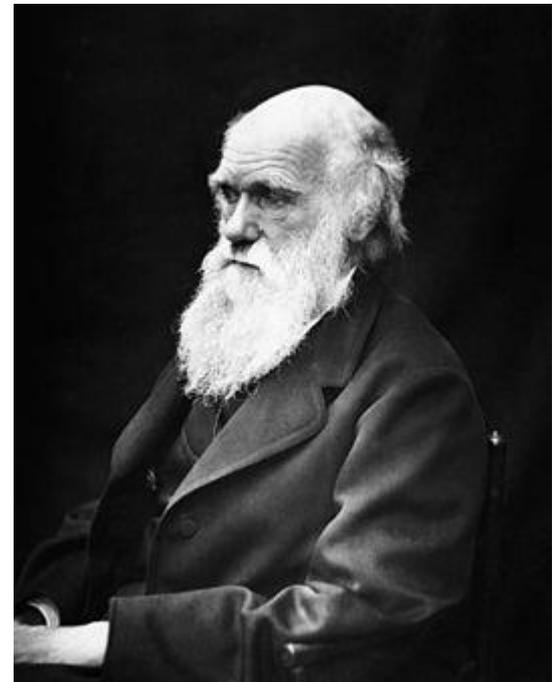
Обратим внимание, что ключевые признаки человеческого сознания не передаются генетически. Их передача происходит в процессе воспитания и обучения (от старшего поколения).

Эволюция человека (человеческого сознания) значительно ускорилась с появлением речи и особенно с появлением письменности.

# Эволюция человека

По-видимому, первым, кто обратил на ключевое различие между человеком и животными, связанное не с биологическими функциями, а с информационной природой человеческого сознания (человеческой личности) был Чарльз Дарвин. Широко известна следующая его цитата:

«Внушения совести в связи с раскаянием и чувством долга являются важнейшими различиями между человеком и животным»



**Чарльз Дарвин  
(1809 - 1882)**

# Эволюция человека

Особенностью эволюции человека (в широком смысле слова – как симбиотического организма) является существенная разница в темпах эволюции составляющих частей. В то время как человеческое сознание эволюционирует с огромной скоростью, скорость биологической эволюции *homo sapiens* (примата – носителя сознания) существенно ниже.

Отметим две наиболее существенные проблемы стоящие на пути дальнейшей эволюции человека как информационного существа – человеческого сознания:

1. Ограниченная продолжительность жизни ограничивает возможности развития человеческого сознания. Уже сегодня приобретение навыков, необходимых для выполнения высокоинтеллектуальной работы занимает значительную часть жизни (до 30-35 лет).
2. Особенности функционирования биологических систем человеческого организма сильно затрудняют его пребывание в космосе, расселение в Солнечной системе и полеты к другим звездам.

Нужно сказать, что предшествующая эволюция человека включала в себя негенетический этап приспособления к окружающей среде. Изготовление орудий труда, охоты, применение одежды, огня, и дальнейший технический прогресс позволили человеку стать наиболее успешным видом, заселившим практически всю территорию планеты. В том числе и те районы, которые были совершенно непригодны для проживания приматов.

# Эволюция человека

Продолжением линии негенетической эволюции человека может явиться существенное изменение свойств носителя сознания. В настоящее время рассматривается два основных направления такого изменения:

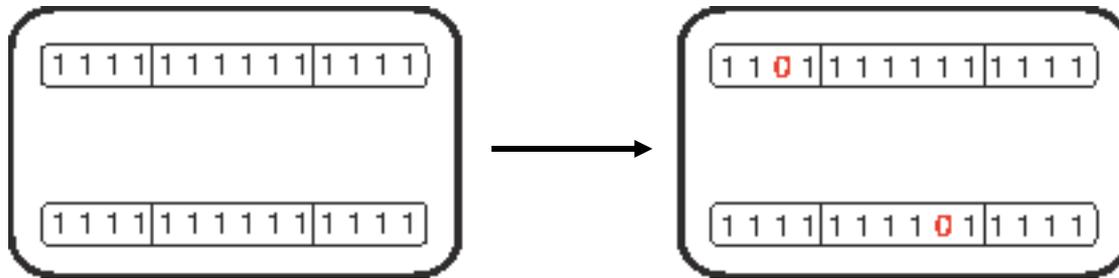
1. Первое направление связано с целенаправленным (неэволюционным) совершенствованием биологического организма – носителя человеческого сознания (примата). При этом планируется достижение существенного увеличения продолжительности жизни человеческого организма и повышения его устойчивости к различным факторам окружающей среды (в т.ч. космической).
2. Второе направление связано с идеей полного отказа от биологического носителя человеческого сознания – человеческого тела. Рассматривается возможность переноса человеческого сознания на электронный носитель, который может быть размещен как в атропоморфном «теле», так и в произвольном.

В современной философии существует направление, рассматривающее самые различные аспекты такой негенетической эволюции человека – трансгуманизм.

В нашей лекции мы кратко коснемся естественнонаучных аспектов. Проанализируем возможность существенного продления жизни человека и оценим технические сложности, которые необходимо будет преодолеть для возможного переноса человеческого сознания на искусственный (электронный) носитель.

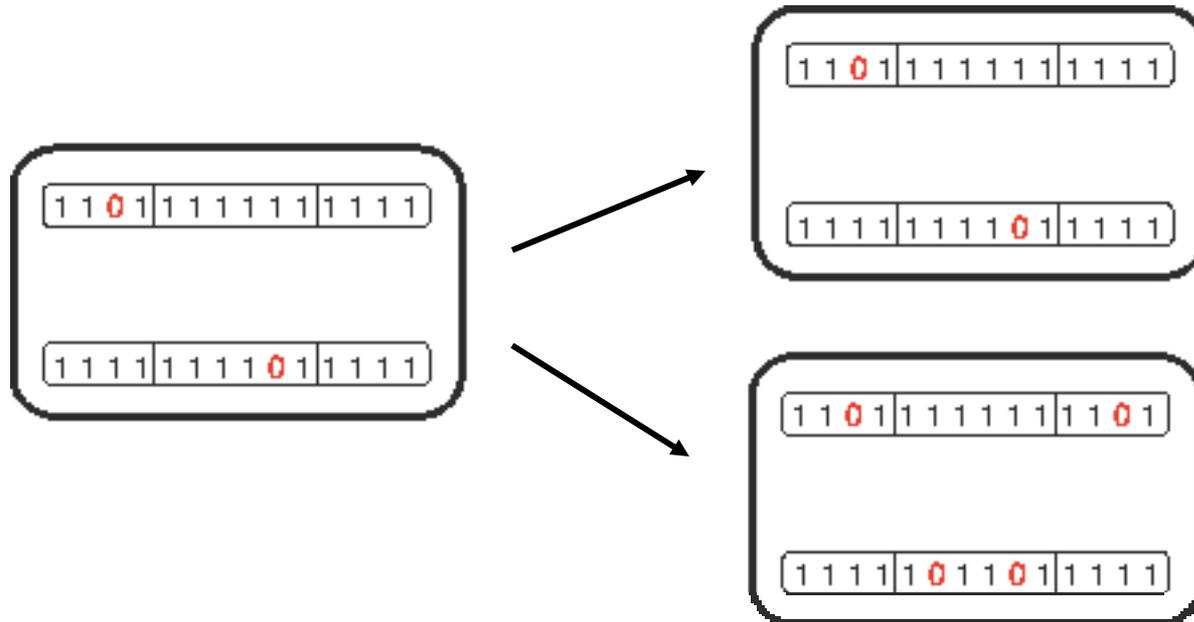
## Основные положения информационной теории старения

1. В каждой из двух копий генетической информации, содержащейся в соматических (диплоидных) клетках эукариотического организма, в течение всей их жизни происходит накопление дефектов (ошибок)



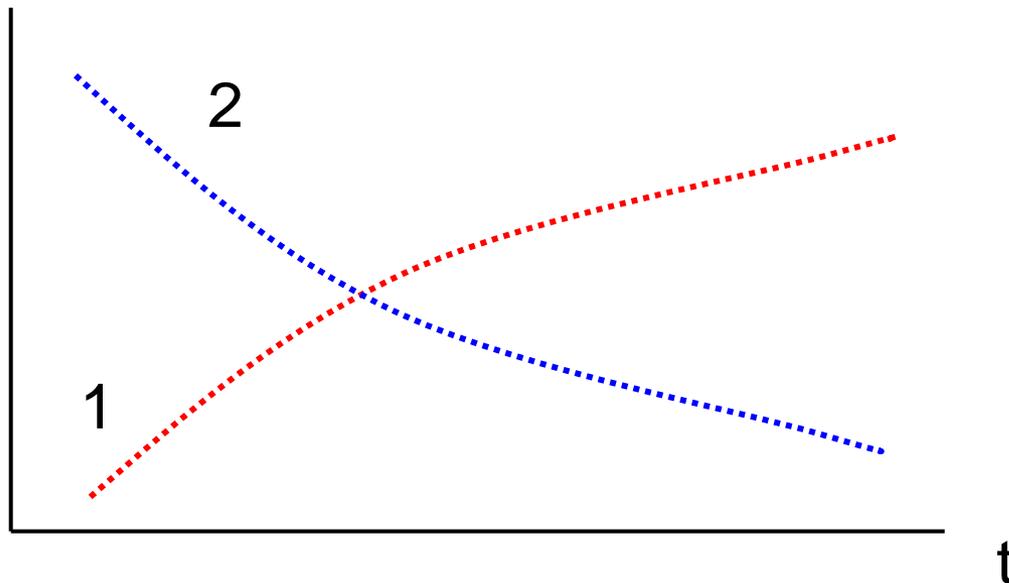
## Основные положения информационной теории старения

2. При митотическом делении количество дефектов в дочерних клетках будет, по крайней мере, не ниже количества дефектов в материнской



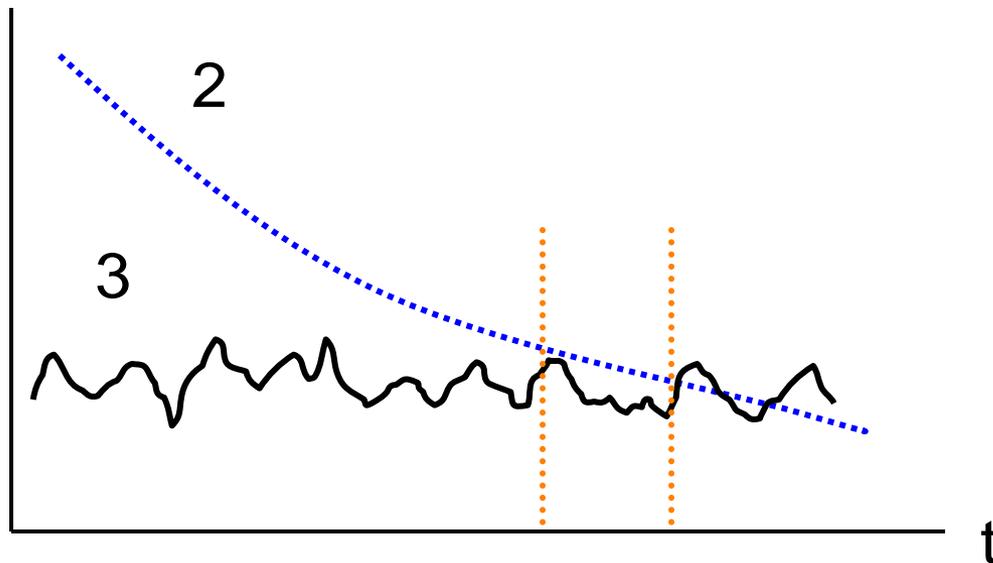
## Основные положения информационной теории старения

3. По мере накопления ошибок в генетическом материале (1), жизнеспособность (жизненная сила – в некоторых работах) как отдельных клеток, так и суммарная жизнеспособность всего организма (2) будет снижаться



## Основные положения информационной теории старения

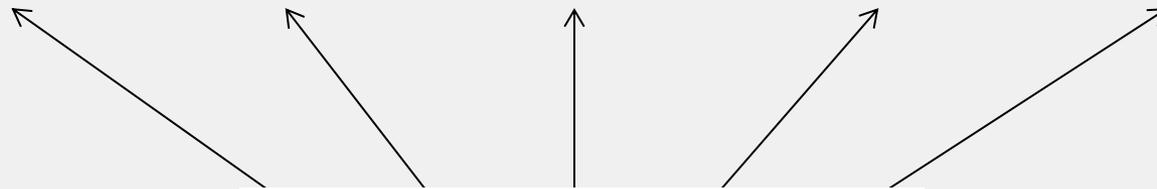
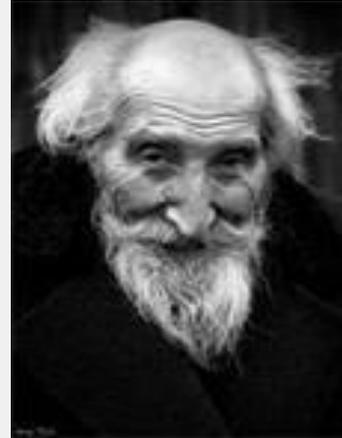
4. По мере снижения параметра жизнеспособности (2) снижается способность организма противостоять неблагоприятным воздействиям внешней среды (3) и повышается вероятность его смерти



**Информационная теория старения** рассматривает снижение функциональности организма и его систем с возрастом как результат уменьшения функциональности клеточных репарационных механизмов вследствие накопления во всех клетках организма нерепарируемых геномных повреждений. В этом отношении, с точки зрения первопричины старения, она согласуется с **теорией соматических мутаций**, предложенной Сциллардом в 1959 году.

**Szilard L. On the nature of the aging process //Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 1959. – Т. 45. – №. 1. – С. 30.**

Вместе с тем, информационная теория старения существенно отличается и от раннего варианта Сцилларда, и от более поздних вариантов теории соматических мутаций механизмом обеспечения генетической устойчивости популяции. Действительно, в условиях предположения о существенной роли мутаций в процессах старения, данный тип теорий нуждался в обосновании того факта, что количество мутаций не растёт от поколения к поколению. Проблема получила название **«парадокса нестареющей зародышевой линии»**.



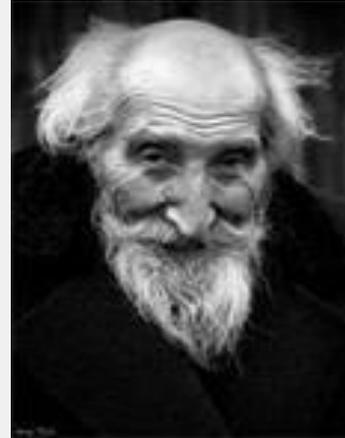
- Температурные флуктуации
- Свободные радикалы
- Ионизирующая радиация

Первопричина старения – процесс накопления ошибок в генетической информации под воздействием различных факторов.

## Парадокс «ускользания» от старения клеток зародышевой линии

Если предположить, что в клетках зародышевой линии, так же как и в других клетках организма, количество геномных повреждений увеличивается со временем, то к моменту достижения репродуктивного возраста количество геномных повреждений в клетках зародышевой линии будет гарантированно большим, чем начальное количество повреждений генома у данного организма, наблюдаемое сразу после слияния родительских гамет.

Поскольку клетки зародышевой линии, в свою очередь, продуцируют гаметы, принимающие участие в формировании генома дочерних организмов, то на первый взгляд кажется, что в каждом следующем поколении количество генетических ошибок должно увеличиваться.



Основной парадокс информационной теории старения:

**КАКИМ ОБРАЗОМ «УСКОЛЬЗАЕТ» ОТ СТАРЕНИЯ ЗАРОДЫШЕВАЯ ЛИНИЯ?** - решение опубликовано в 2009 году.

*БИОФИЗИКА, 2009, том 54, вып.4, с.726–732*

БИОФИЗИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*УДК 577.3*

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА СТАРЕНИЯ: КАКИМ ОБРАЗОМ «УСКОЛЬЗАЕТ» ОТ СТАРЕНИЯ ЗАРОДЫШЕВАЯ ЛИНИЯ?**

© 2009 г. А.В. Карнаухов, Е.В. Карнаухова

*Институт биофизики клетки РАН, 142290, Пущино Московской области*

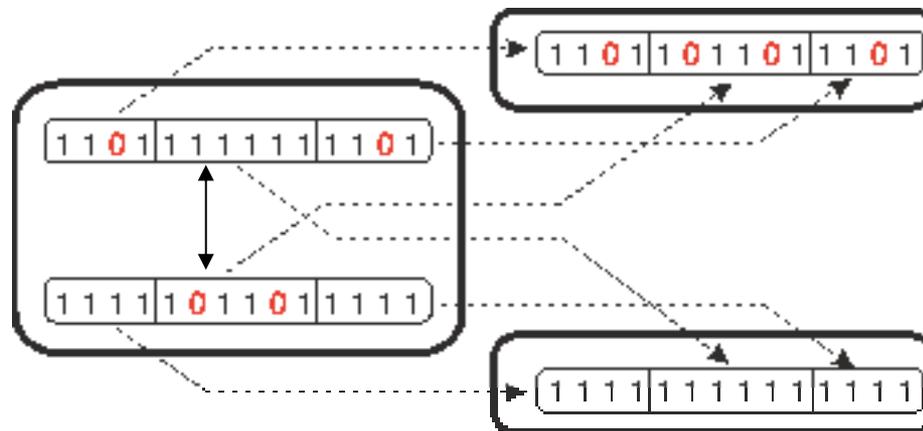
Поступила в редакцию 09.12.08 г.

Сформулирована информационная гипотеза старения и на ее основе построена имитационная модель выживания популяции многоклеточных организмов в условиях информационной деградации клеточного генетического материала (накопления случайных ошибок генома). В качестве основного механизма «омоложения» (снижения числа повреждений) генетического материала при его переходе от родительских особей к их потомкам рассматривается явление кроссинговера при гаметогенезе и последующий конкурентный отбор гамет, участвующих в формировании генетического материала потомков. В рамках имитационной модели показано, что данный механизм, существующий у большинства эукариот, обеспечивает устойчивость генофонда популяции на протяжении большого числа поколений, в то время как для отдельного организма наблюдается увеличение числа ошибок (повреждений) генома с возрастом.

*Ключевые слова: старение, геном, информационная гипотеза старения, имитационное моделирование, кроссинговер, эволюция, зародышевая линия.*

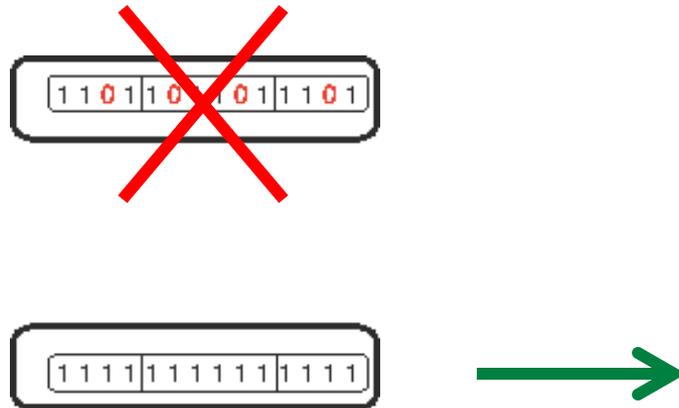
## Основные положения информационной теории старения

5. Ключевым процессом, позволяющим «исправить» информационные ошибки родительского генома, предлагается рассматривать **кроссинговер** – процесс обмена гомологичными участками между двумя копиями генома (хромосом) на одной из стадии мейоза (рекомбинация генов). Важным свойством этого процесса является существенно отличная от нуля вероятность появления гамет с меньшей плотностью информационных ошибок в геноме по сравнению с геномом родительской особи



## Основные положения информационной теории старения

6. Заключительным положением информационной гипотезы старения, является предположение о том, что гаметы, содержащие меньше информационных повреждений (ошибок), имеют больше шансов «породить» новый диплоидный организм, чем гаметы, геном которых содержит большее количество ошибок. Подобный **конкурентный отбор** «успешных» гамет обеспечивает примерное постоянство количества генетических ошибок на протяжении неограниченного числа поколений



Возраст – 0 лет  
Соматические  
клетки

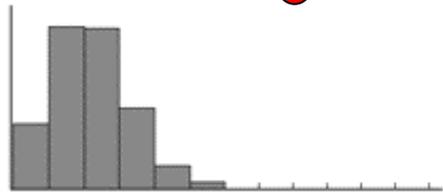
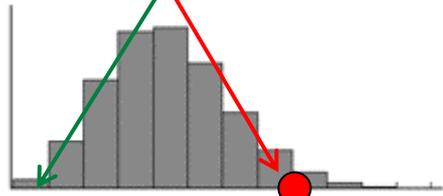
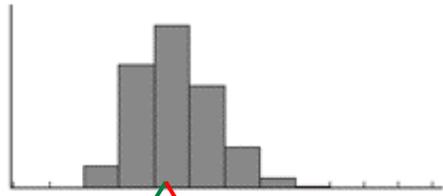
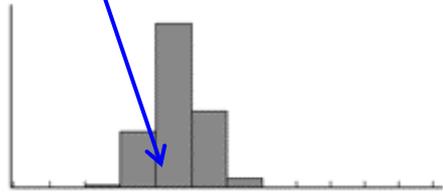
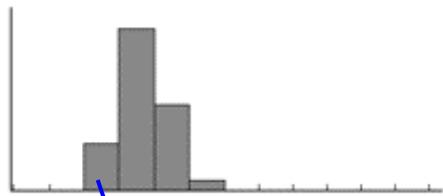
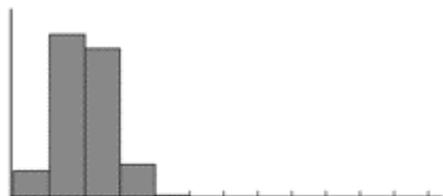
Возраст – 7 лет  
Соматические  
клетки

Возраст – 14 лет  
Соматические  
клетки

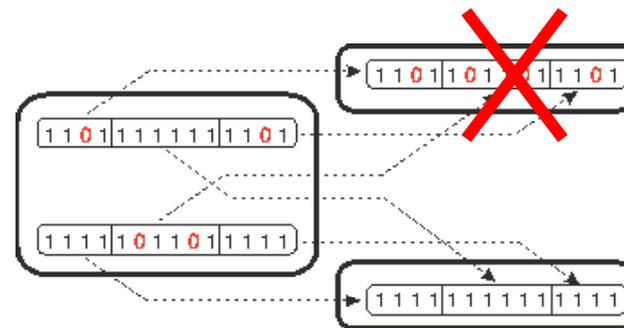
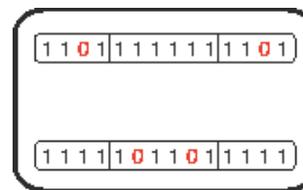
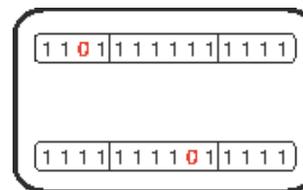
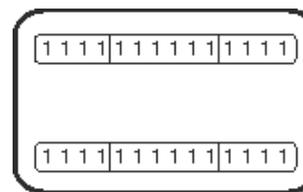
Родительские  
соматические  
клетки

Вся популяция  
гамет

Популяция гамет,  
прошедших отбор



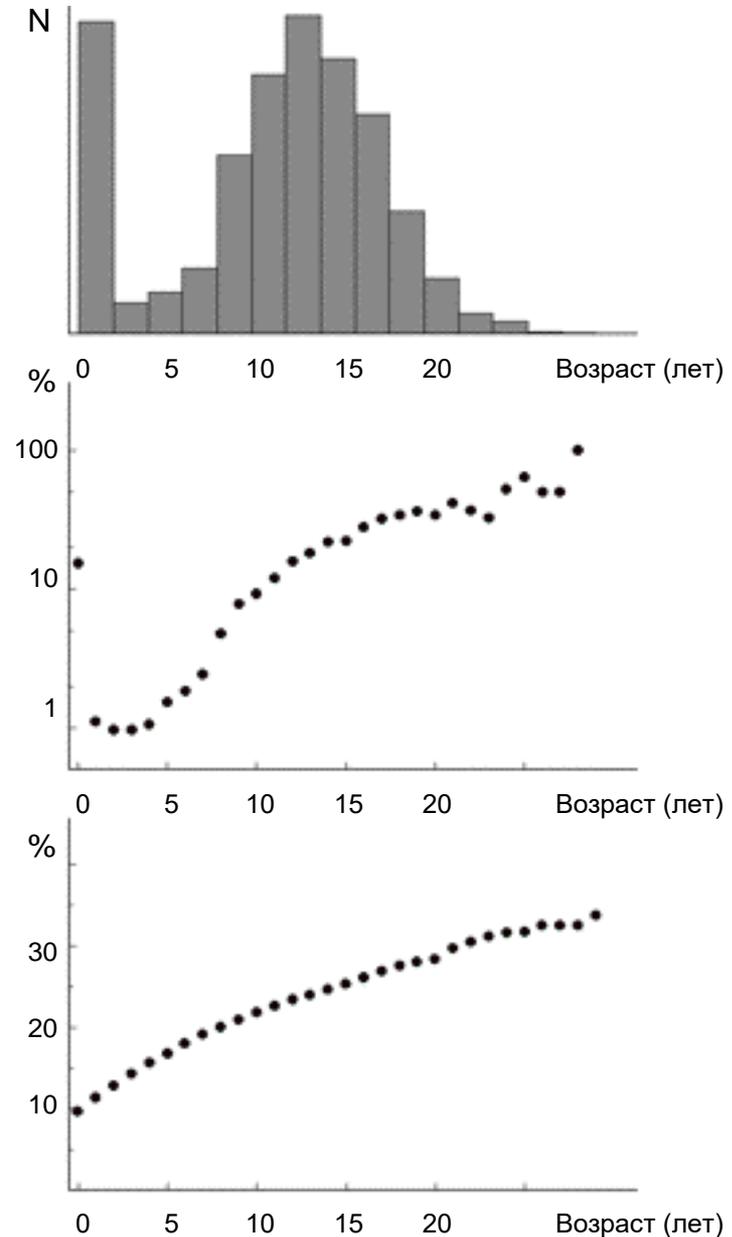
0 5 10 15 20 % ошибок генома

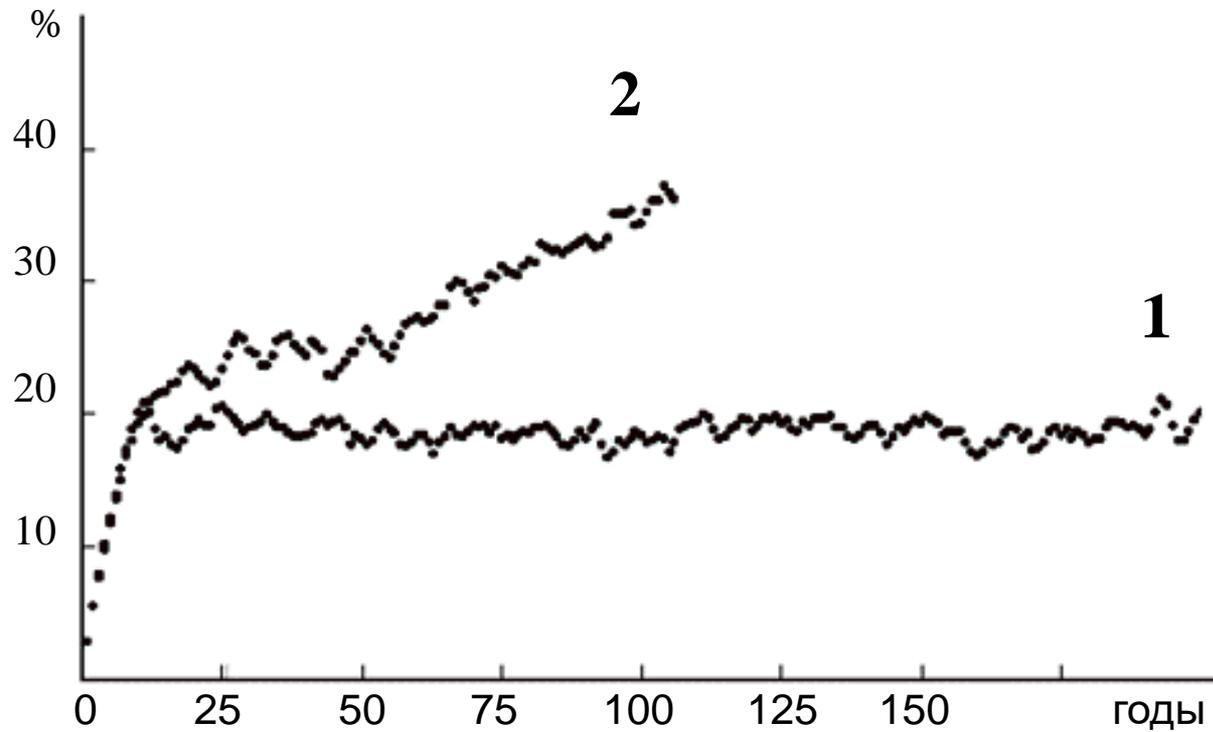


**Возрастная динамика смертности для модельной популяции в стационарном состоянии (абсолютные величины)**

**Возрастная динамика смертности для модельной популяции в стационарном состоянии (относительные величины)**

**Возрастная динамика количества геномных повреждений для модельной популяции в стационарном состоянии**





Накопление геномных повреждений со временем в нормальной популяции (1) и в популяции с заблокированным кроссинговером (2)

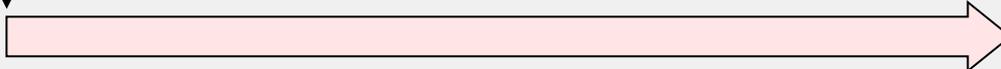
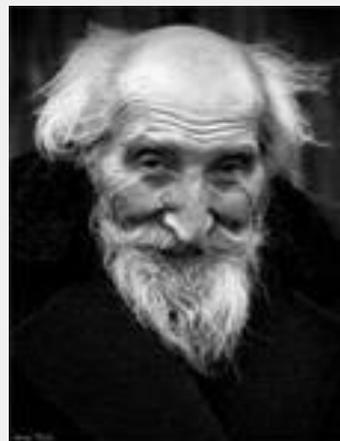
На первый взгляд информационная теория старения (ИТС) представляется крайне пессимистической с точки зрения возможности влиять на развитие старения у человека. Однако, это не совсем так.

## **ОТЛОЖЕННАЯ АУТОТРАНСПЛАНТАЦИЯ КОСТНОГО МОЗГА (КМ)**

# Отложенная аутотрансплантация КМ



# Отложенная аутотрансплантация КМ

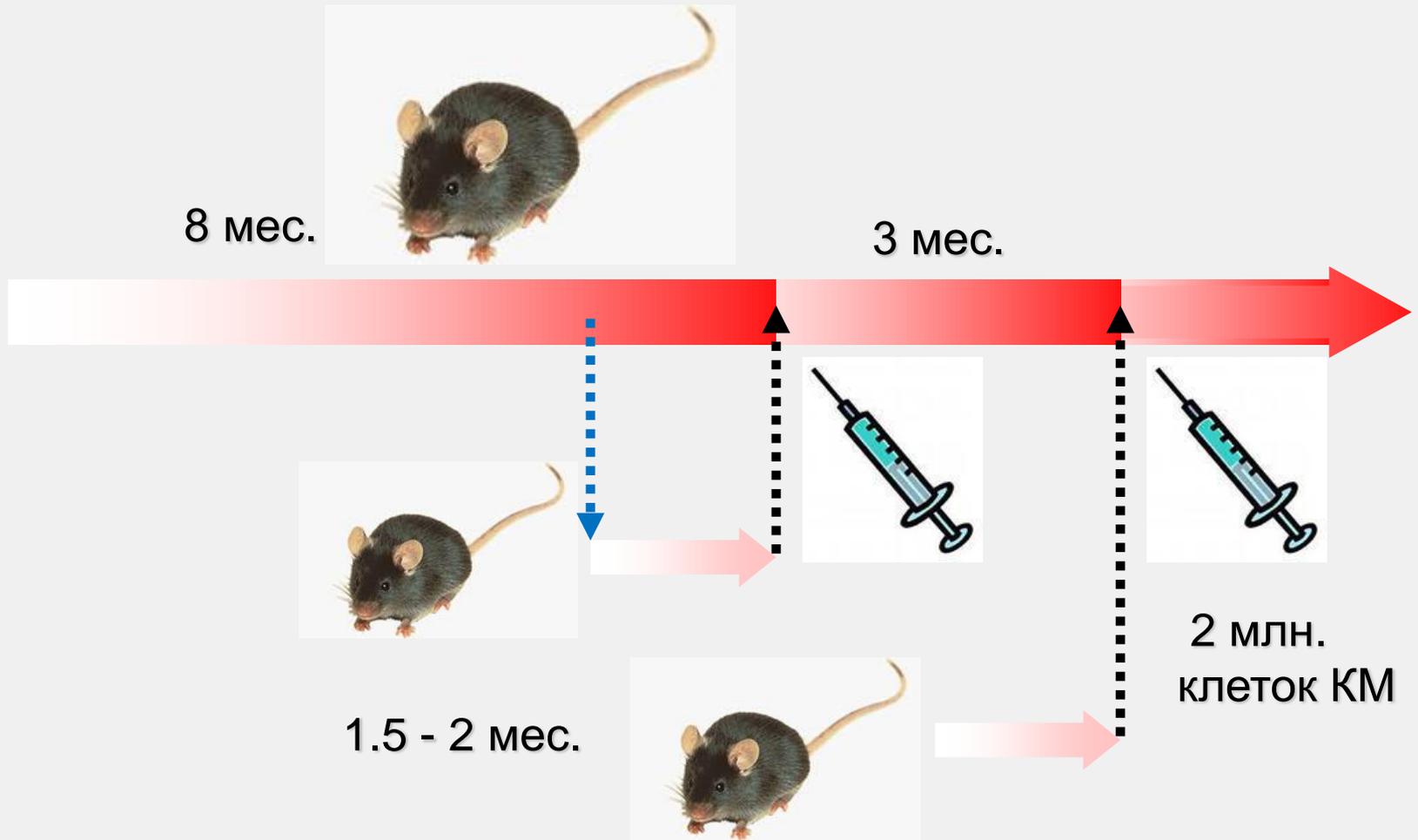


# Отложенная аутотрансплантация КМ



Эксперимент на лабораторных животных (№1) по определению влияния на среднюю продолжительность жизни инъекций КМ от молодых сингенных доноров. (2009-2013)

# Схема эксперимента



## Journal of Biophysics

[Home](#) [Editorial Board](#) [Author Guidelines](#) [Aims and Scope](#) [Submit a Manuscript](#)

J Biophys. 2015; 2015: 686249.

PMCID: PMC4605449

Published online 2015 Sep 30. doi: [10.1155/2015/686249](https://doi.org/10.1155/2015/686249)

### Informational Theory of Aging: The Life Extension Method Based on the Bone Marrow Transplantation

[Alexey V. Karnaukhov](#)<sup>1,\*</sup>, [Elena V. Karnaukhova](#)<sup>1</sup>, [Larisa A. Sergievich](#)<sup>1</sup>, [Natalia A. Karnaukhova](#)<sup>1</sup>, [Elena V. Bogdanenko](#)<sup>2</sup>, [Irina A. Manokhina](#)<sup>1</sup> and [Valery N. Karnaukhov](#)<sup>1</sup>

[Author information](#) ▶ [Article notes](#) ▶ [Copyright and License information](#) ▶

#### Abstract

Go to: 

The method of lifespan extension that is a practical application of the informational theory of aging is proposed. In this theory, the degradation (error accumulation) of the genetic information in cells is considered a main cause of aging. According to it, our method is based on the transplantation of genetically identical (or similar) stem cells with the lower number of genomic errors to the old recipients. For humans and large mammals, this method can be realized by cryopreservation of their own stem cells, taken in a young age, for the later autologous transplantation in old age. To test this method experimentally, we chose laboratory animals of relatively short lifespan (mouse). Because it is difficult to isolate the required amount of the stem cells (e.g., bone marrow) without significant damage for animals, we used the bone marrow transplantation from sacrificed inbred young donors. It is shown that the lifespan extension of recipients depends on level of their genetic similarity (syngeneity) with donors. We have achieved the lifespan increase of the experimental

PubReader format:  
click here to try

#### Formats:

Article | [PubReader](#) | [ePub \(beta\)](#) | [PDF \(2.7M\)](#) | [Citation](#)

#### Share

 Facebook  Twitter  Google+

#### Save items

 Add to Favorites 

#### Similar articles in PubMed

Effect on lifespan of high yield non-myeloablating transplantation of bone marrow from young to old mice. [Front Genet. 2013]

[Life extension study on high-yield non-myeloablating bone marrow transplantation from young to old mice]. [Tsitologii. 2012]

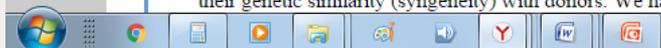
Aging of the recipients but not of the bone marrow donors enhances autoimmunity in syngeneic ra [Mech Ageing Dev. 1997]

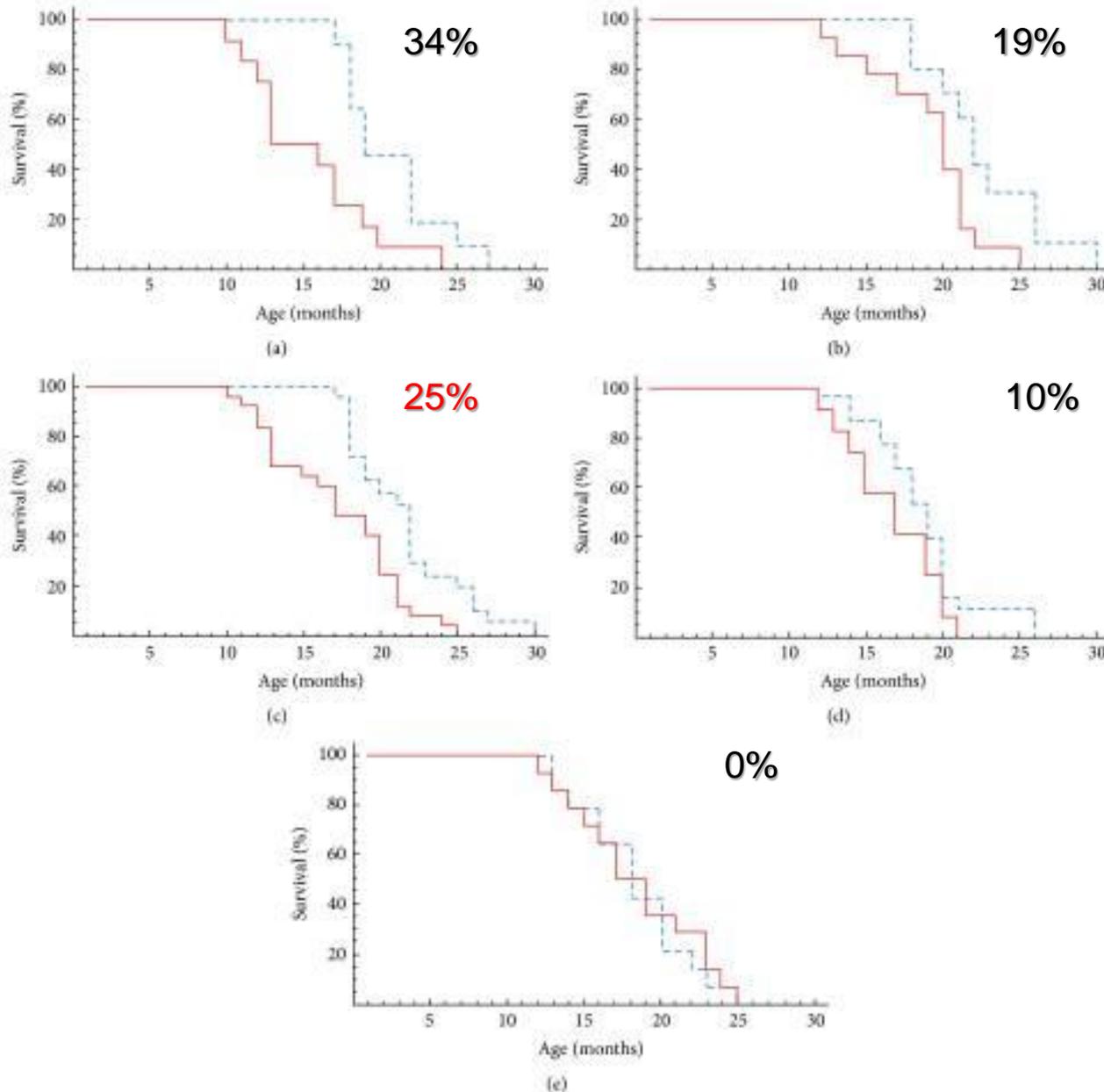
Bone marrow transplantation: a new strategy for intractable diseases. [Drugs Today (Barc). 2002]

Bone marrow transplantation for autoimmune diseases. [Acta Haematol. 1998]

See reviews...

See all





Dependence of survival of the experimental and control group of mice on age (months). Experimental group (dashed line) was transplanted without additional conditioning with  $2 \times 10^6$  bone marrow cells from young donors starting with recipient age of 6–8 months (syngeneic transplantation (a)–(d)) or 13–14 months (allogeneic transplantation (e)), regularly every three months. Solid line: control group (no transplantation).

(a) First group (eGFP C57Bl/6 female mice for which the additional inbreeding was carried out to approximate genomes of donor and recipient): syngeneic transplantation to eGFP<sup>-</sup> mice from eGFP<sup>+</sup> mice. Mean lifespan (MLS) was  $20.6 \pm 2.2$  months (experiment,  $n = 11$ ) and  $15.4 \pm 2.6$  months (control,  $n = 12$ ) (34% excess of control;  $P = 0.05$ ).

(b) Second group (eGFP C57Bl/6 female mice): syngeneic transplantation to eGFP<sup>-</sup> mice from eGFP<sup>+</sup> mice. MLS was  $22.6 \pm 1.6$  months (experiment,  $n = 10$ ) and  $18.9 \pm 1.4$  months (control,  $n = 13$ ) (19% excess of control;  $P = 0.20$ ).

(c) First and second groups together: MLS for the experimental group was  $21.5 \pm 1.6$  months and for the control –  $17.2 \pm 1.8$  months (25% excess of control;  $P = 0.05$ ).

(d) Third group: syngeneic transplantation to eGFP<sup>-</sup> C57Bl/6 mice (males) from eGFP<sup>+</sup> C57Bl/6 mice (females and males); MLS was  $18.6 \pm 0.6$  months (experiment,  $n = 21$ ) and  $15.4 \pm 2.6$  months (control,  $n = 12$ ) (10% excess of control;  $P = 0.40$ ).

(e) Allogeneic transplantation to BALB mice (females) from eGFP<sup>+</sup> C57Bl/6 mice (females and males): MLS was  $18.3 \pm 2.2$  months (experiment,  $n = 14$ ) and  $18.4 \pm 2.4$  months (control,  $n = 14$ ) ( $P = 0.05$ ; significant difference was not observed in survival dynamics of experimental and control groups of BALB mice).

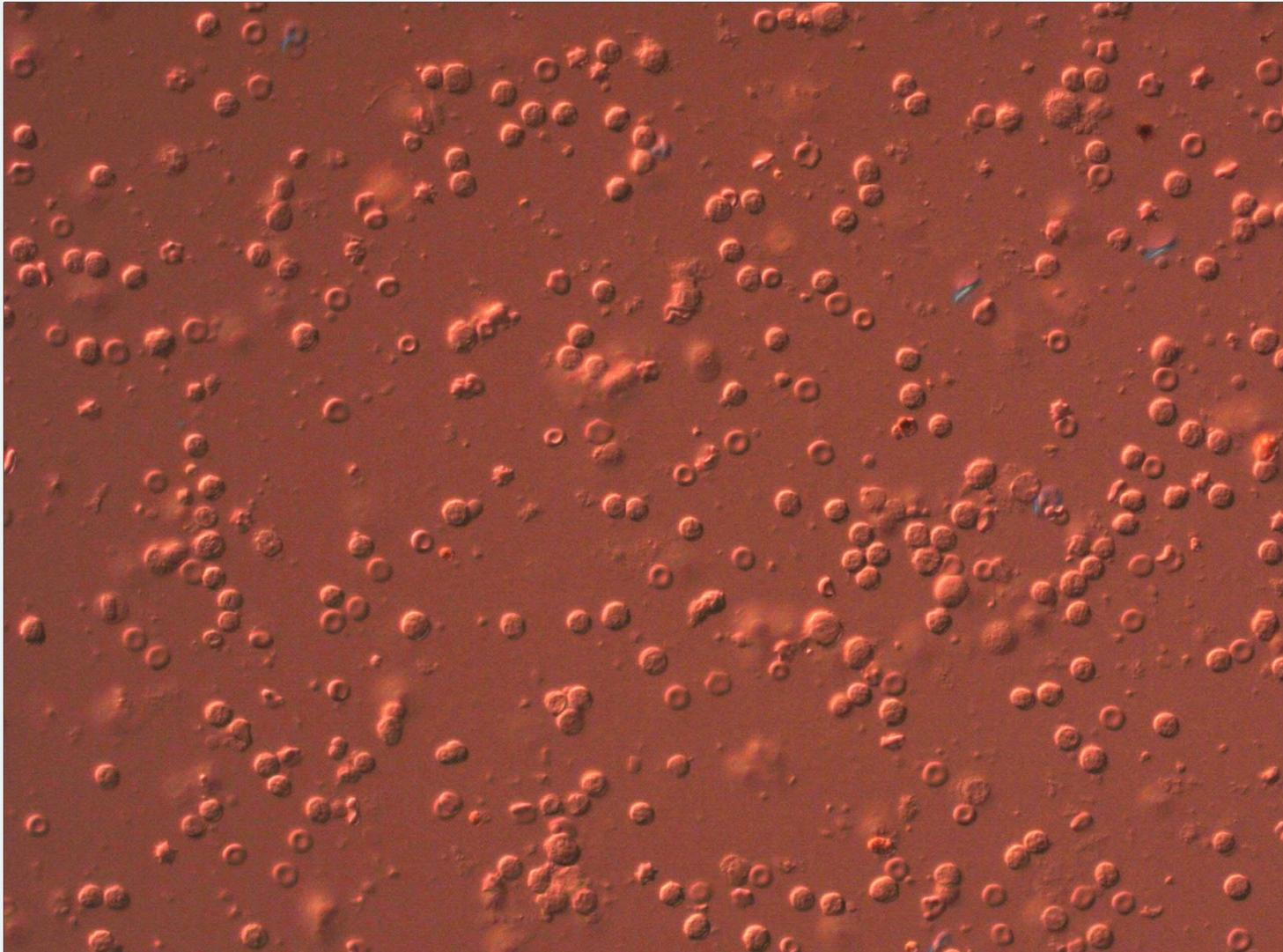


Рис. 3. Клетки селезенки реципиента после трансплантации (DIC)

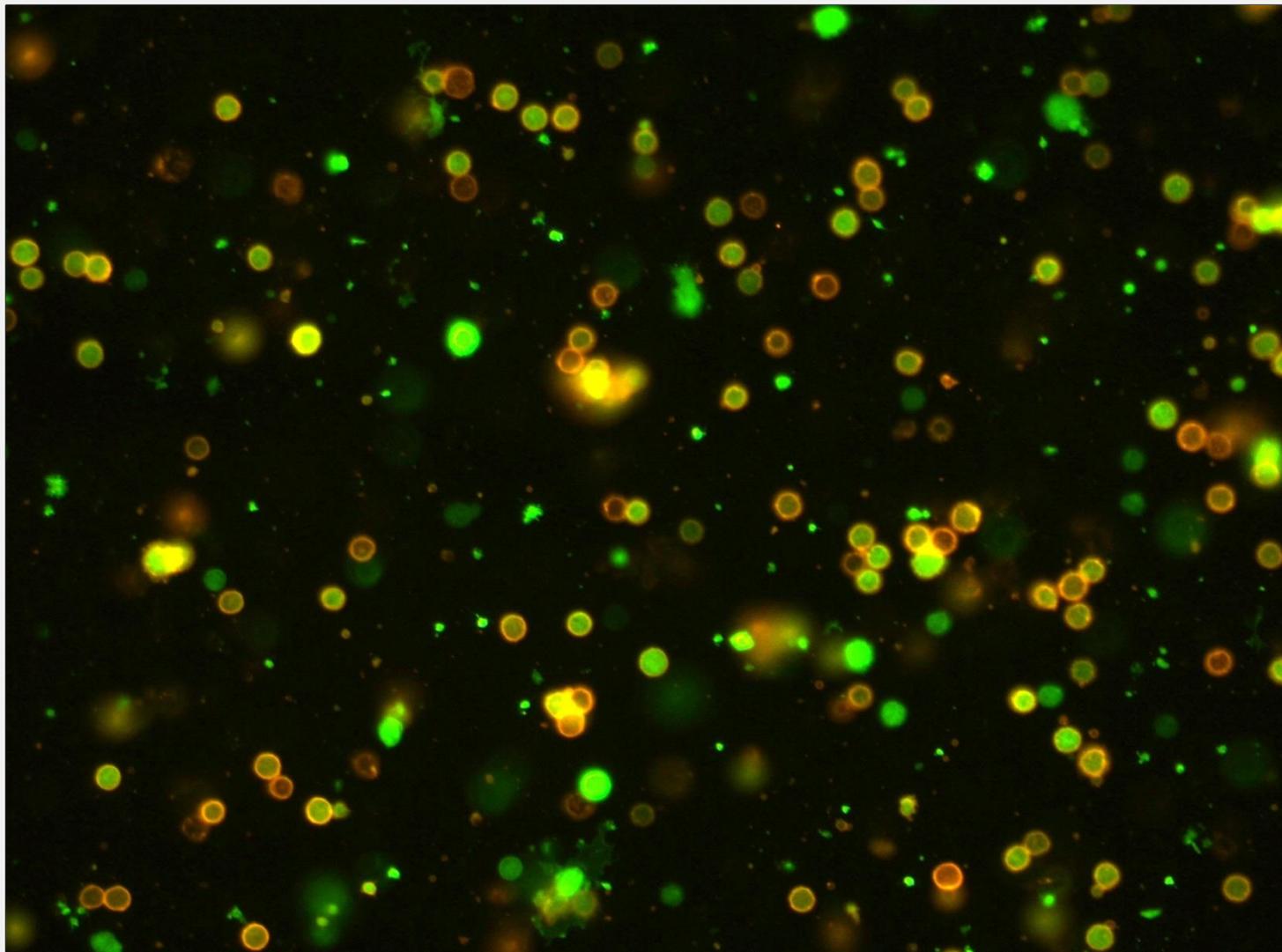
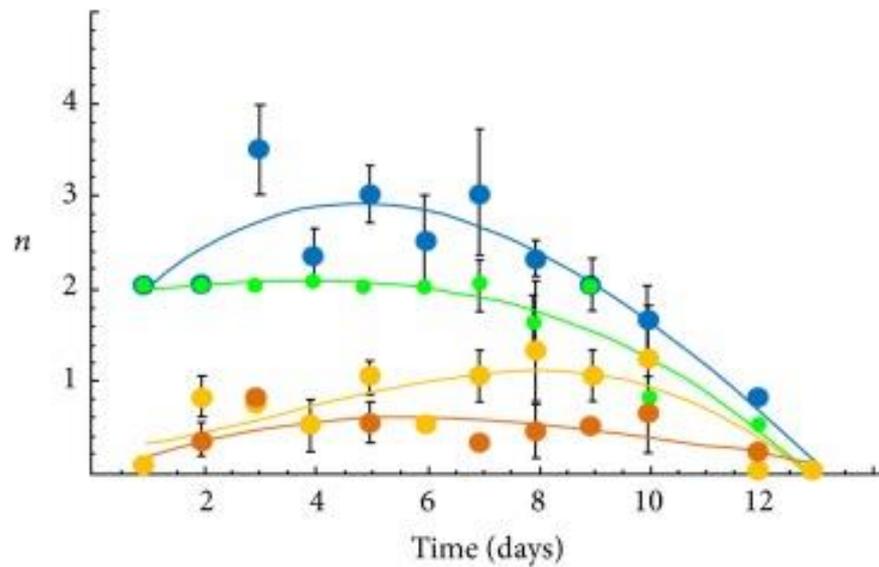
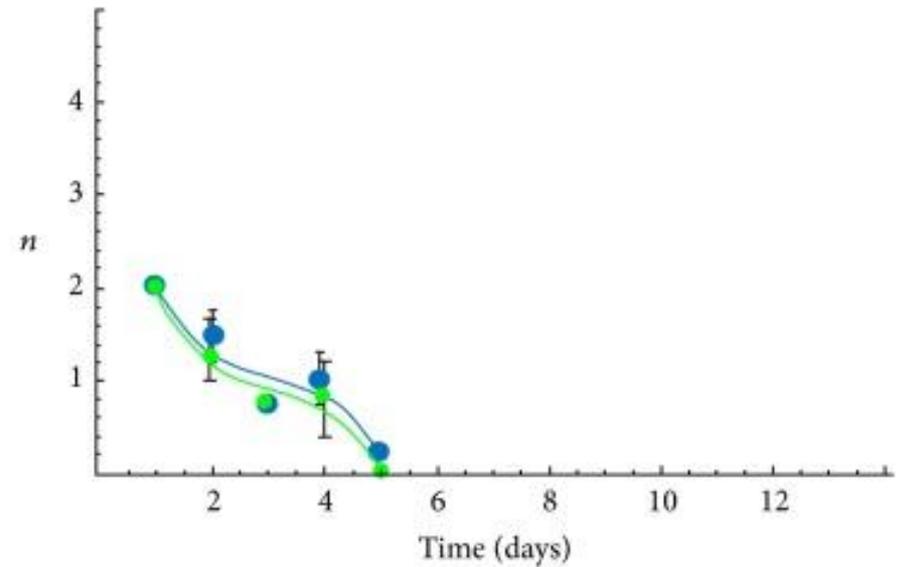


Рис. 4. Клетки селезенки реципиента после трансплантации (флуоресценция, GFP, CD 45)



(a)



(b)

Dependence of the number of eGFP<sup>+</sup> cells in organs of blood system (BM, spleen, thymus, and blood) of the recipient mice on time after BM transplantation.

(a) eGFP C57Bl/6 strain (syngeneic transplantation);  
 (b) BALB strain (allogeneic transplantation) (green: BM, blue: spleen, yellow: thymus, and orange: blood).

The abscissa axis indicates time after transplantation in days; the ordinate axis indicates number of eGFP<sup>+</sup> cells ( $n$ : arbitrary units). Solid lines represent a cubic polynomial approximation. (Error: mean  $\pm$  SD, the mean of values of 2–6 experiments per point).

К моменту окончания нашего эксперимента (№1) был достаточно надежно установлен количественный параметр скорости накопления мутаций в человеческих клетках зародышевого пути (long-term стволовых клетках) – 2 мутации в год на клетку.

Lynch M. Rate, molecular spectrum, and consequences of human mutation //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010. – Т. 107. – №. 3. – С. 961-968.

Это дало нам возможность использовать слово «теория»

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ СТАРЕНИЯ**

Эксперимент на лабораторных животных (№2) по определению влияния на максимальную продолжительность жизни инъекций КМ от молодых сингенных доноров. (20013-2016)

Эксперимент на лабораторных животных (№2) по определению влияния на максимальную продолжительность жизни инъекций КМ от молодых сингенных доноров. (20013-2016)

The screenshot shows a web browser window with the URL [https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2019.00310/full?utm\\_source=Email\\_to\\_authors\\_&utm\\_medium=Email&utm\\_content=T1\\_11.5e1\\_author&utm\\_campaign...](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2019.00310/full?utm_source=Email_to_authors_&utm_medium=Email&utm_content=T1_11.5e1_author&utm_campaign...). The page is for an "ORIGINAL RESEARCH ARTICLE" published in "Front. Genet." on 12 April 2019. The article title is "Extension of Maximal Lifespan and High Bone Marrow Chimerism After Nonmyeloablative Syngeneic Transplantation of Bone Marrow From Young to Old Mice". The authors listed are Marina V. Kovina<sup>1\*</sup>, Alexey V. Karnaukhov<sup>2</sup>, Mikhail E. Krasheninnikov<sup>1</sup>, Artem L. Kovin<sup>1</sup>, Sarul T. Gazheev<sup>1</sup>, Larisa A. Sergievich<sup>2</sup>, Elena V. Karnaukhova<sup>2</sup>, Elena V. Bogdanenko<sup>3</sup>, Maxim V. Balyasin<sup>1</sup>, Yury M. Khodarovich<sup>4</sup>, Tatyana G. Dyuzheva<sup>5</sup> and Alexey V. Lyundup<sup>1</sup>. The article has 423 total views and an Altmetric score of 2. The page also features a "frontiers SPOTLIGHT" banner and a "Want to win \$100,000 to host" promotion.

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE  
Front. Genet., 12 April 2019 | <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00310>

# Extension of Maximal Lifespan and High Bone Marrow Chimerism After Nonmyeloablative Syngeneic Transplantation of Bone Marrow From Young to Old Mice

EDITED BY  
**Alexey Moskalev**  
Institute of Biology, Komi Scientific Center (RAS), Russia

REVIEWED BY  
**George A. Garinis**  
Foundation for Research and Technology Hellas, Greece

**Marina V. Kovina<sup>1\*</sup>**, **Alexey V. Karnaukhov<sup>2</sup>**, **Mikhail E. Krasheninnikov<sup>1</sup>**, **Artem L. Kovin<sup>1</sup>**, **Sarul T. Gazheev<sup>1</sup>**, **Larisa A. Sergievich<sup>2</sup>**, **Elena V. Karnaukhova<sup>2</sup>**, **Elena V. Bogdanenko<sup>3</sup>**, **Maxim V. Balyasin<sup>1</sup>**, **Yury M. Khodarovich<sup>4</sup>**, **Tatyana G. Dyuzheva<sup>5</sup>** and **Alexey V. Lyundup<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute for Regenerative Medicine, Sechenov University, Moscow, Russia

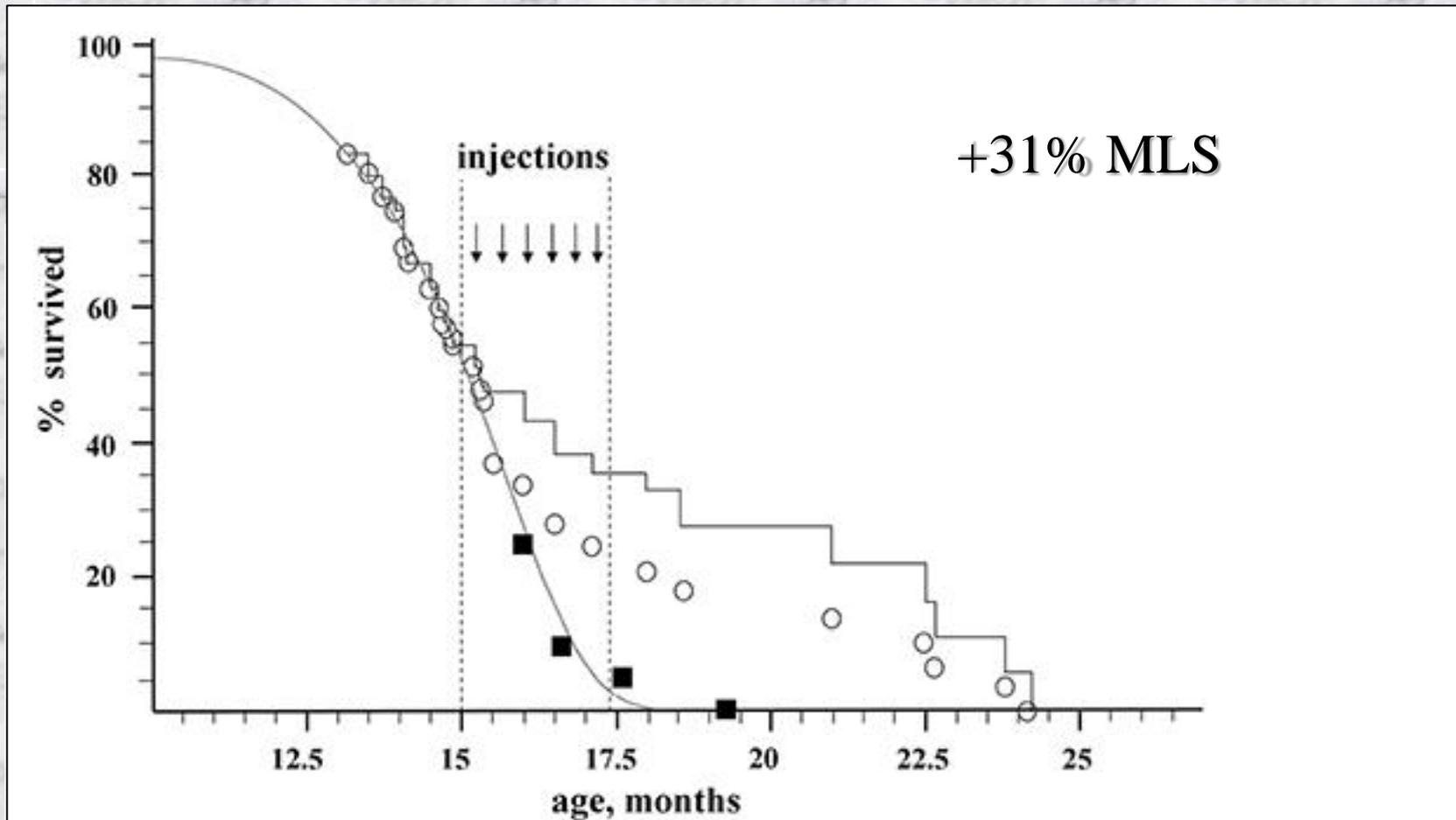
**423**  
TOTAL VIEWS

Altmetric scores 2

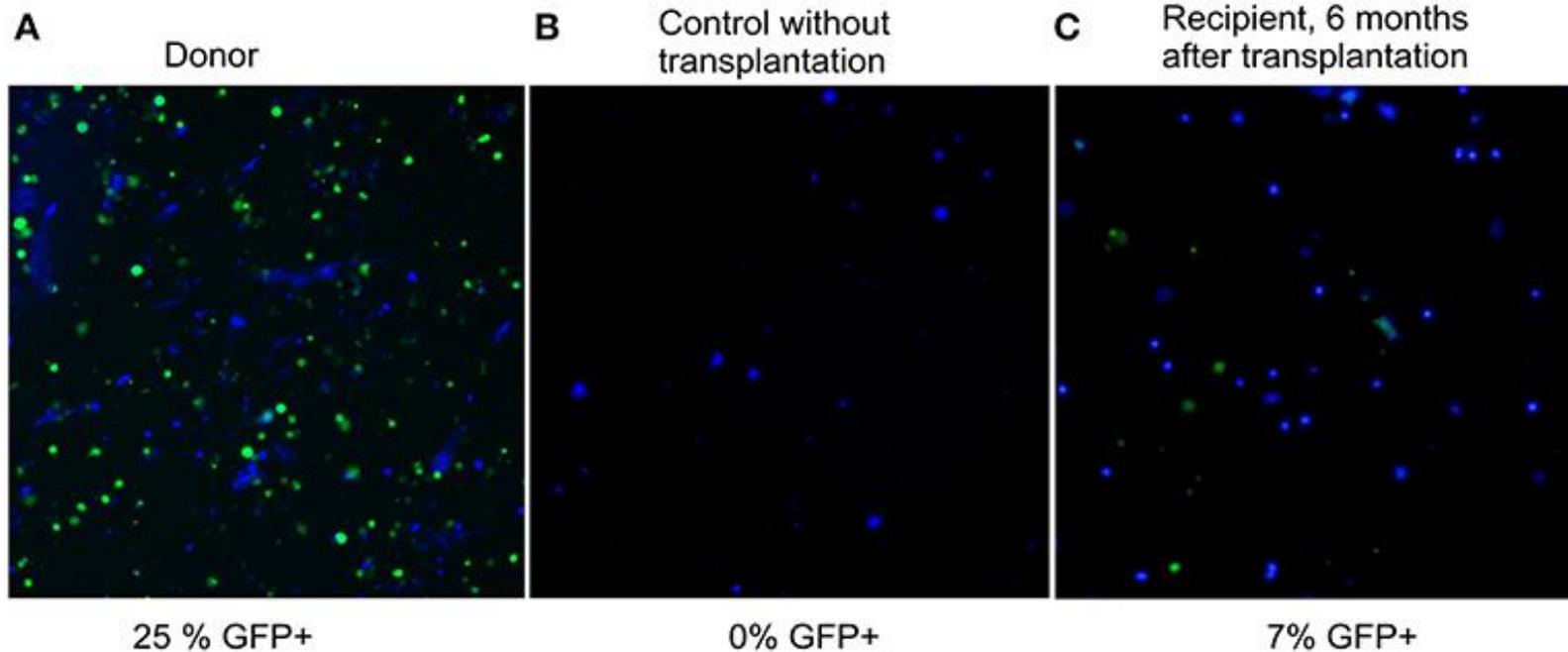
View Article Impact

frontiers SPOTLIGHT

Want to win \$100,000 to host



**Figure 1.** Effect of nonablative transplantation of syngeneic BM of young donors on the population dynamics of aging recipients. Open circles, experimental group; black squares, control group; gray curve, Gompertz–Makeham curve of control group; black stepped curve, experimental group corrected for embolism (embolic animals excluded).



**Figure 2.** Fluorescence images of preparations of bone marrow suspension of donor, control, and transplanted mice. Overlay of fluorescence microphotographs at 380 nm (nuclei stained by NucBlue, shown in blue here), and 485 nm (GFP<sup>+</sup>, shown in green). Cellinsight CX7, magnification 200X. (A) donor BM, the content of nucleated GFP<sup>+</sup> cells is 25%; (B) BM of a control mouse without transplantation, the content of nucleated GFP<sup>+</sup> cells is 0%; (C) BM of a recipient 6 months after transplantation, the content of nucleated GFP<sup>+</sup> cells is 7%.

В работе 2017 года в рамках ИТС воспроизведены статистические закономерности индивидуальной продолжительности жизни в популяциях видов, имеющих различные типы старения

*БИОФИЗИКА, 2017, том 62, вып. 5, с. 1008–1015*

БИОФИЗИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 577.3

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ СТАРЕНИЯ: ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ**

© 2017 г. А.В. Карнаухов, Е.В. Карнаухова, Л.А. Сергневич, Н.А. Карнаухова,  
Е.В. Богданенко\*, И.А. Манохина, В.Н. Карнаухов

*Институт биофизики клетки РАН, 142290, Пущино Московской области, ул. Институтская, 3*

*\*Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии РАМН,  
125315, Москва, ул. Балтийская, 8*

*E-mail: AlexeyKarnaukhov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 02.02.17 г.

После доработки 27.03.17 г.

Информационная теория старения рассматривает снижение функциональности организма и его систем как результат уменьшения функциональности клеточных репарационных механизмов вследствие накопления в клетках геномных повреждений. В работе сформулирована четырехуровневая причинно-следственная модель взаимодействия ключевых процессов при старении высокоорганизованных многоклеточных организмов. На основе этой модели исследованы некоторые математические закономерности изменения жизнеспособности организма. Рассмотрены основные фундаментальные факторы, влияющие на индивидуальную продолжительность жизни, такие как начальный объем геномных повреждений при рождении, скорость их накопления, давление окружающей среды. Проанализированы аддитивный и мультипликативный типы взаимодействия процессов в различных системах сложного многоклеточного организма на его общую функциональность (жизнеспособность) и изучены количественные закономерности старения в популяции модельных организмов. Результатом моделирования явилось воспроизведение кривых выживания для видов, обладающих различными типами старения, а также обоснование компенсационного эффекта для видов, старение которых описывается законом Гомперца–Мейкема.

В работе 2017 года в рамках ИТС воспроизведены статистические закономерности индивидуальной продолжительности жизни в популяциях видов, имеющих различные типы старения

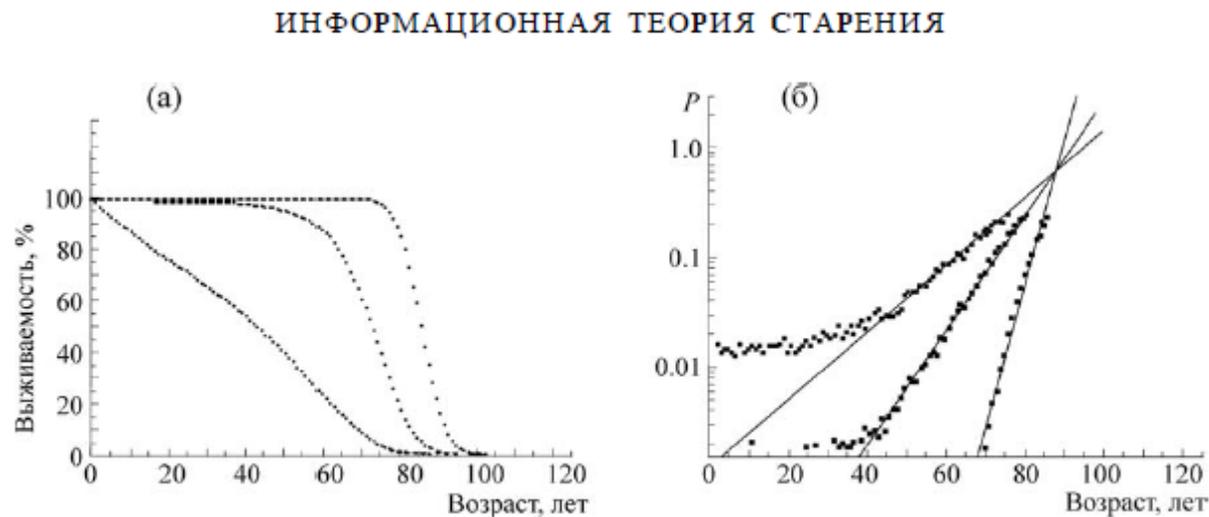
1010

КАРНАУХОВ и др.



Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма основных процессов при старении высокоорганизованных многоклеточных организмов в рамках информационной теории старения.

В работе 2017 года в рамках ИТС воспроизведены статистические закономерности индивидуальной продолжительности жизни в популяциях видов, имеющих различные типы старения



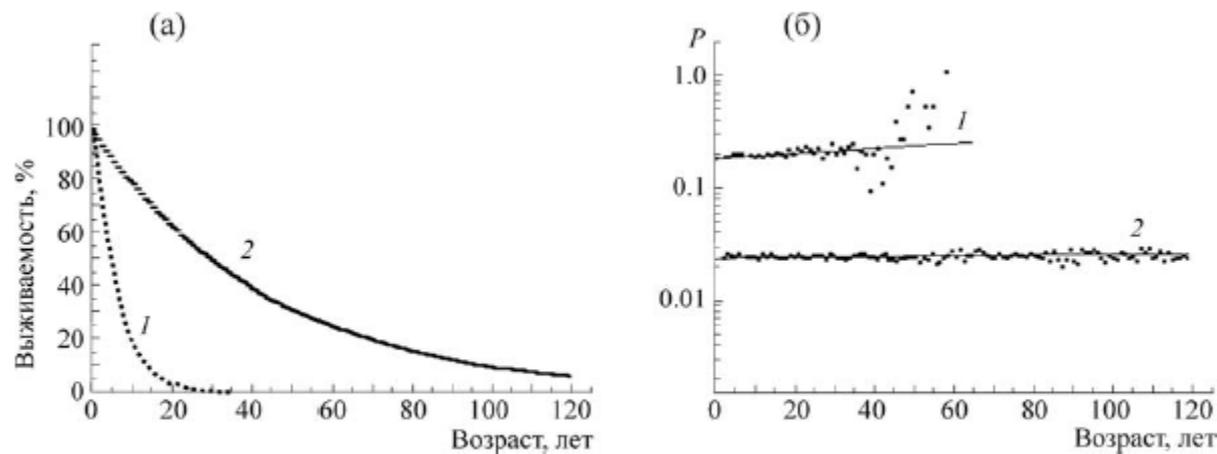
**Рис. 3.** Кривые выживаемости (а) и смертности (б) для популяций, испытывающих различное давление окружающей среды  $E_D$  (0,45, 0,3, 0,05), что соответствует различному уровню «благополучия» для человеческой популяции (параметры жизнеспособности такие же, как на рис. 2,  $N = 10000$ ).

Компенсационный эффект для видов, стареющих «по Гомпертцу»

В работе 2017 года в рамках ИТС воспроизведены статистические закономерности индивидуальной продолжительности жизни в популяциях видов, имеющих различные типы старения

1014

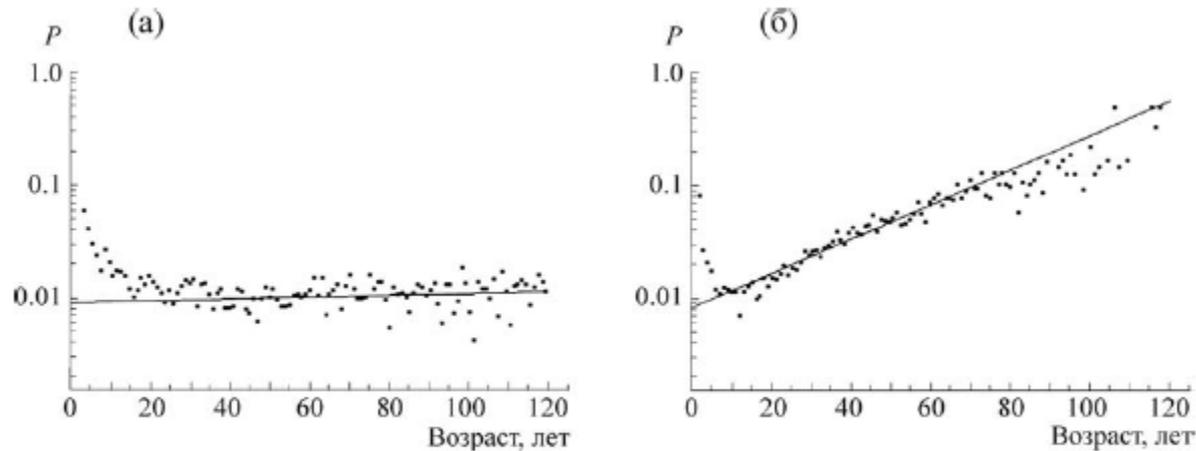
КАРНАУХОВ и др.



**Рис. 4.** Кривые выживаемости (а) и смертности (б) для «нестареющих» видов (т. е. видов, для которых вероятность смертности одинакова для всех возрастных категорий). 1 – Короткоживущие нестареющие виды (средняя продолжительность жизни 10 лет, скорость старения  $\mu = 0,012$ ). Параметры для функции жизнеспособности организма:  $M_M = 0$ ,  $M_D = 0,1$ ,  $E_D = 1,0$ ; количество организмов  $N = 40000$ . 2 – Классические долгоживущие «нестареющие» виды (средняя продолжительность жизни 35 лет, скорость старения  $\mu = 0,002$ ). Остальные параметры:  $M_M = 0$ ,  $M_D = 0,1$ ,  $E_D = 0,5$ ,  $N = 40000$ .

Старение «нестареющих» видов

В работе 2017 года в рамках ИТС воспроизведены статистические закономерности индивидуальной продолжительности жизни в популяциях видов, имеющих различные типы старения



**Рис. 5.** Феномен детской смертности для «нестареющего» вида и вида, стареющего по закону Гомперца–Мейкема. (а) – Долгоживущие «нестареющие» виды с массовой гибелью в молодом возрасте ( $\mu = 0,012$ ,  $M_M = 0$ ,  $M_D = 1,7$ ,  $E_D = 0,5$ ,  $N = 4000$ ). (б) – Стареющие виды с детской смертностью и увеличивающейся смертностью по закону Гомперца–Мейкема ( $\mu = 0,03$ ,  $M_M = -0,3$ ,  $M_D = 0,9$ ,  $E_D = 0,4$ ,  $N = 4000$ ). Феномен детской смертности наблюдается при увеличении наследственного груза генетических повреждений  $M_D$  от 0,1 до 0,9 или 1,7.

Феномен детской смертности для «нестареющих» видов и видов, стареющих «по Гомпертцу»

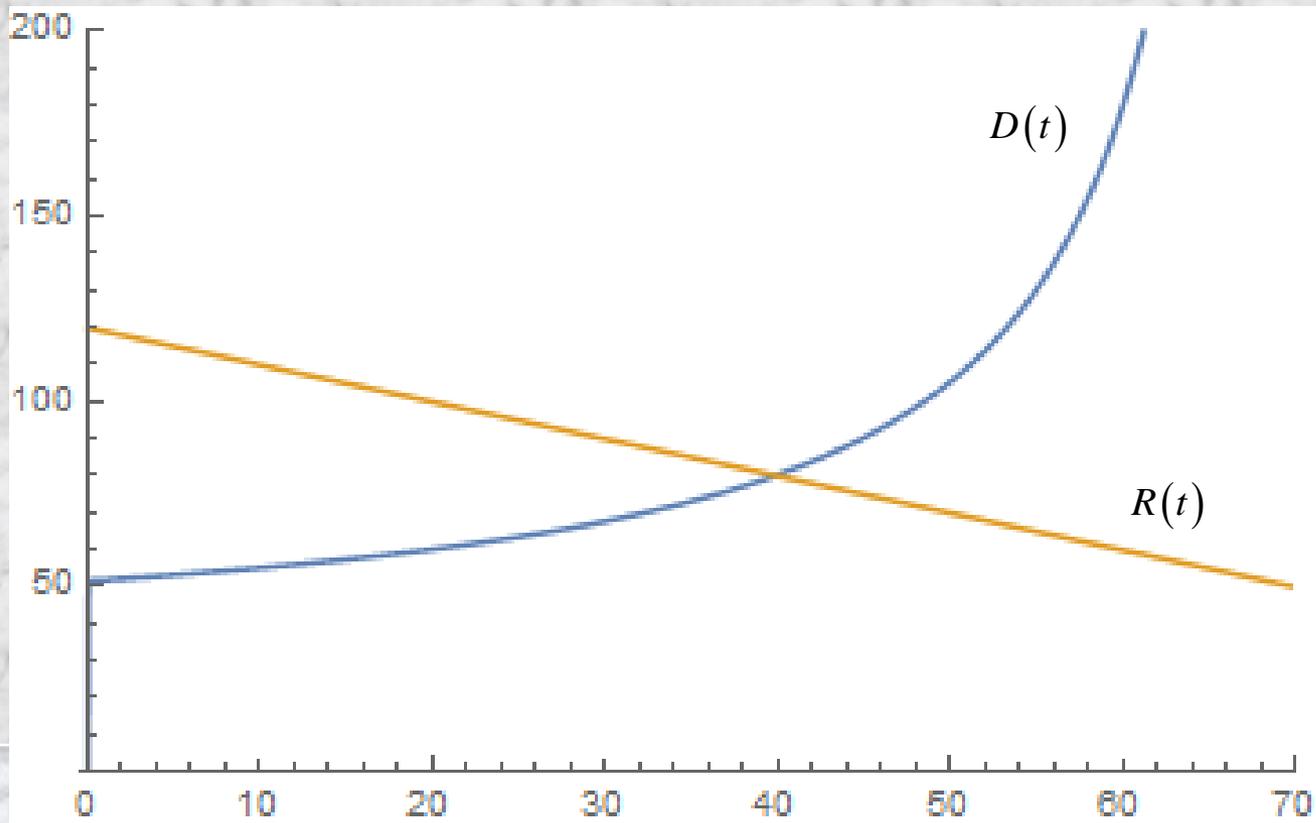
Двухуровневая модель накопления ошибок  
в рамках ИТС:

$R(t)$  - функциональность  
регенеративных систем

$$R(t) = R_0 - R_1 \cdot t$$

$D(t)$  - уровень вторичных дефектов

$$\frac{dD(t)}{dt} = D_0 + D_1 \cdot D(t) - R(t)(D(t) - D_2)$$



Двухуровневая модель накопления ошибок  
в рамках ИТС:

$R(t)$  - функциональность  
регенеративных систем

$D(t)$  - уровень вторичных дефектов

$$R(t) = R_0 - R_1 \cdot t$$

$$\frac{dD(t)}{dt} = D_0 + D_1 \cdot D(t) - R(t)(D(t) - D_2)$$



Рязанов А.Г., МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ,  
2001, Т. 35, №4

Зависимость от возраста концентрации карбонильных групп в белках экстрактов клеток и тканей человека, крысы и мухи: ○ – экстракты фибробластов человека [2]; □ – экстракты печени крысы [4]; ▽ – экстракты из комнатных мух [6]. По оси абсцисс отложены: возраст человека (в годах); возраст человека, крысы и мухи (в процентах от максимальной продолжительности жизни). В качестве максимальной продолжительности жизни взяты следующие значения: для человека – 112 лет, для крысы – 37 месяцев, для мухи – 30 дней. Пунктирной линией показана кривая роста месячной страховки жизни в зависимости от возраста в Медицинском университете штата Нью Джерси (University of Medicine and Dentistry of New Jersey, USA).

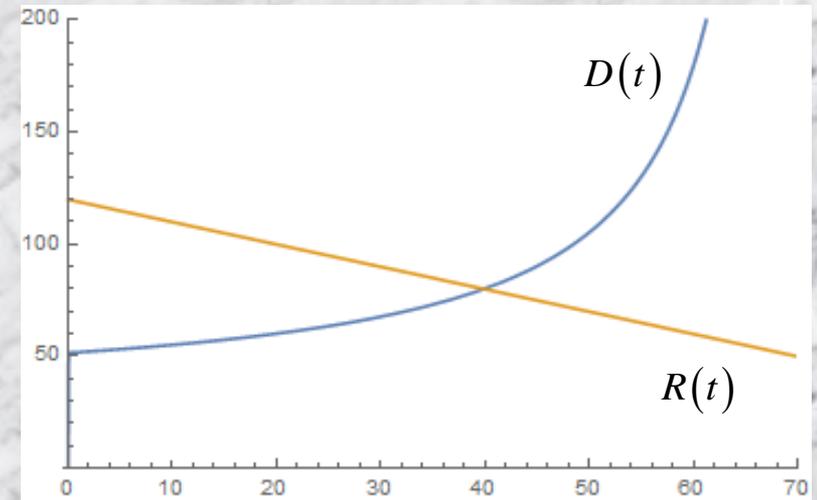
Двухуровневая модель накопления ошибок  
в рамках ИТС:

$R(t)$  - функциональность  
регенеративных систем

$D(t)$  - уровень вторичных дефектов

$$R(t) = R_0 - R_1 \cdot t$$

$$\frac{dD(t)}{dt} = D_0 + D_1 \cdot D(t) - R(t)(D(t) - D_2)$$



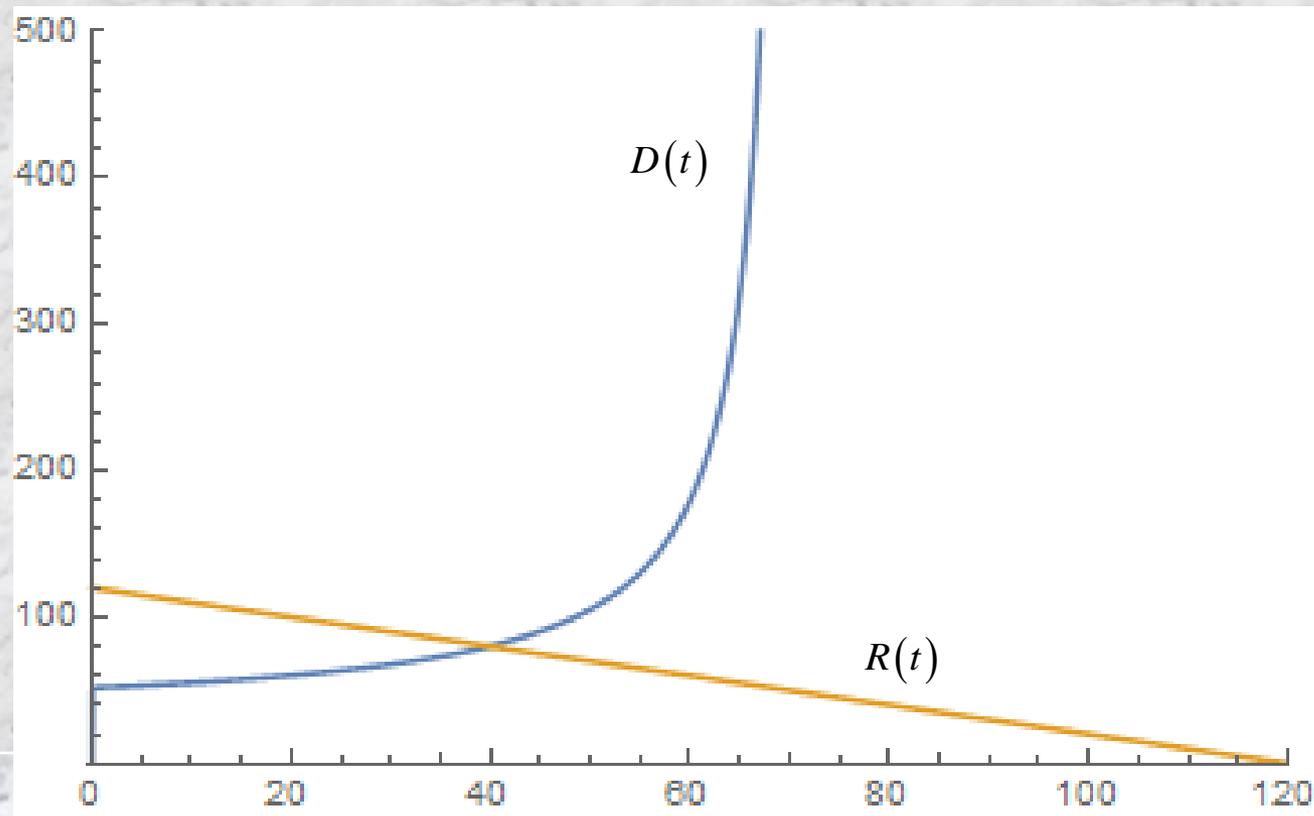
Двухуровневая модель накопления ошибок  
в рамках ИТС:

$R(t)$  - функциональность  
регенеративных систем

$$R(t) = R_0 - R_1 \cdot t$$

$D(t)$  - уровень вторичных дефектов

$$\frac{dD(t)}{dt} = D_0 + D_1 \cdot D(t) - R(t)(D(t) - D_2)$$



# Пересадка и резервирование сознания

Пересадка сознания, наподобие перезаписи программы с компьютера на компьютер открывает возможность неограниченному существованию нашего "Я" во времени. Резервирование информационного "слепок" сознания позволит "воскрешать" людей, "погибших" в результате аварий и катастроф

# Расчет необходимой вычислительной мощности для моделирования процессов, протекающих в человеческом мозге

Объем памяти:

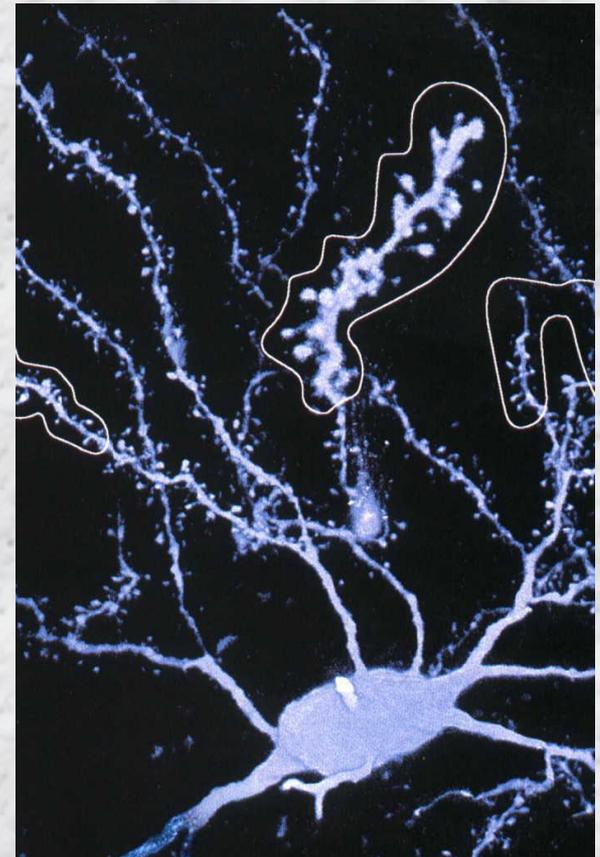
10 млрд. Нейронов  $= 10^{10}$

10 тыс. синапсов  
на один нейрон  $= 10^4$

10 байт на описание  
одного синапса  $= 10$

**ВСЕГО:**

$10^{10} * 10^4 * 10 = 10^{15}$  байт



# Расчет необходимой вычислительной мощности для моделирования процессов, протекающих в человеческом мозге

Быстродействие:

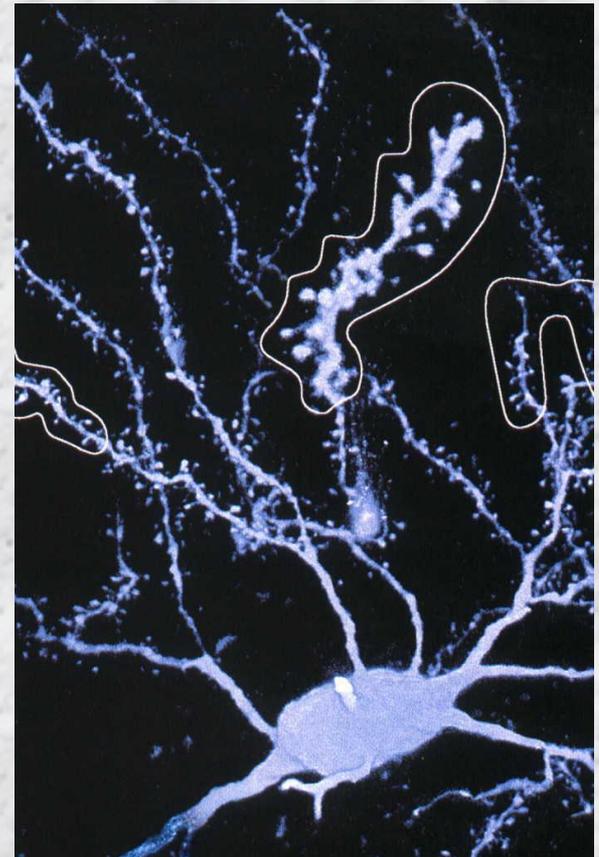
10 млрд. Нейронов  $= 10^{10}$

10 тыс. синапсов  
на один нейрон  $= 10^4$

1 синапс - операций  
в секунду  $= 10^2$

ВСЕГО:

$10^{10} * 10^4 * 10^2 = 10^{16}$  оп/сек

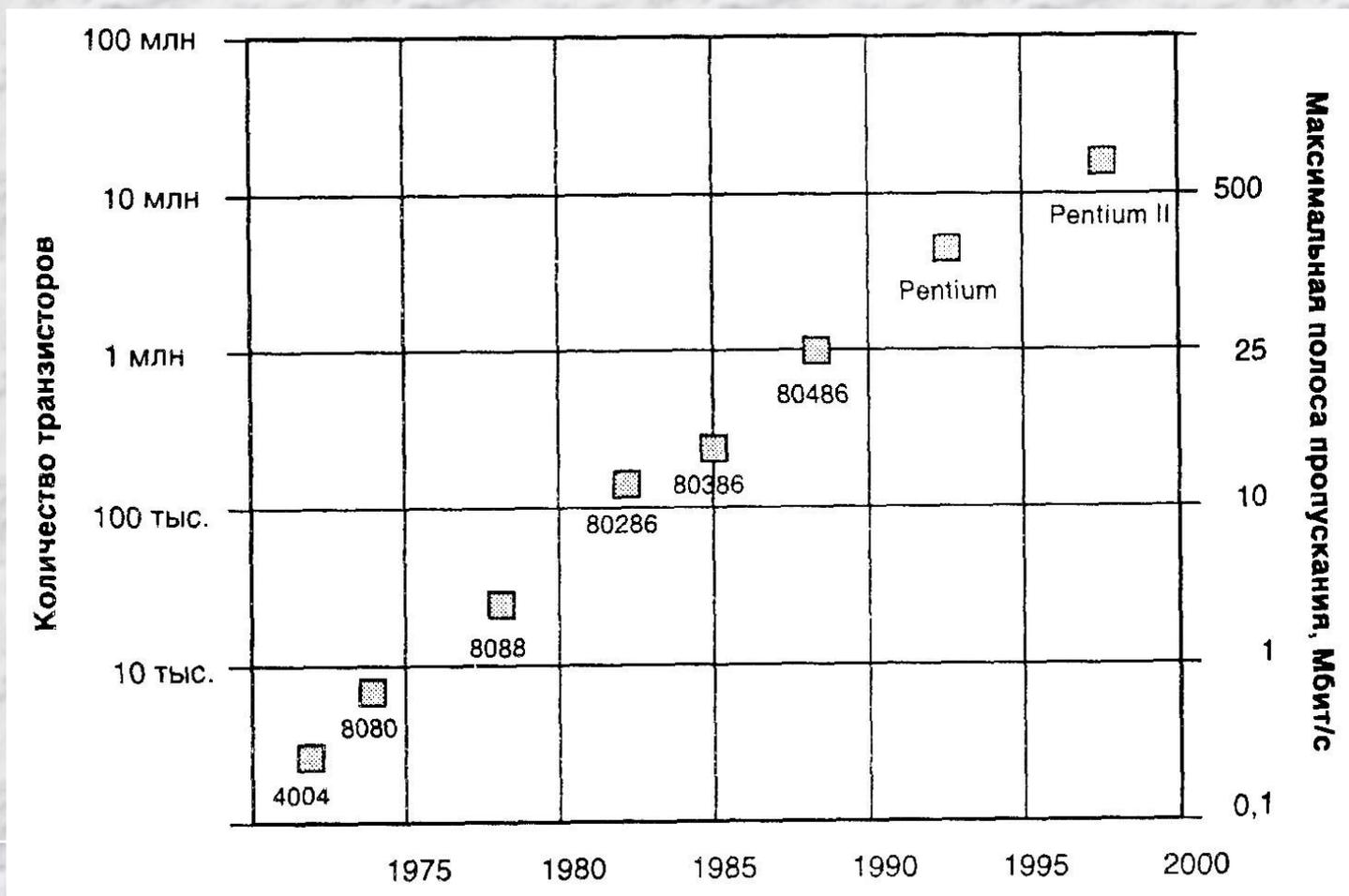


## Сравнение вычислительных возможностей человеческого мозга и современного персонального компьютера

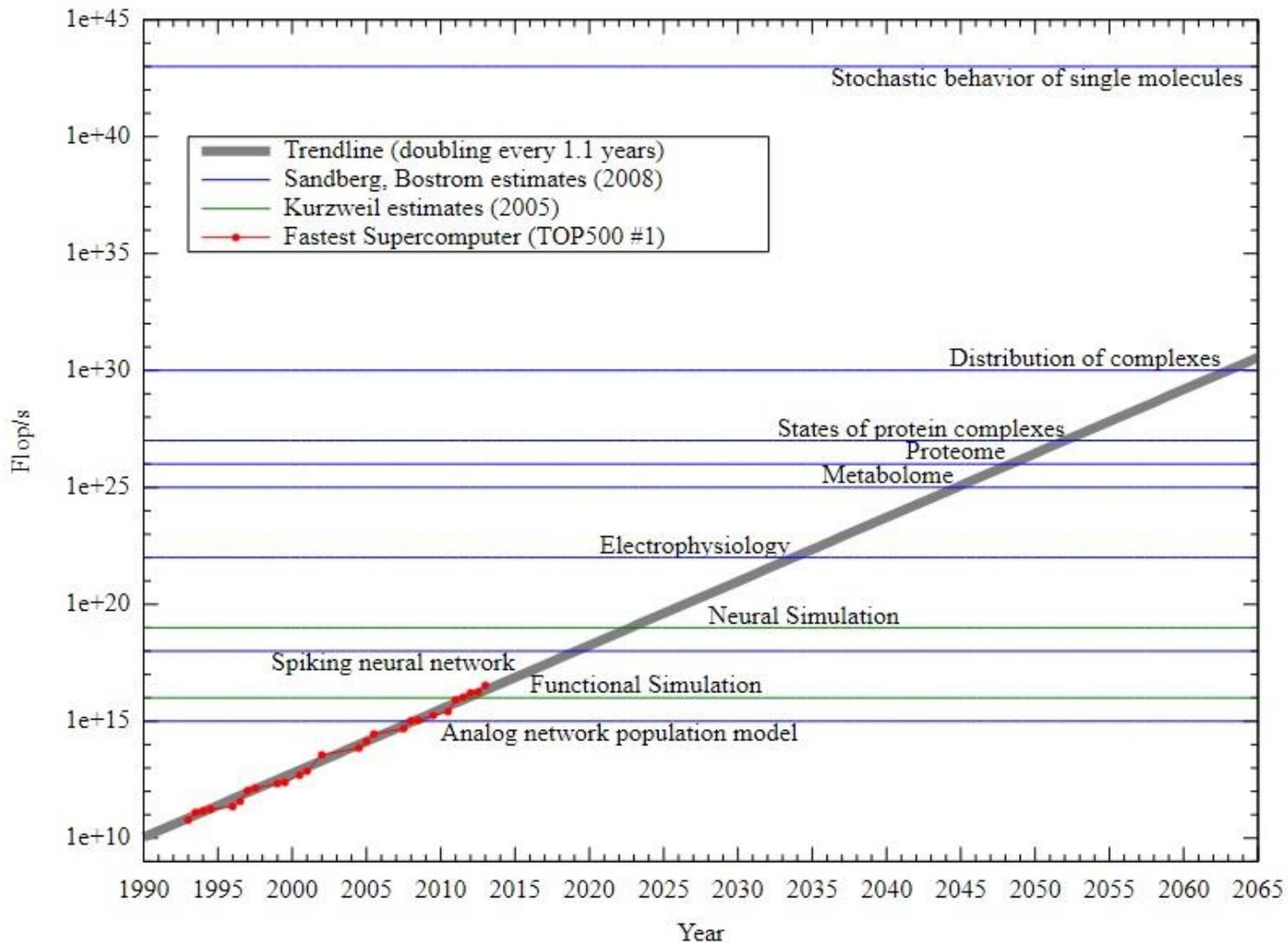
	Персональный компьютер	Человеческий мозг
Быстродействие	1 ГГц = $10^9$ оп/сек	$10^{16}$ оп/сек
Память (оперативная)	1 Гб = $10^9$ байт	$10^{15}$ байт

**ВЫВОД:** Вычислительная мощность современного персонального компьютера на 5-6 порядков (сотни тысяч раз) меньше, чем требуется для полноценного моделирования процессов в человеческом мозге

Закон Мура позволяет прогнозировать достижение необходимой вычислительной мощности персональных компьютеров через 50-60 лет



[https://ru.wikipedia.org/wiki/Импульсная\\_нейронная\\_сеть#/media/File:Estimations\\_of\\_Human\\_Brain\\_Emulation\\_Required\\_Performance.svg](https://ru.wikipedia.org/wiki/Импульсная_нейронная_сеть#/media/File:Estimations_of_Human_Brain_Emulation_Required_Performance.svg)



[https://ru.wikipedia.org/wiki/Загрузка\\_сознания](https://ru.wikipedia.org/wiki/Загрузка_сознания)

## Необходимые вычислительные мощности [ править | править вики-текст ]

Вычислительные мощности, необходимые для моделирования человеческого мозга, в значительной степени зависят от детализации модели<sup>[9]</sup>:

Уровень	CPU (FLOPS)	Память (Тбайт)	Суперкомпьютер стоимостью в 1\$ млн, обладающий необходимыми мощностями (прогнозируемый год создания)
Analog network population model	$10^{15}$	$10^2$	2008
Импульсная нейронная сеть	$10^{18}$	$10^4$	2019
Электрофизиология	$10^{22}$	$10^4$	2033
Метаболом	$10^{25}$	$10^6$	2044
Протеом	$10^{26}$	$10^7$	2048
Состояния протеиновых комплексов	$10^{27}$	$10^8$	2052
Распределение комплексов	$10^{30}$	$10^9$	2063
Стохастическое движение отдельных молекул	$10^{43}$	$10^{14}$	2111

Данные расчетов из *Sandberg, Bostrom, 2008*

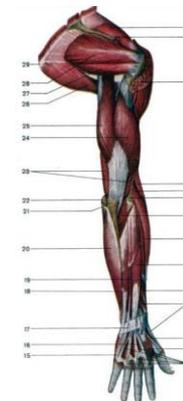
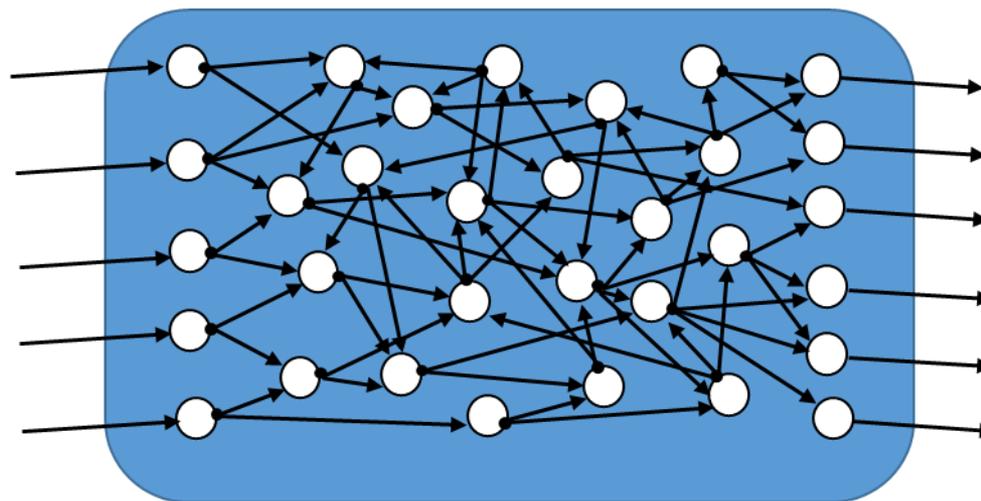
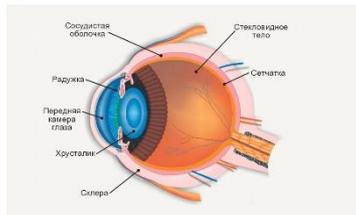
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Коннектом>

Картирование коннектома на микроуровне (с разрешением в микрометры) означает постройку полной карты нейронной сети, нейрон к нейрону. Одна только кора головного мозга содержит порядка 10 миллиардов нейронов, соединенных  $10^{14}$  синаптическими связями. Для сравнения: число пар оснований в человеческом геноме —  $3 \times 10^9$ . Некоторые из основных проблем построения человеческого коннектома на микроуровне сегодня включают в себя: (1) на сбор данных потребовались бы годы при нынешней технологии, (2) инструменты машинного зрения на сегодняшний день находятся в зачаточном состоянии, (3) нет ни теории, ни алгоритмов для анализа поступающих данных. Для решения проблем со сбором данных несколько групп ученых создают серийные электронные микроскопы с высокой пропускной способностью (Кацури и др., 2009)(Бок и др., 2011).

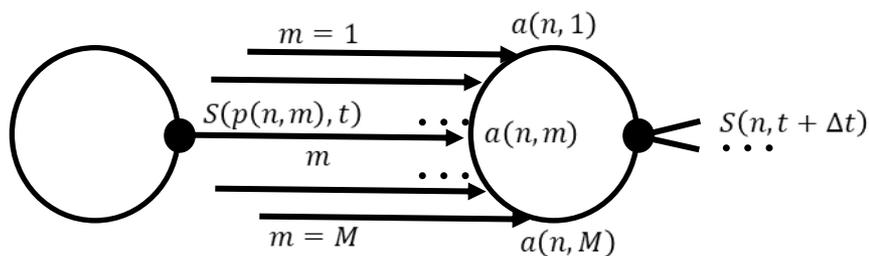
Восприятие  
(ВХОДЫ)

Мозг (нейронная сеть)

Управление движением  
(ВЫХОДЫ)



Математическое описание функционирования нейронной сети.  $S(n, t)$  - состояние нейрона.



$n, m$  номер нейрона ( $n$ ), синапса ( $m$ )  
 $a(n, m)$  весовые коэффициенты синапсов (2 байта)  
 $p(n, m)$  номер пресинаптического нейрона (5 байт)  
 $n = 1, N$   $N = 10^{10}$  число нейронов (5 байт)  
 $m = 1, M$   $M = 10^4$  число синапсов

$$S(n, t + \Delta t) = F \left( \sum_{m=1}^M a(m, n) \cdot S(p(n, m), t) \right)$$

## Задачи которые необходимо решить для реализации переноса сознания на искусственный носитель:

1. Обеспечить криосохранение нейронной структуры мозга человека.
2. Произвести оцифровку морфо-биохимической структуры мозга с разрешением 10 нм
3. На основе анализа морфо-биохимической структуры мозга восстановить структуру связей  $p(n, m)$  и весовые коэффициенты  $a(n, m)$ .
4. Создать компьютер, обладающий характеристиками, позволяющими моделировать процесс мышления.

Задача 1 и 4 сегодня уже могут быть решены. Наибольшую сложность сегодня представляют задачи 2 и 3. И это хорошо, поскольку к тому времени, когда решение этих задач станет возможным, компьютеры для решения задачи 4 станут доступны широкому потребителю.

В 2004 году	Рекордный HDD, компьютер	– 0.4 ТБ (400 ГБ) – 35,86 Тф (Earth Simulator)
В 2017 году	Рекордный HDD, компьютер	– 10 ТБ (x20) – 93 000Тф (Sunway TaihuLight) (x3000)

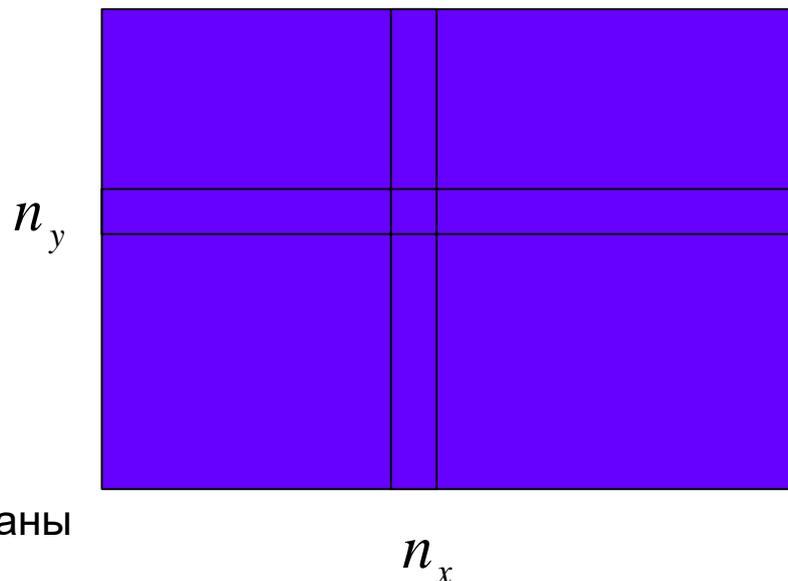
## Оцифровка фильма (некоторые оценки):

$I(n_x, n_y, t)$  - изображение, где:

$$n_x = 1 \dots N_x$$

$$n_y = 1 \dots N_y$$

$$t = 1 \dots N_t$$



Для ч/б фильма значения матрицы

$I(n_x, n_y, t)$  могут быть охарактеризованы

одним байтом. Для цветного фильма – тремя, а для цветного стереофильма – шестью байтами (для случая 8-битного цвета).

Объем памяти, необходимый для хранения оцифрованного 1,5 часового цветного фильма с разрешением 1000x1000, можно записать как:

$$V_m = 3 \cdot N_x \cdot N_y \cdot N_t = 3 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot (1,5 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24) = 389 \text{ Гб}$$

## Чем отличается оцифрованный фильм от цифровой копии фильма?



**400 ГБ**



**1.6 ГБ**

1. Оцифровка - 400 ГБ
2. Обработка - до 1000 ГБ
3. Сжатие MP4, AVI  
(компрессия) – 1.6 ГБ

(первичная оцифровка личности ?? байт)

(цифровая копия личности  $10^{15}$  байт)

Чем отличается оцифрованный фильм от оцифрованной музыки или оцифрованной фотографии? И сколько это,  $10^{15}$  байт?

Фильм:

(1000x1000x50/сек)

$$I(n_x, n_y, t)$$



Музыка:

100000/сек

$$I(t)$$



Фото:

4000x3000

$$I(n_x, n_y)$$



Сколько времени будет длиться фильм объемом  $10^{15}$  байт, если фильм на **1,5 часа** занимает объем **1.5 ГБ**?

1 ГБ =  $10^3$  МБ =  $10^6$  КБ =  $10^9$  Байт = 1 час

$$\Rightarrow T = \frac{10^{15}}{10^9} =$$

Чем отличается оцифрованный фильм от оцифрованной музыки или оцифрованной фотографии? И сколько это,  $10^{15}$  байт?

Фильм:

(1000x1000x50/сек)

$$I(n_x, n_y, t)$$



Музыка:

100000/сек

$$I(t)$$



Фото:

4000x3000

$$I(n_x, n_y)$$



Сколько времени будет длиться фильм объемом  $10^{15}$  байт, если фильм на **1,5 часа** занимает объем **1.5 ГБ**?

1 ГБ =  $10^3$  МБ =  $10^6$  КБ =  $10^9$  Байт = 1 час

$$\Rightarrow T = \frac{10^{15}}{10^9} = 10^6 \text{ часов} = \frac{10^6}{24 \cdot 365} \text{ лет} = 114 \text{ лет}$$

## Оцифровка личности.

$$I(n_x, n_y, n_z),$$

где  $I$  - спектральная характеристика «нанопиксела» (10нм)х(10нм)х(10нм) – 100 байт.

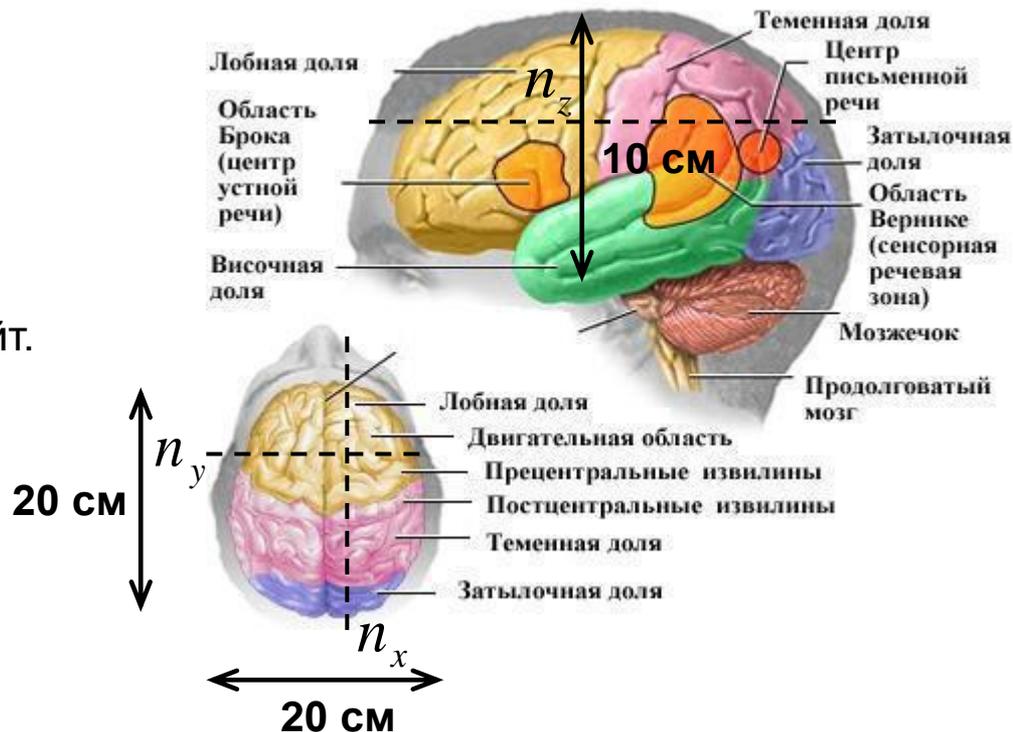
Оценка необходимого объема памяти для хранения «оцифрованной личности»:

$$n_x = 1 \dots N_x, \text{ где}$$

$$N_x = \frac{20 \text{ см}}{10 \text{ нм}} = \frac{20 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{10 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 2 \cdot 10^7$$

$$N_y = 2 \cdot 10^7 \quad N_z = 10^7$$

$$V_h = 10^2 \cdot N_x \cdot N_y \cdot N_z = 10^2 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 10^7 = 4 \cdot 10^{23} \text{ байт}$$



Таким образом, объем памяти, необходимой для сохранения «оцифрованной личности» составит:

## Сколько времени потребует оцифровка личности?

1. Кадр 1000x1000 пикселей за  
1/100 сек в одной длине волны

2. Скорость сканирования  
-  $10^8$  байт/сек

3. Время сканирования:

$$T = \frac{4 \cdot 10^{23} \text{ байт}}{10^8 \text{ байт/сек}} = 4 \cdot 10^{15} \text{ сек} =$$

$$= \frac{4 \cdot 10^{15}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \text{ лет} = 1,27 \cdot 10^8 \text{ лет} = 127 \text{ млн лет}$$



Картирование коннектома на микроуровне (с разрешением в микрометры) означает построение полной карты нейронной сети, нейрон к нейрону. Одна только кора головного мозга содержит порядка 10 миллиардов нейронов, соединенных  $10^{14}$  синаптическими связями. Для сравнения: число пар оснований в человеческом геноме —  $3 \times 10^9$ . Некоторые из основных проблем построения человеческого коннектома на микроуровне сегодня включают в себя: (1) на сбор данных потребовались бы годы при нынешней технологии, (2) инструменты машинного зрения на сегодняшний день находятся в зачаточном состоянии, (3) нет ни теории, ни алгоритмов для анализа поступающих данных. Для решения проблем со сбором данных несколько групп ученых создают серийные электронные микроскопы с высокой пропускной способностью (Кацури и др., 2009)(Бок и др., 2011).

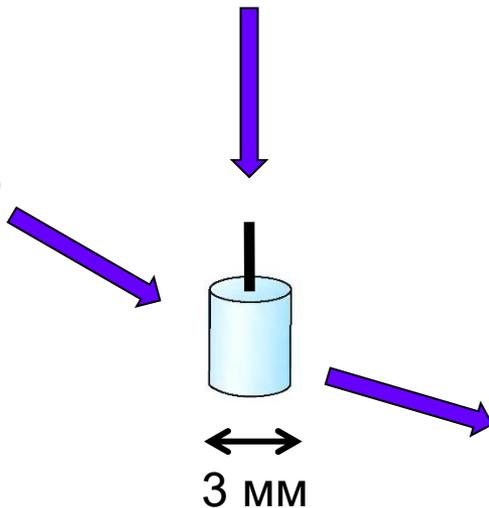
## Что делать?

1. Уменьшать x1000

2. Ускорять x1000

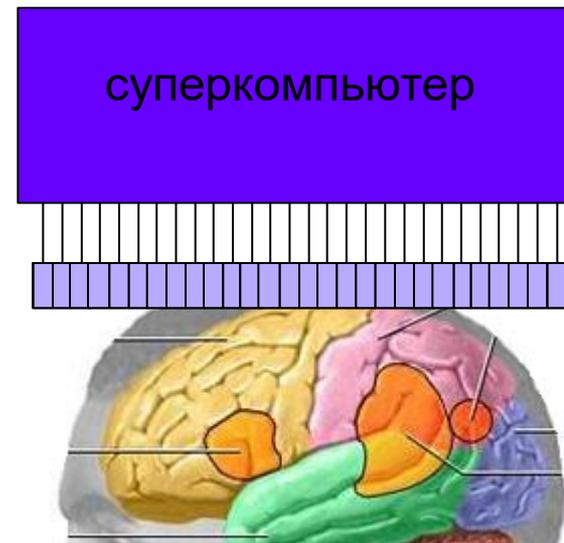


Камера CamRecord 600



## мультианоскоп

суперкомпьютер





1,2

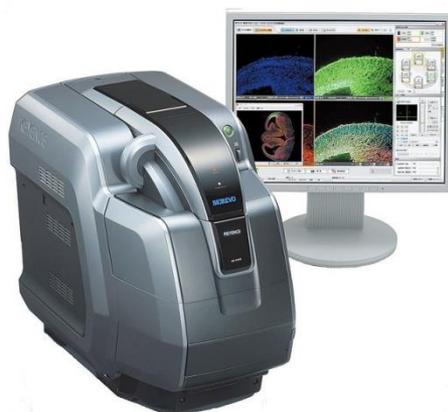
3

4,5

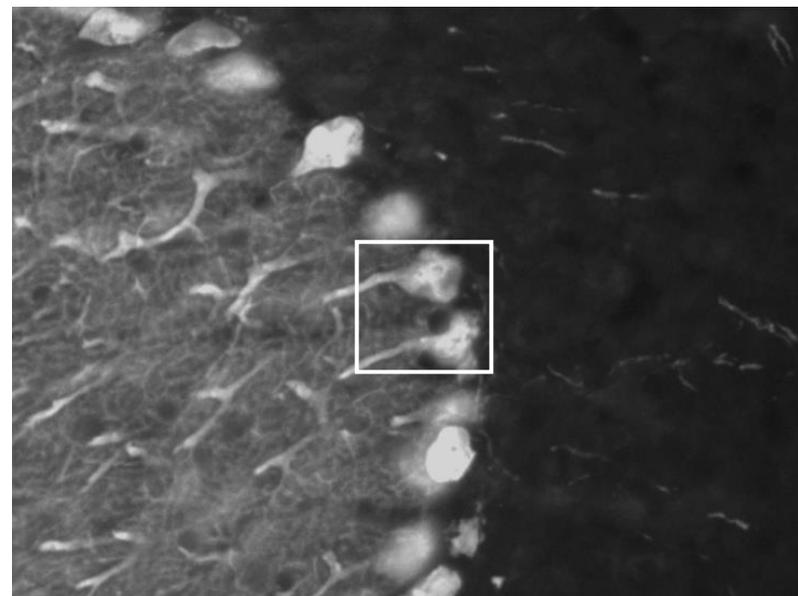
6

- 1,2. Компьютер и ПО
- 3. Цифровая камера
- 4, 5. Фотонасадка
- 6. Флуоресцентный модуль

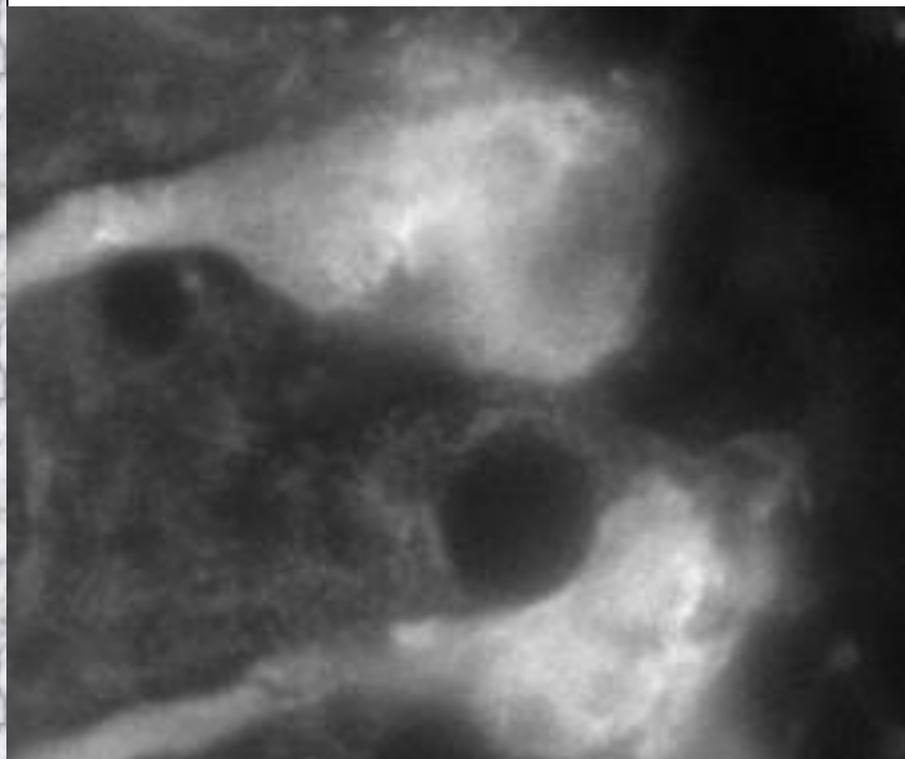
Наш супермикроскоп ☹



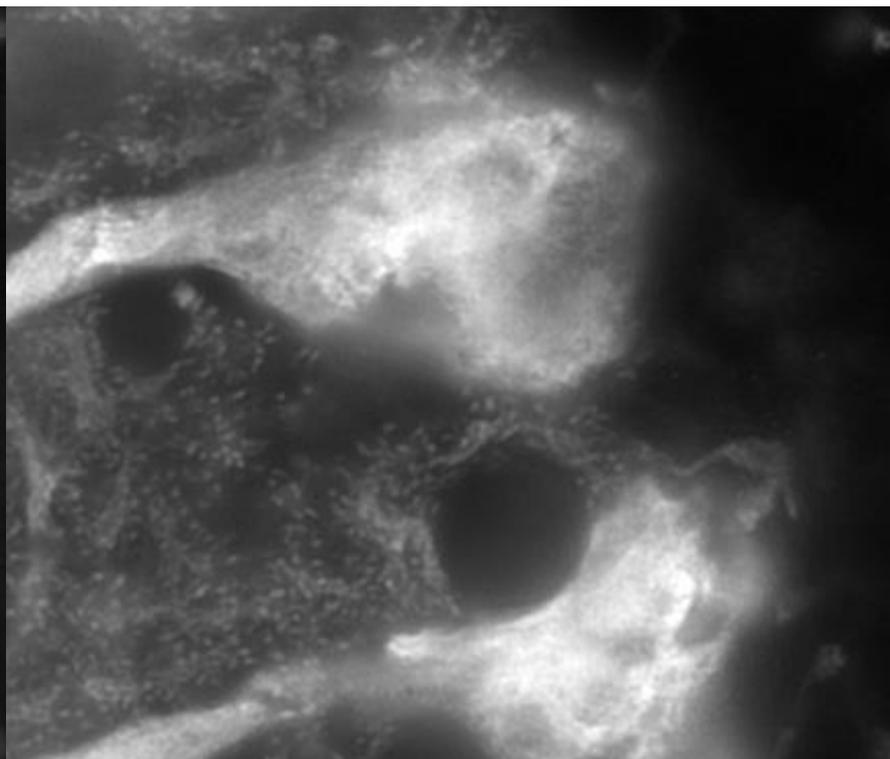
Флуоресцентный микроскоп KEYENCE (200 тыс евро )



Препарат мозга мыши

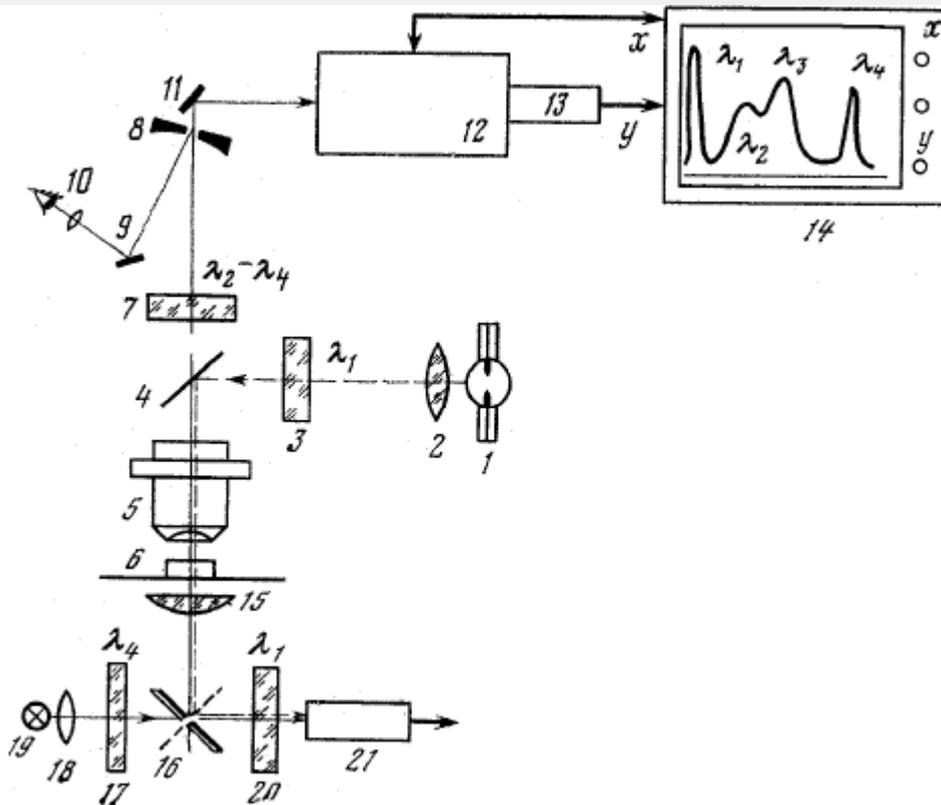


**Рис. 8. Фрагмент изображения, полученного с использованием микроскопа фирмы KEYENCE**

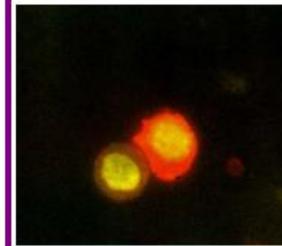


**Рис. 9. Фрагмент изображения, полученного с использованием предлагаемого АПК (ЛОМО) (размер синапсов – около 100 нм)**

Монография В.Н.Карнаухова «Люминесцентный спектральный анализ клетки», опубликованная в Серии «Теоретическая и прикладная биофизика» в Издательстве «Наука», М., в 1978 г.



Принципиальная схема всех современных микроспектрометров (микроспектрофотометр, микроспектрофлуориметр, конфокальные микроспектрометры, рамановский микроспектрометр) мало отличается от предложенной моим отцом в 60х годах прошлого века.



В.Н. Карнаухов

### Люминесцентный анализ клеток

Пушино 2002

Электронная версия учебного пособия В.Н.Карнаухова «Люминесцентный анализ клеток» подготовлена в Электронном издательстве «Аналитическая микроскопия» под редакцией проф. А.Ю.Буданцева (рег. № издательства в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации Эл №86072 от 4 февраля 2002 г.)  
Техническая работа: редактор 1 категории Т.М.Бондарь  
Администратор Сервера <http://cam.psn.ru> : П.В.Гуркин  
© Электронное издательство «Аналитическая микроскопия»



Карнаухов Валерий Николаевич 1939 г. рождения, окончил Физический факультет Московского Государственного университета им. М.В.Ломоносова, кандидат биологических наук, Зам. Директора Института биофизики клетки РАН (Пушино), заведующий Лабораторией микроспектрального анализа клеток и клеточных систем, член Научного совета по биофизике РАН, член редколлегии журнала «Биофизика», вице-президент Академии проблем сохранения жизни. Область научных интересов: биология клетки, аналитическая микроскопия, спектральный анализ, клеточный мониторинг окружающей среды. Автор более 400 научных работ, в том числе 7 монографий.

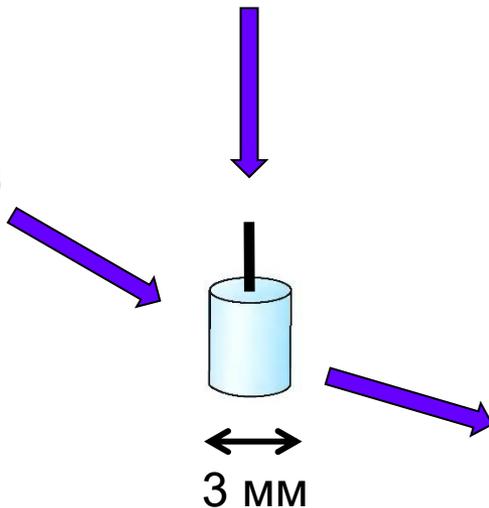
Итак:

1. Уменьшили x1000

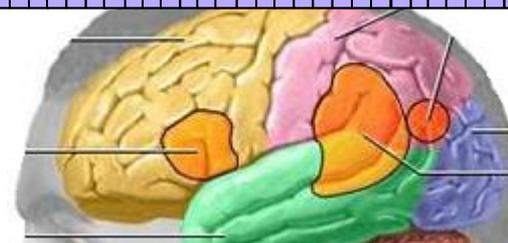
2. Ускорили x1000



Камера CamRecord 600



**мультианоскоп**



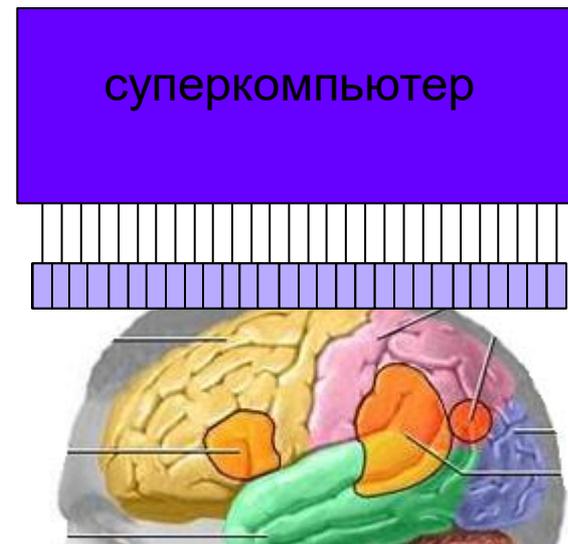
Использование мультианоскопа позволит ускорить  
Оцифровку личности в  $1000 \times 1000 = 10^6$  раз

Сколько же времени потребует оцифровка сознания с использованием «мультианоскопа» ?

$$T = \frac{1,27 \cdot 10^8 \text{ лет}}{10^6} = 127 \text{ лет}$$

Уже лучше, но все равно много ☹

**мультианоскоп**



## Еще одна возможность ускорить «оцифровка личности».

Если обратиться к исходной модели нейронной сети

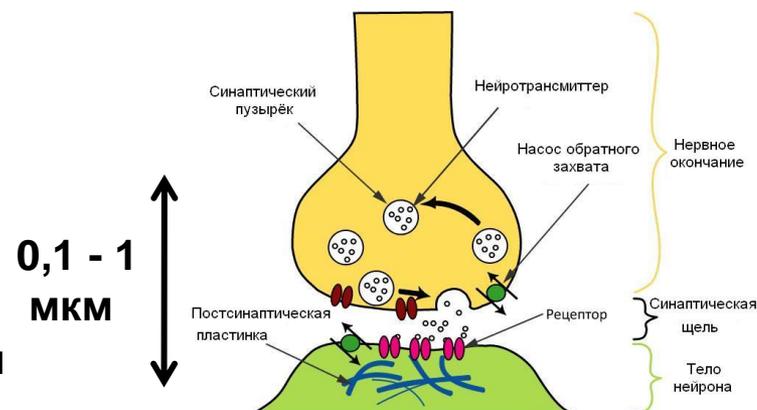
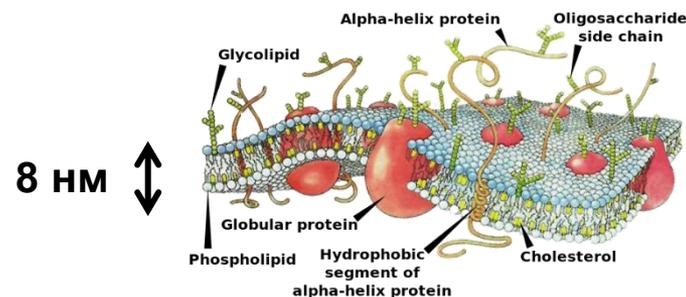
$$S(n, t + \Delta t) = F \left( \sum_{m=1}^M a(m, n) \cdot S(p(n, m), t) \right),$$

то можно обратить внимание, что нейронная сеть характеризуется двумя типами матриц:

Матрица межнейронных связей  $p(n, m)$

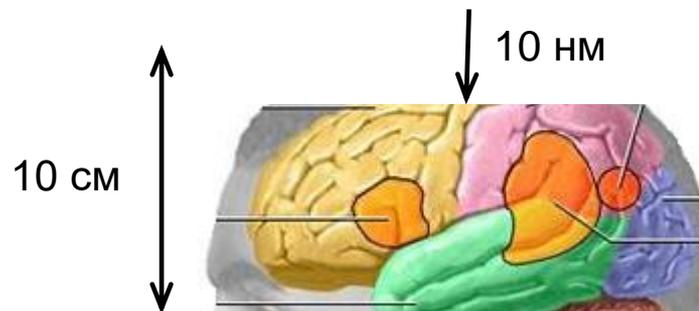
И матрица весовых коэффициентов, характеризующая синапсы  $a(m, n)$

Для каждой из этих матриц оптимальный режим оцифровки будет разным. Для  $p(n, m)$  нет необходимости измерять спектры, а для  $a(m, n)$  достаточно разрешения в 100 нм (0,1 мкм).



Дополнительное 100-кратное уменьшение времени оцифровки даст уже более-менее приемлемую величину?

$$T = \frac{127 \text{ лет}}{100} = 1,27 \text{ года}$$



В принципе на этом можно остановиться и посмотреть другие ограничения, которые здесь есть.

1. Пусть фрезеровка 1 слоя (10 нм) происходит за 1 секунду. Тогда общее время фрезеровки 10 см будет

$$T = \frac{10^{-1}}{10 \cdot 10^{-9}} = 10^7 \text{ сек} = \frac{10^7 \text{ сек}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} = 0.3 \text{ года}$$

2. Мощность суперкомпьютера, способного переварить  $10^{22}$  байт информации за 0.3 года можно оценить:

$$F = \frac{10 \cdot 10^{22}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0.3} = 10^{16} \text{ флос}$$

## **Контрольные вопросы:**

- 1. Отличие живой и неживой материи. Определения жизни.**
- 2. Эволюция. Развитие представлений об эволюции.**
- 3. Симбиоз. Примеры симбиоза.**
- 4. Эволюция человека. Особенности эволюции человека.**
- 5. Основные направления негенетической эволюции человека.**
- 6. Информационная теория старения и возможность существенного продления жизни человека.**
- 7. Оценка необходимых информационных ресурсов, необходимых для моделирования сознания и считывания информационного «слежка» личности.**

## Список литературы:

1. Дарвин Ч., Тимирязев К. Происхождение видов. – Рипол Классик, 2013.
2. Дарвин Ч., Сеченов И. Происхождение человека и половой подбор. – Типография ИН Скороходова, 1896.
3. Чайковский Ю. В. Наука о развитии жизни. – Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 2006.
4. Чайковский Ю. В. Активный связный мир: опыт теории эволюции жизни. – Т-во науч. изд. КМК, 2008.
5. Фред Хойл, Математика эволюции, 2012
6. Иваницкий Г. Р. Вирази закономерностей. Правило БИО-стержень науки. – М.: Наука, 2011.
7. Фаминцын А. С., Строгонов Б. П., Клешнин А. Ф. Обмен веществ и превращение энергии в растениях. – Наука, 1989.
8. Саган К. Голубая точка. Космическое будущее человечества. – Альпина Паблишер, 2015.
9. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир. 352 с. – 1983.
10. Карнаухов А. В., Карнаухова Е. В. Информационная гипотеза старения: каким образом «ускользает» от старения зародышевая линия? //Биофизика. – 2009. – Т. 54. – №. 4. – С. 726.
11. Karnaukhov A. V. et al. Informational theory of aging: the life extension method based on the bone marrow transplantation //Journal of Biophysics. – 2015. – Т. 2015.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26491435>

12. Чайлахян Л. М. Истоки происхождения психики, или сознания. – Пушинский науч. центр, 1992.
13. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – Издательский дом Вильямс, 2008.
14. Карнаухов В. Н. Люминесцентный спектральный анализ клетки. – Наука, 1978.
15. Болонкин А. А. Бессмертие людей и электронная цивилизация. – 2007.
16. Kurzweil R. The singularity is near: When humans transcend biology. – Penguin, 2005.

Статьи в Википедии:

1. Трансгуманизм
2. Загрузка сознания
3. Эволюция
4. Симбиоз