

# Лекция 15.

---

Тема 10. Эволюция биосферы, история антропогенных кризисов, экологический след.

## ЭКОЛОГИЯ

Дмитрий Геннадьевич Замолодчиков

[dzamolod@mail.ru](mailto:dzamolod@mail.ru)

[http://ecology.genebee.msu.ru/4\\_УЧЕБ/kursy.htm#Д.Г. Замолодчиков](http://ecology.genebee.msu.ru/4_УЧЕБ/kursy.htm#Д.Г. Замолодчиков)

Поиск по Google «кафедра общей экологии МГУ»

## 4.6 млрд. лет назад - образование Земли

- ✘ Небулярная гипотеза – образование звезды и планетных систем из облаков молекулярного водорода, содержащих также включения других элементов.



Протопланетарный диск в туманности Ориона.

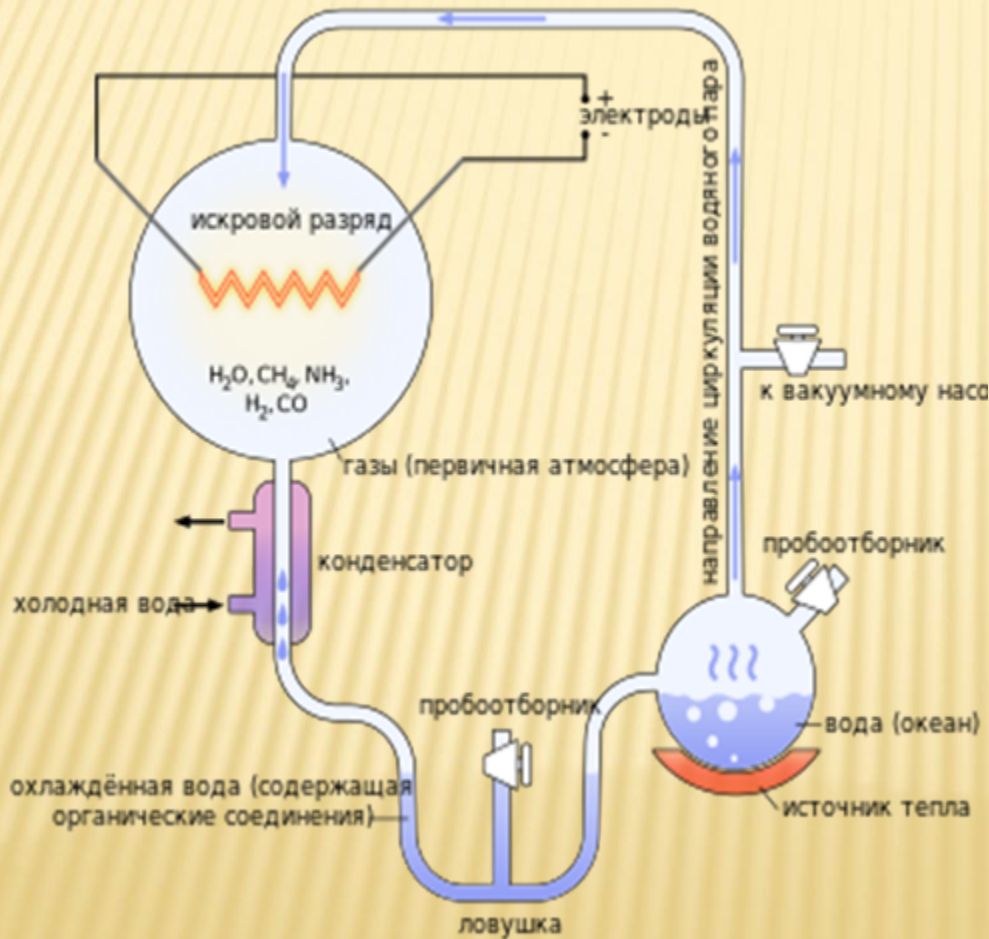
4.6-4.0 млрд. лет назад - катархей

## Гравитационная дифференциация Земли

- ✘ Разделение внутренних слоёв Земли на мантию и металлическое ядро
- ✘ Выделение газов из коры и вулканическая активность привели к образованию первичной атмосферы
- ✘ Конденсация водяного пара привела к образованию океанов
- ✘ Земная атмосфера состояла из лёгких элементов: водорода и гелия, но содержала значительно больше углекислого газа

# 4.0-2.5 млрд. лет назад – архей. Период химической эволюции

Эксперимент Стэнли Миллера (1953): образование органических молекул (аминокислоты, сахара, липиды) из неорганических веществ ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ )

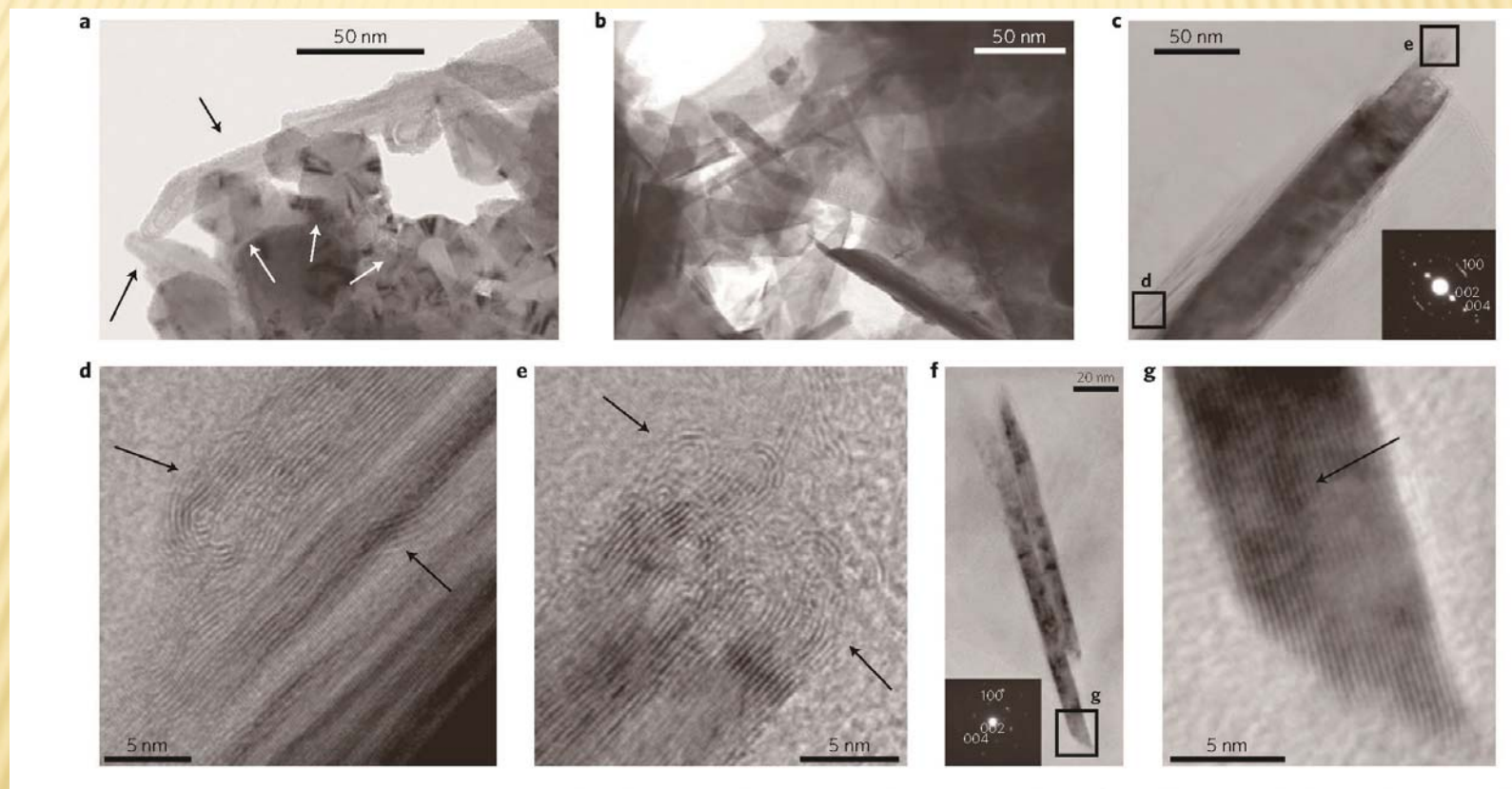


**Стэнли Ллойд Миллер**  
(1930-2007)

4.0-2.5 млрд. лет назад – архей.

3.7 млрд. лет назад – вероятное наличие жизни.

## Графит в осадочных породах Гренландии



**Figure 4 | Transmission electron microscopy images of graphite. a,** STEM image of graphite in metasediment (sample 6072906), showing dominance of polygonal and tube-like grains. **b,** STEM image of secondary graphite (sample 4062002y), showing dominance of sheeted flake grains. **c,** HRTEM image of graphite in metasediment (sample 6072905). SAED was obtained from area in **c**. **d,e,** Magnification of the area marked **d** and **e** in **c**. **f,g,** HRTEM image of sample 4062002y. SAED was obtained from area in **f**. **g,** Magnification of the area marked **g** in **f**. Arrows are explained in the main text.

# 2.8 млрд. лет назад – появление кислородного фотосинтеза (цианобактерии)

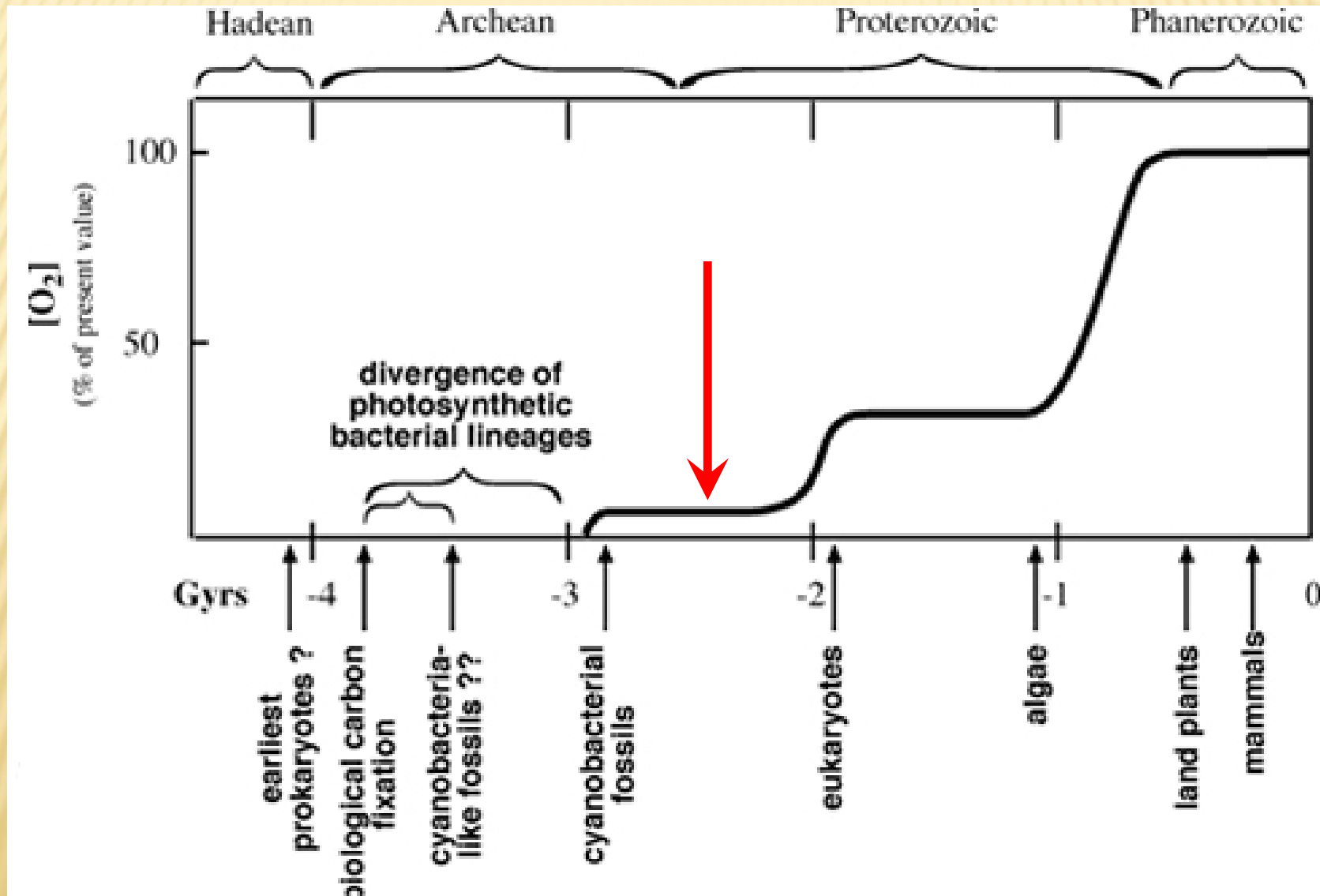


Окаменелый строматолит – ископаемый остаток цианобактериального мата



Современные строматолиты  
(Западная Австралия)

# Изменение содержания кислорода и основные вехи эволюции биосферы



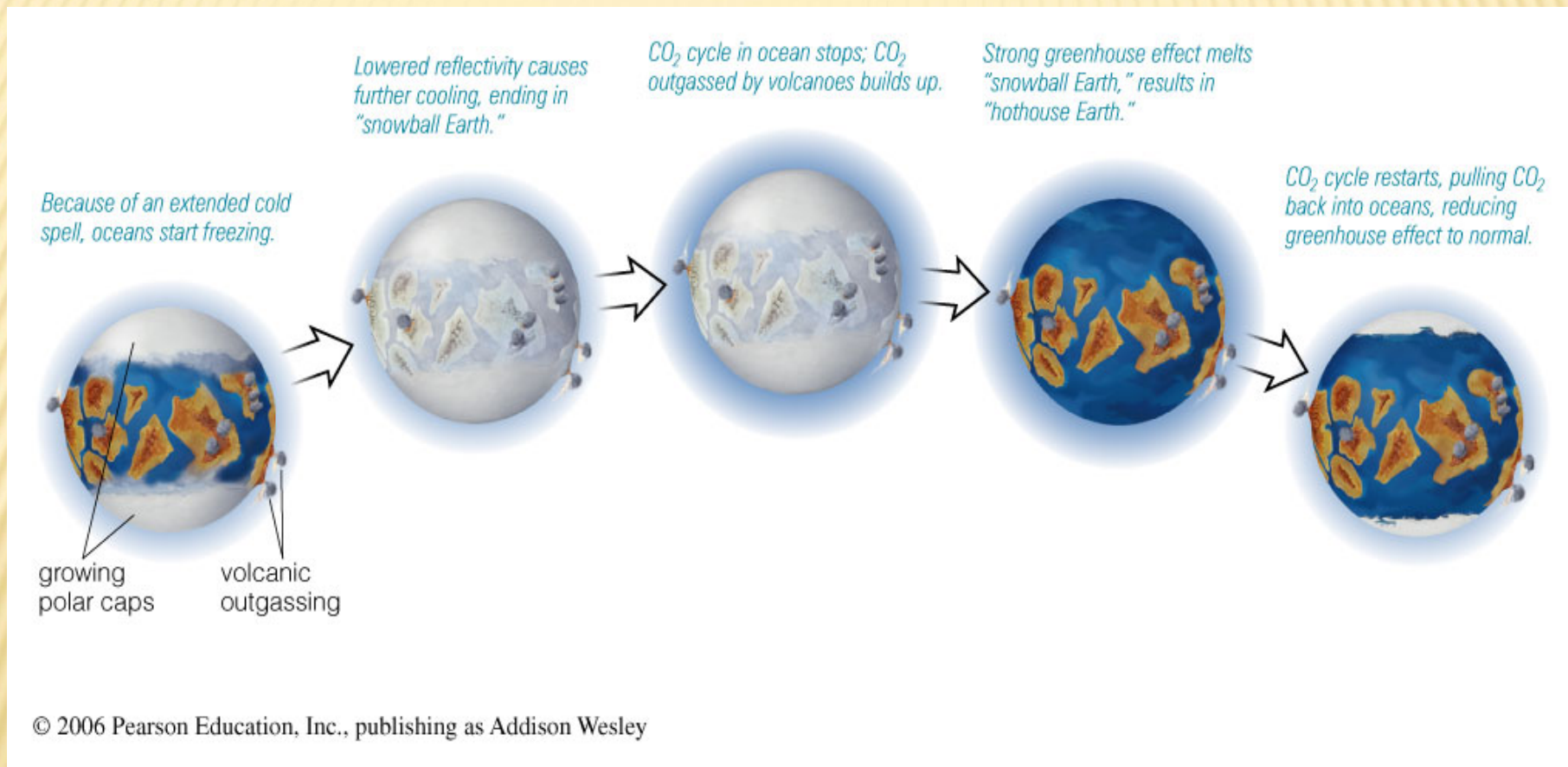
2.5-0.542 млрд. лет назад - протерозой  
2.4 млрд. лет назад – кислородная катастрофа

---

- ✘ Вымирание либо катастрофическое сокращение численности анаэробных организмов (первичной биосферы)
- ✘ Изменение характера образования осадочных пород (окисленные породы)
- ✘ Изменение состава атмосферы, сокращение концентрации метана ( $\text{CH}_4$ )
- ✘ Похолодание климата, первое оледенение

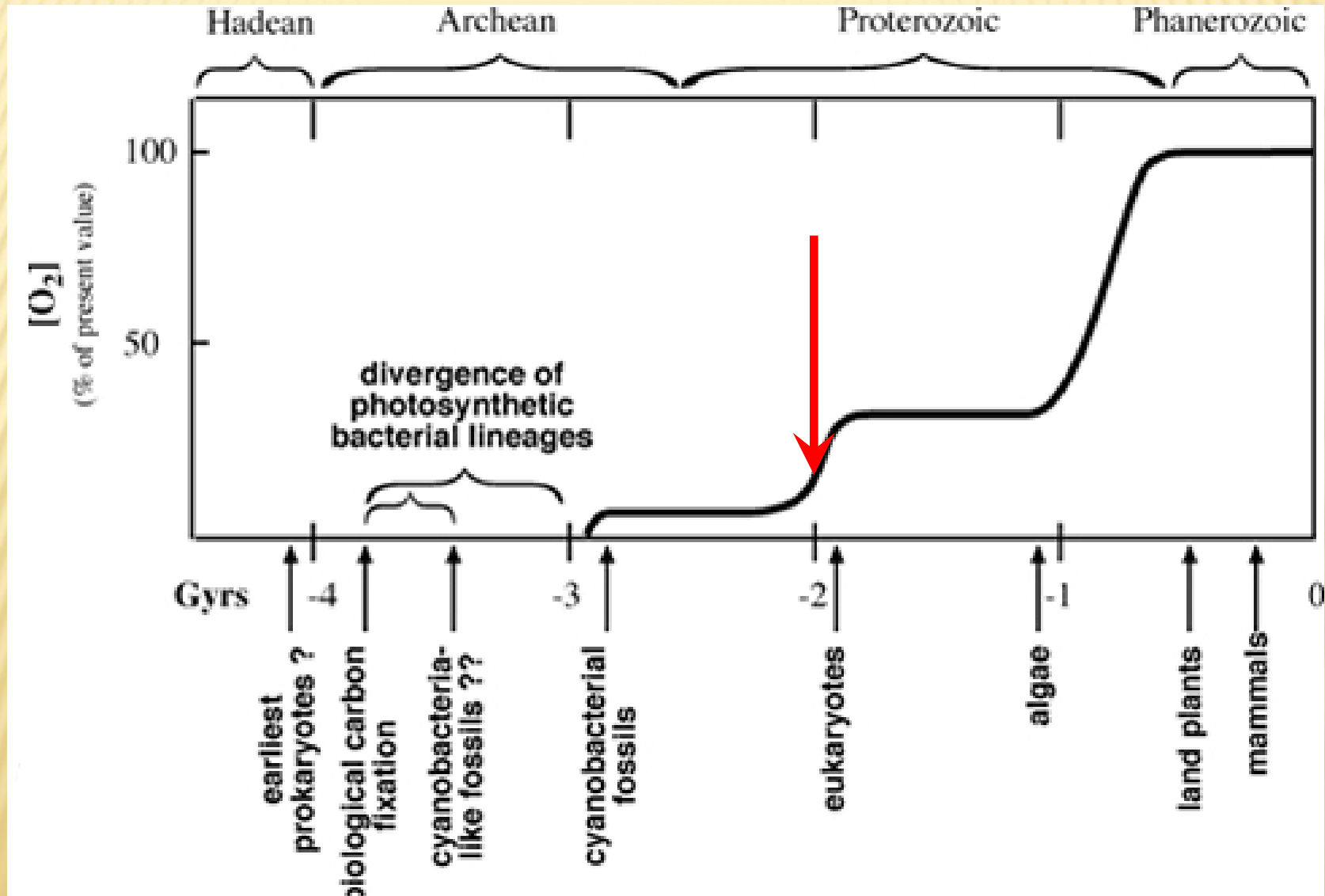


## 2.4-2.1 млрд. лет назад – гуронское оледенение Земля – снежный шарик в течение 300 млн. лет

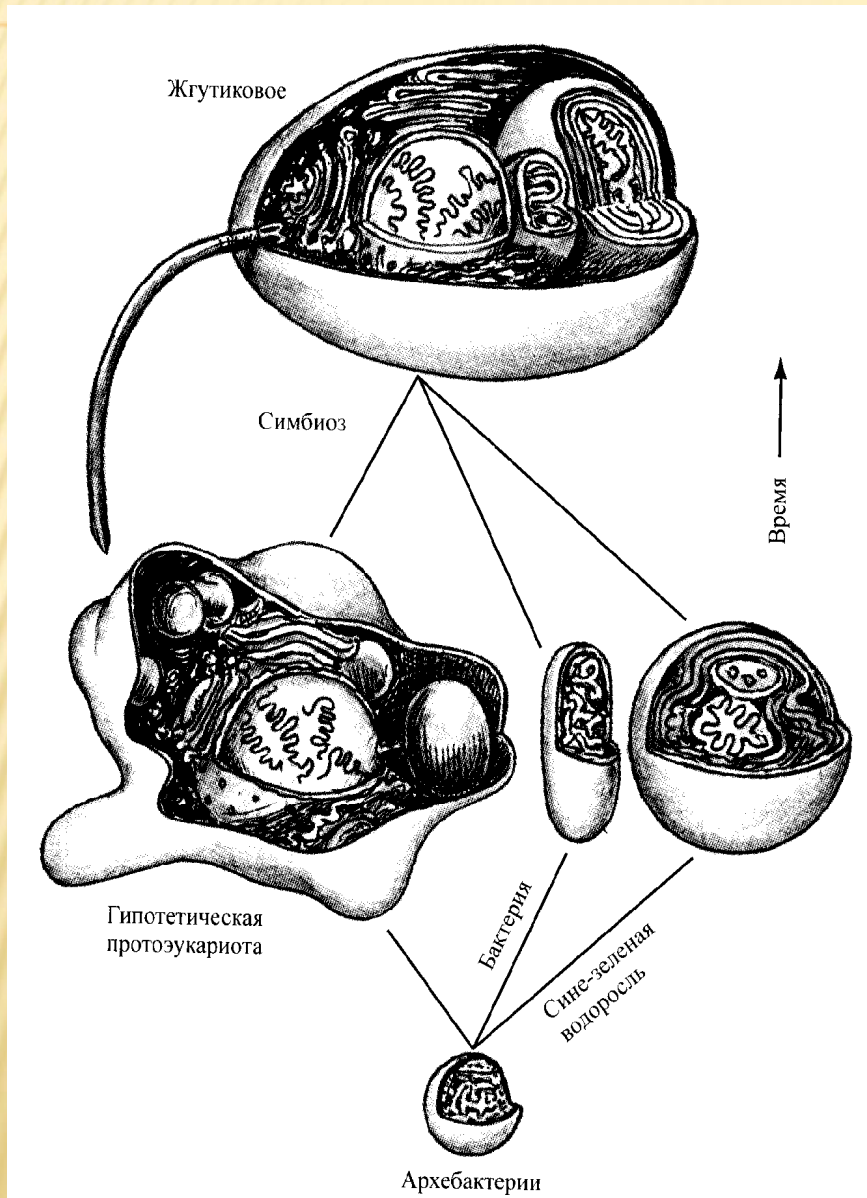


Выход из состояния снежного шарика:  
постепенное выделение CO<sub>2</sub> мантией Земли

# Появление эукариотов и многоклеточных



# 2.0 млрд. лет назад – появление эукариотов



Гипотеза  
симбиогенеза

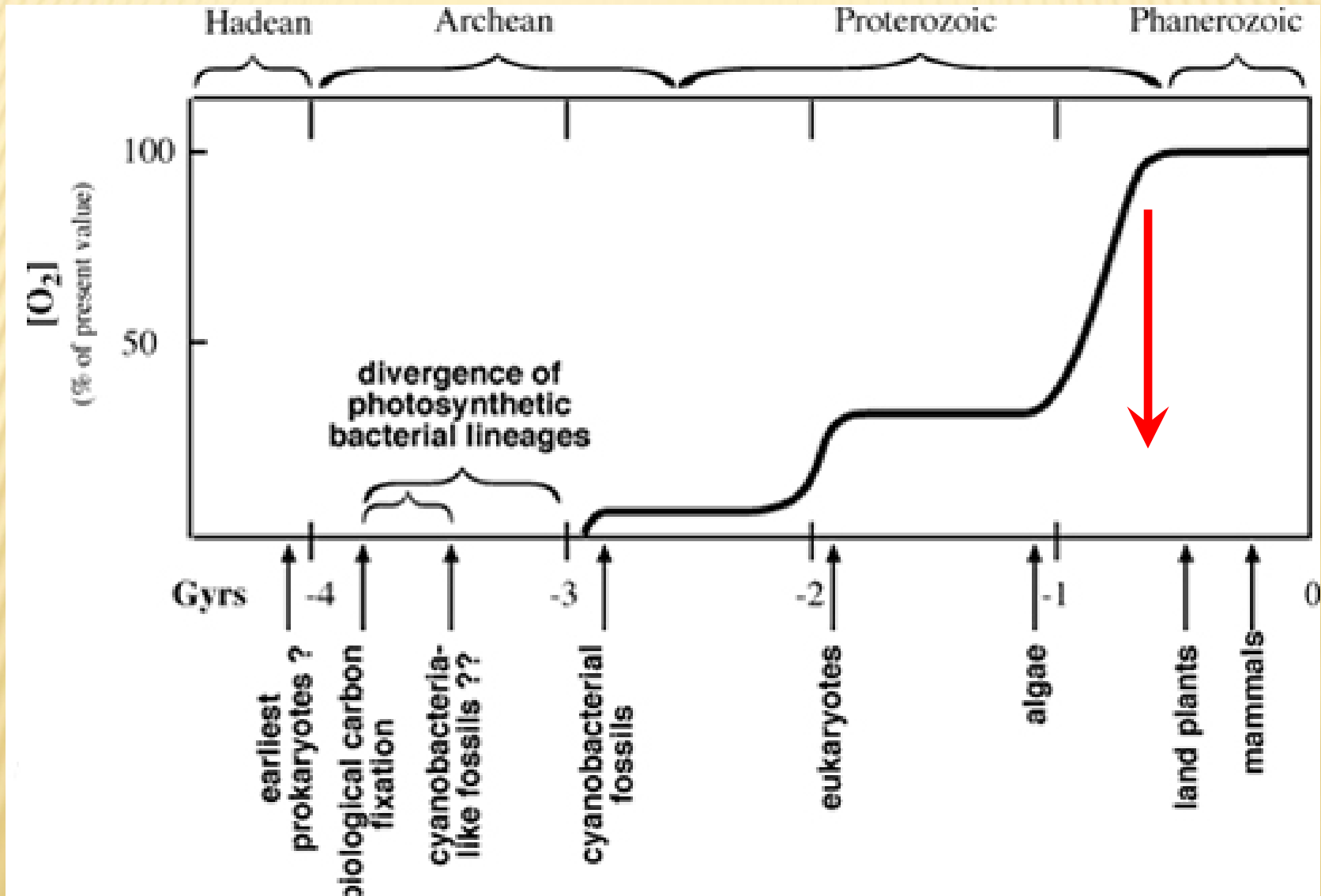
**1.9 млрд. лет назад – появление  
многоклеточных водорослей**

---

*Gyrodinium aureolum*



# Кембрийский взрыв



540 млн. лет назад по наст. время - фанерозой  
540 млн. лет назад – кембрийский взрыв и скелетная  
революция

- ✘ Появление хордовых, моллюсков, членистоногих, иглокожих
- ✘ Формирование экзоскелета в связи с развитием отношений хищник-жертва



Трилобит

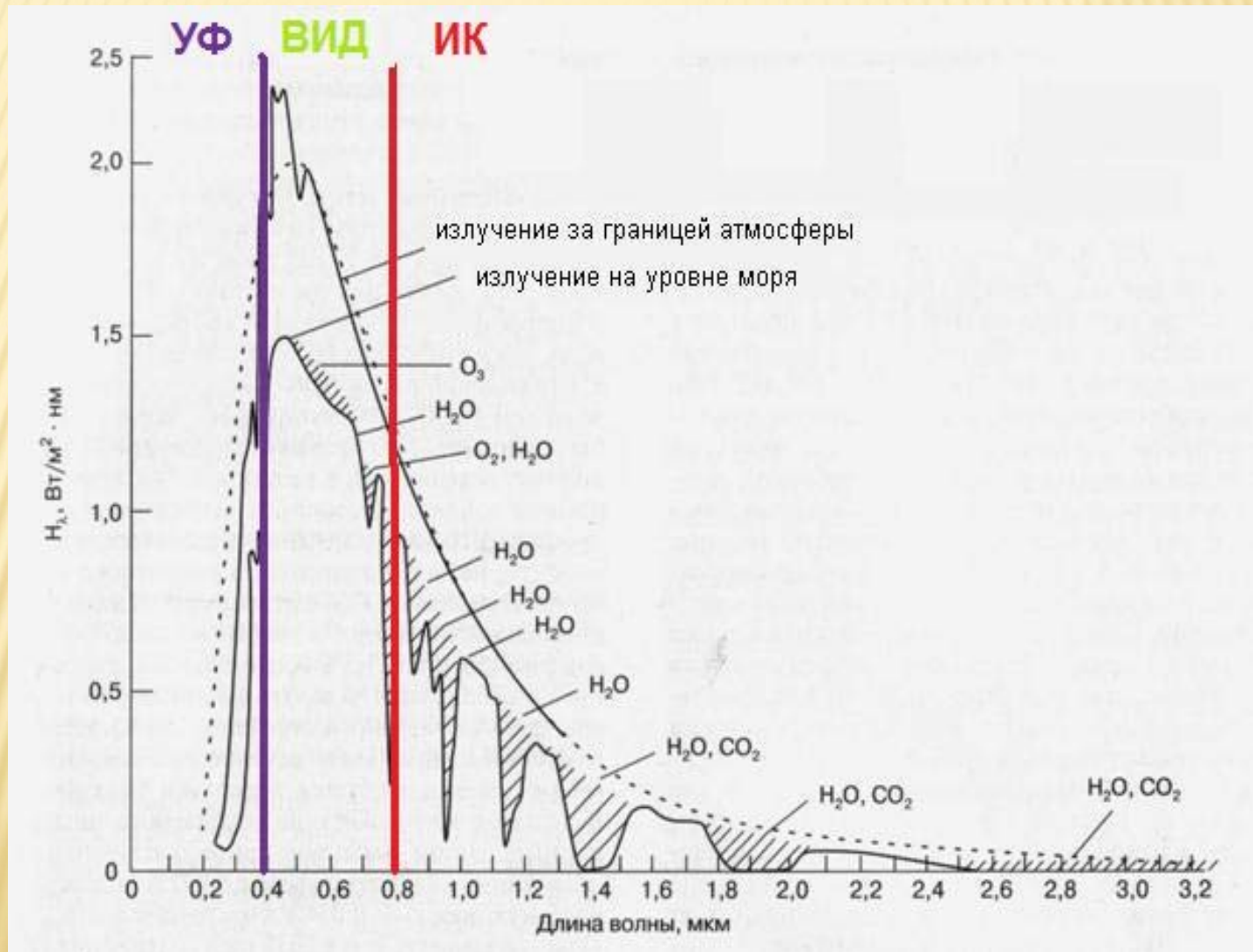


Марелла

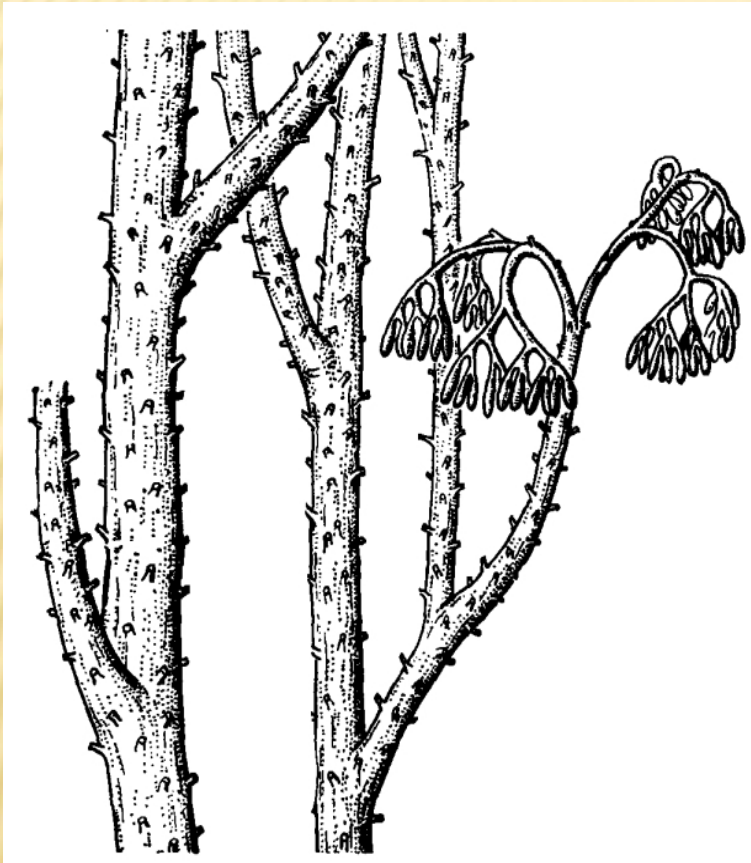


Хиолит

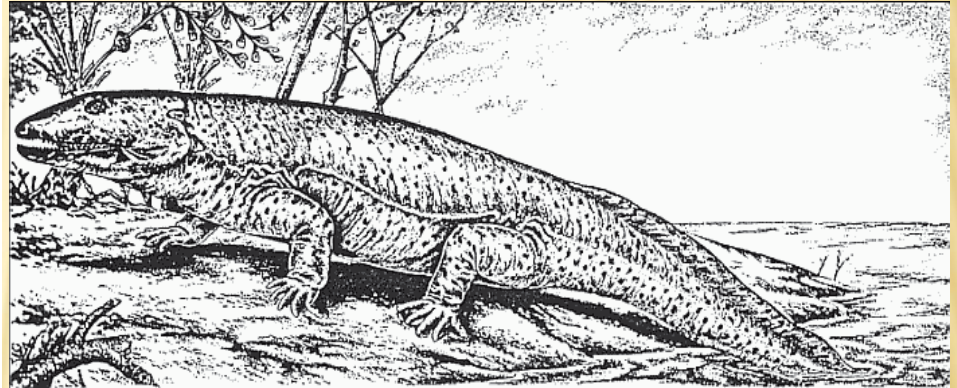
# При 10% кислорода начинает формироваться ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ



# 400 млн. лет назад – массовый выход жизни на сушу



Псилофит первичный



Ихтиостега



360-300 млн. лет назад – каменноугольный период.  
Сильный дисбаланс в цикле углерода (углеобразование)



# 250 млн. лет назад – пермско-триасовое вымирание живых организмов

---

Вымерло 96% морских видов и 70% наземных видов  
Вероятные причины.

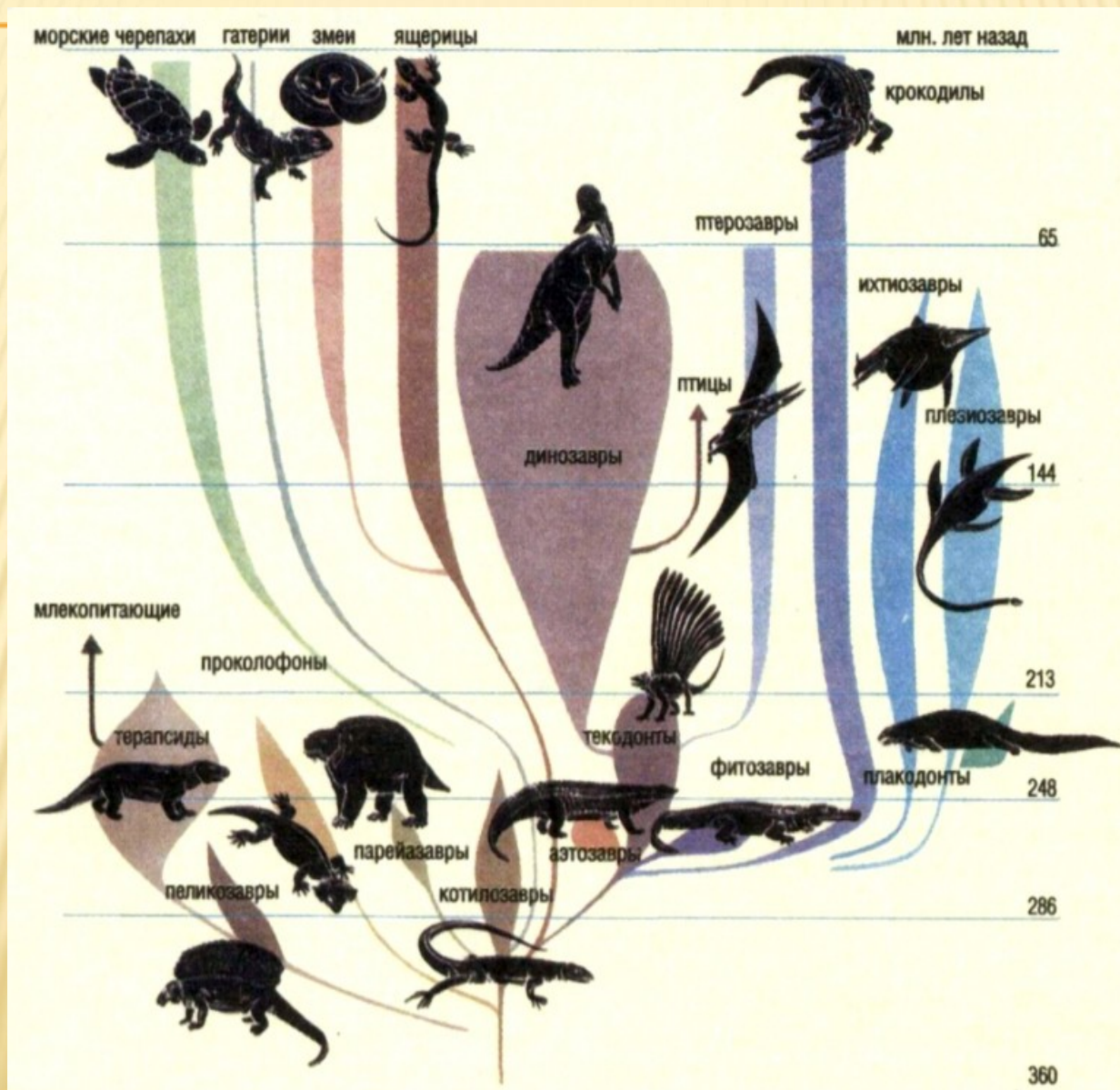
1. Усиление вулканической деятельности в Сибири (излияние трапов, выброс хлороводорода)
2. Столкновение Земли с астероидом
3. Метановая катастрофа (метангидратное ружье)
4. Изменения состава атмосферы и климата

# 252-66 млн. лет назад – доминирование рептилий (мезозой)

---



# Эволюционное древо рептилий



# 65 млн. лет назад - мел-палеогеновое вымирание

Всего погибло 16 % семейств морских животных (47 % родов морских животных) и 18 % семейств сухопутных позвоночных.

В числе известных групп: динозавры, птерозавры, аммониты, белемниты.



АММОНИТ



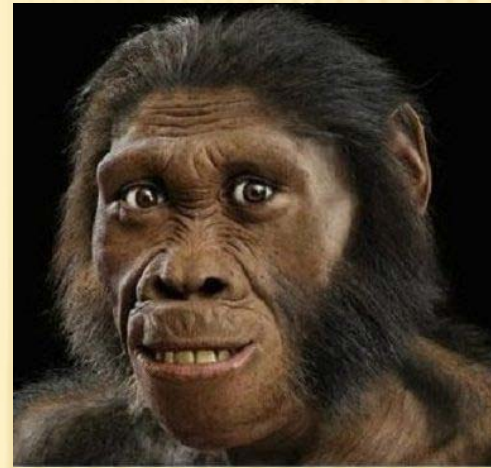
Белемнит

# Вероятные причины мел-палеогенового вымирания

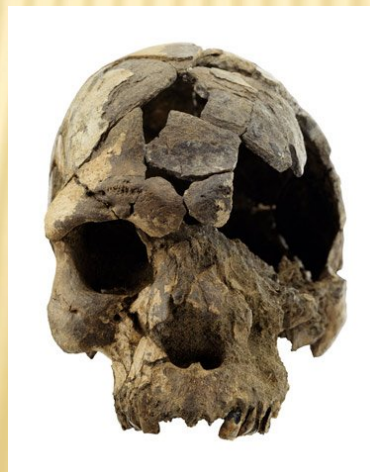
---

- ✘ Изменение климата (смена термоэры криоэрой в связи с формированием близкого к современному положения материков)
- ✘ Падение астероида, столкновение с кометой
- ✘ Вулканическая активность (излияние деканских траппов)
- ✘ Эволюция млекопитающих (появление форм, способных потреблять яйца динозавров).

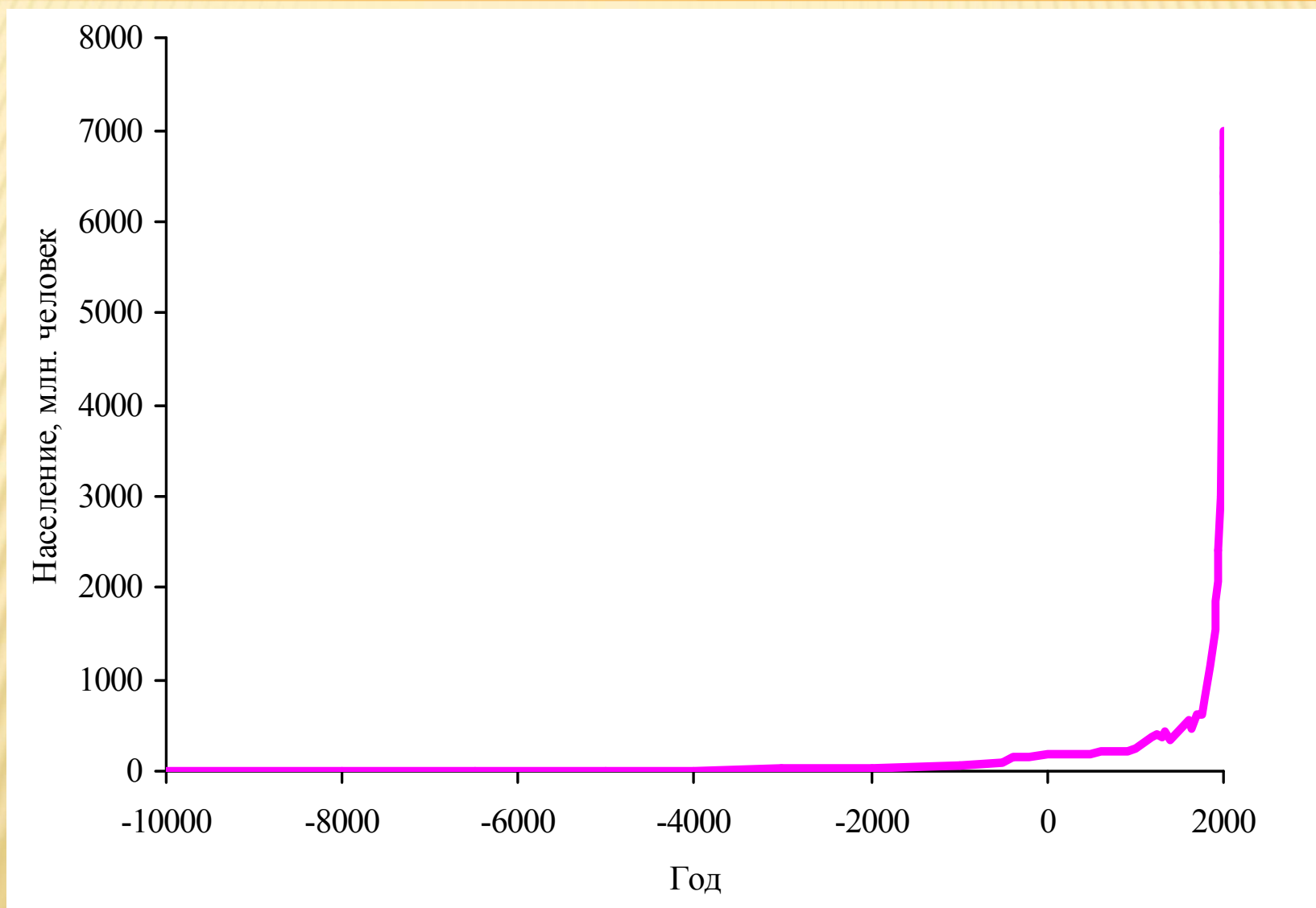
2.5 млн. лет назад – возникновение рода  
*Homo* (*Homo habilis*)



200 тыс. лет назад – возникновение  
вида *Homo sapiens*

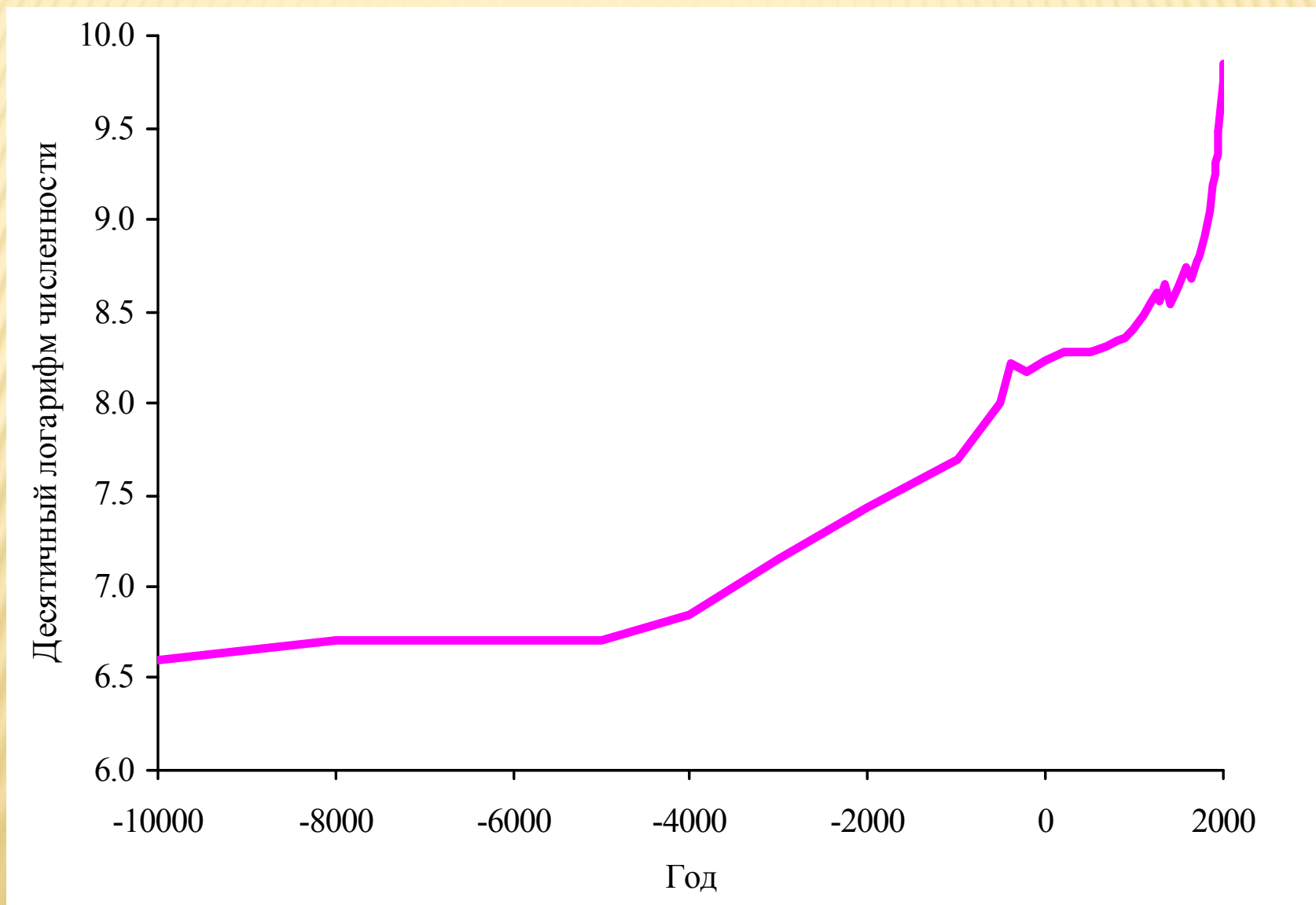


# Динамика населения планеты в голоцене

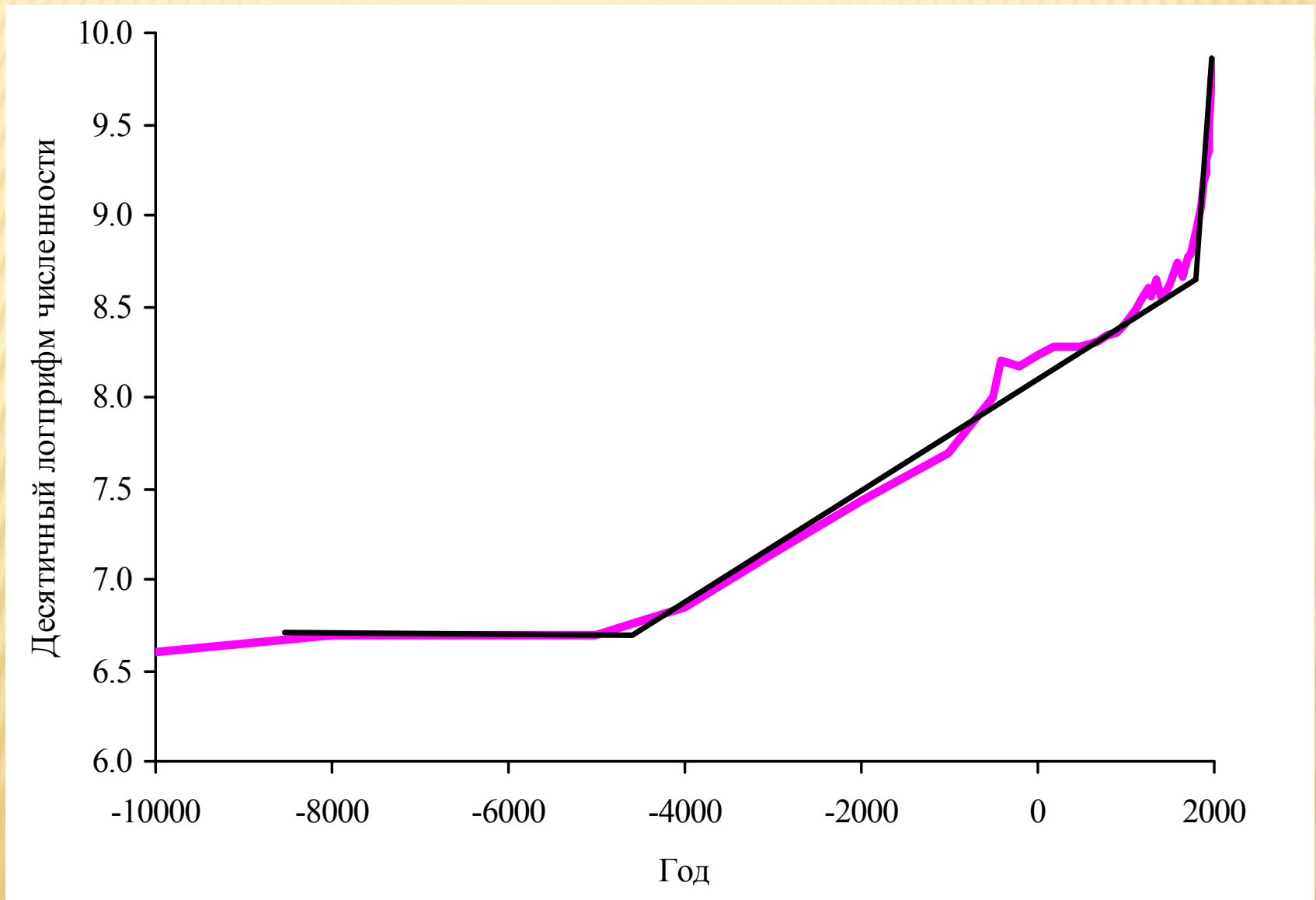




# Динамика населения в полулогарифмической шкале



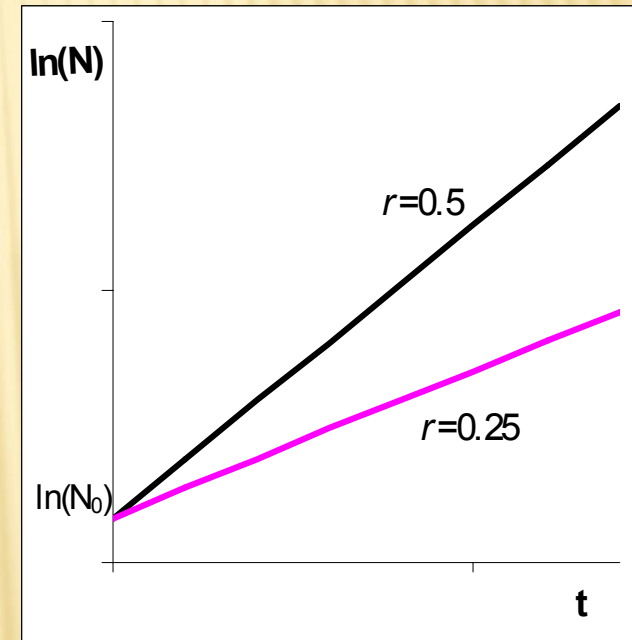
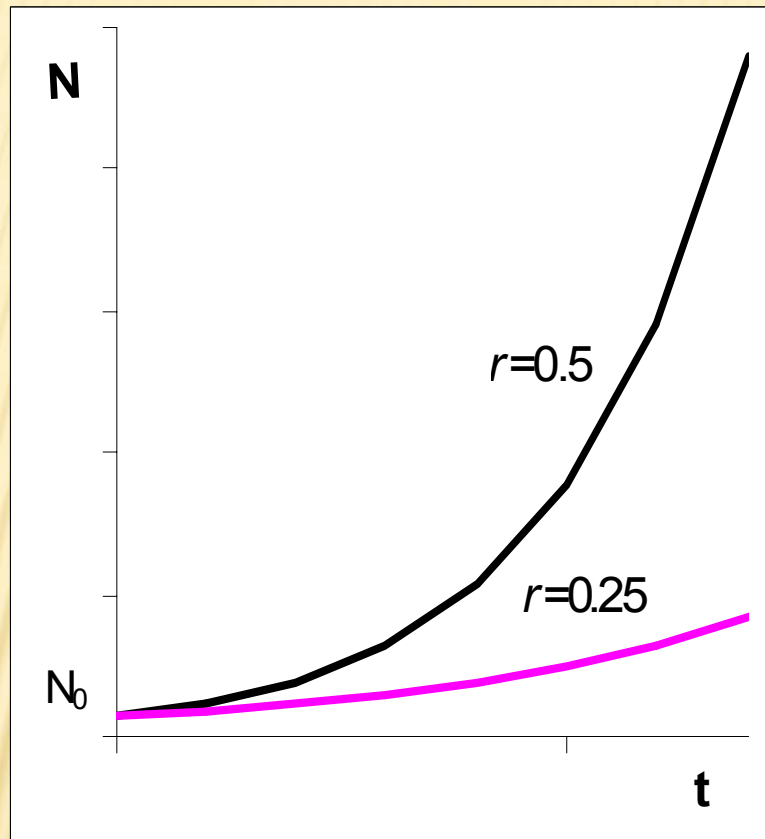
# Динамика населения в полулогарифмической шкале



# Более общий случай – экспоненциальное уравнение

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

$$N(t) = N_0 e^{rt}$$

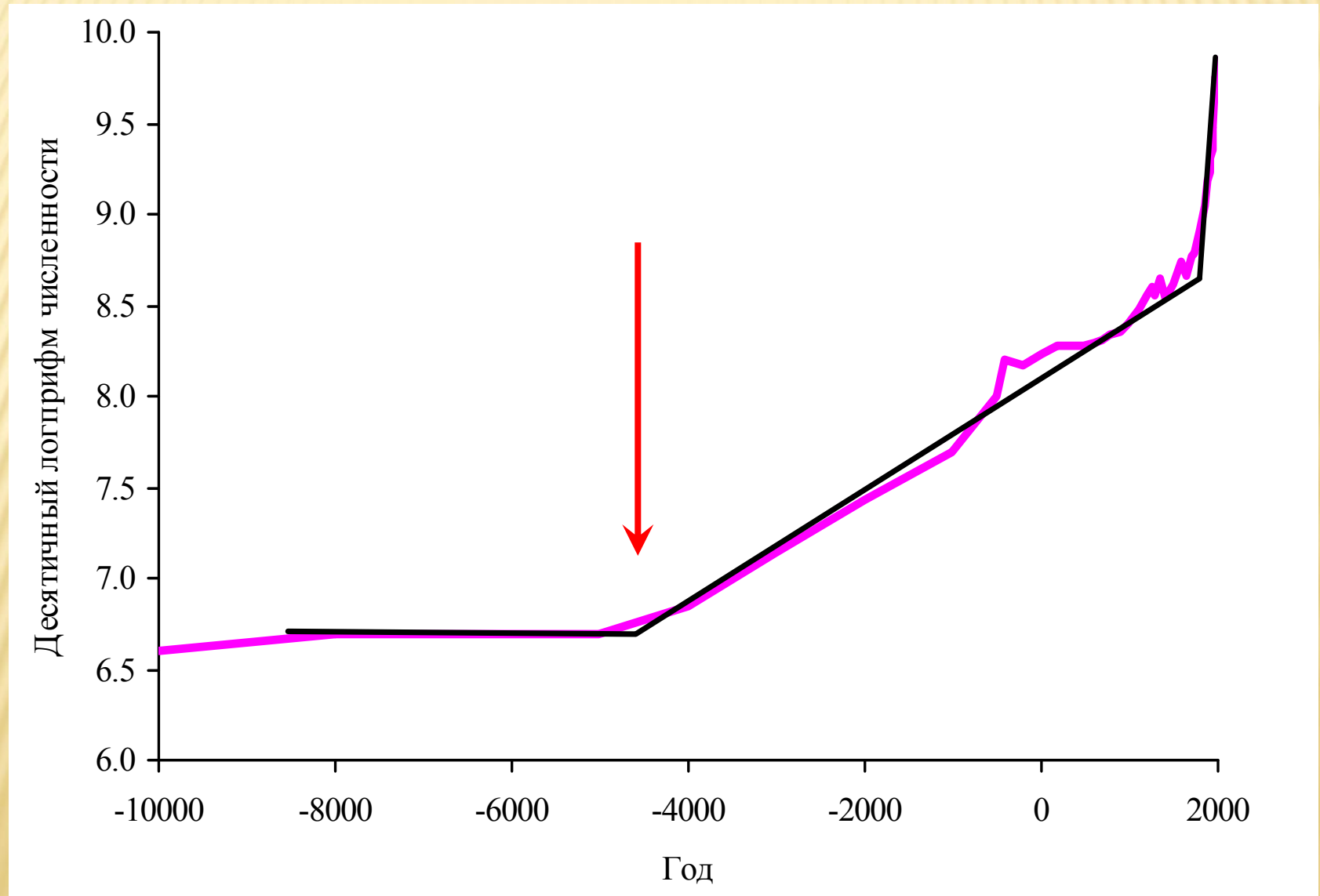


$$\ln(N(t)) = \ln(N_0) + rt$$

$r$  – удельная скорость роста,  
биотический потенциал,  
мальтузианский параметр

$$r = \frac{\ln N(t_1) - \ln N(t_2)}{t_2 - t_1}$$

# Первый перелом: 5 тыс. лет до н.э.



**5 тыс. лет до н.э. – неолитическая революция,**

то есть переход от охоты и собирательства к  
земледелию и животноводству

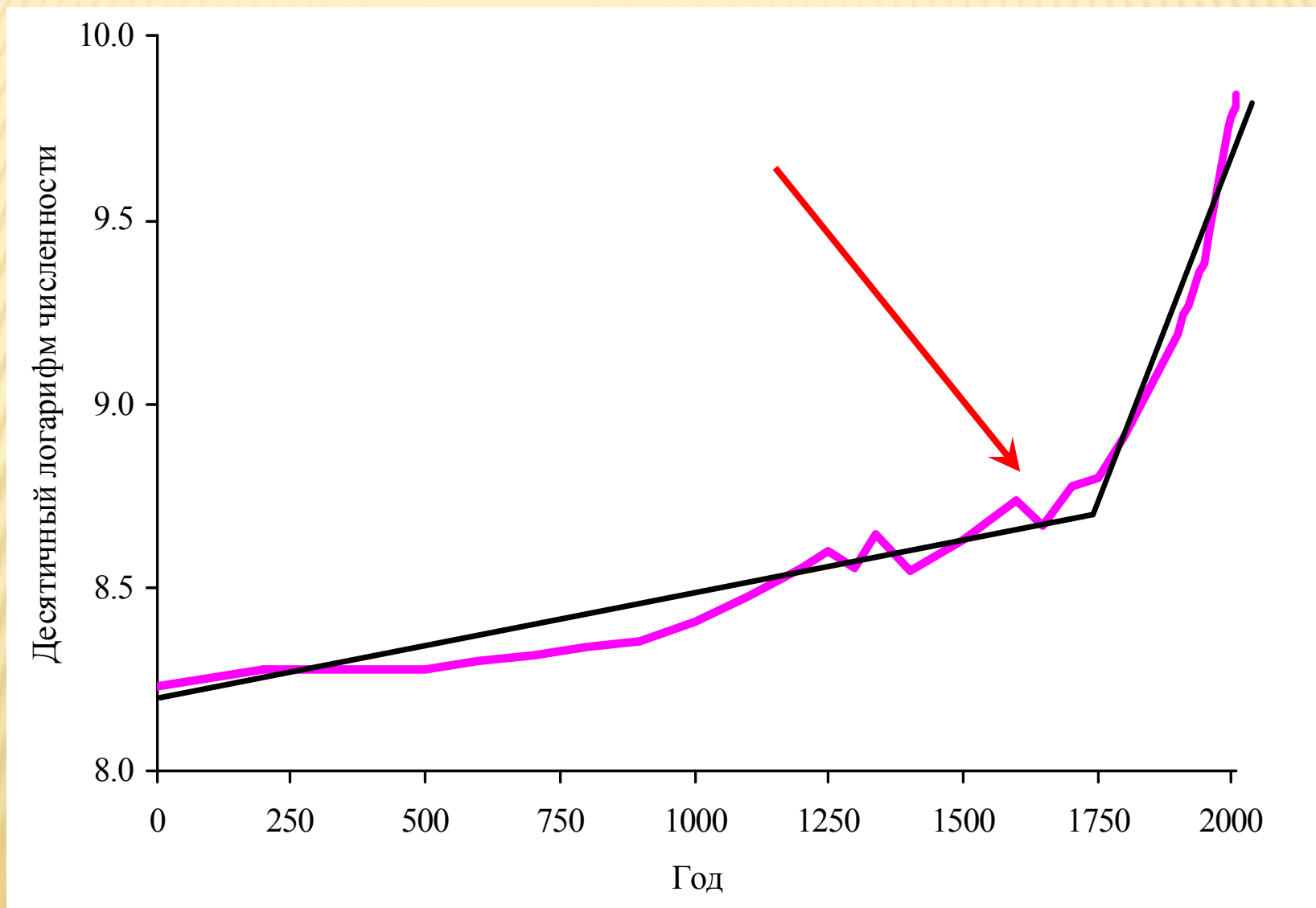


# Экологическая интерпретация явления

---

- ✘ Модификация потоков энергии в контролируемых (сельскохозяйственных) экосистемах
- ✘ Расширение энергетического базиса своего трофического уровня, снятие лимитирования по энергии
- ✘ Экспоненциальный рост численности населения

# Второй перелом: 1750 год



**1750-1800 гг. – промышленная революция,  
включающая переход на использование  
ископаемого топлива как основного источника  
энергии**





# Экологическая интерпретация

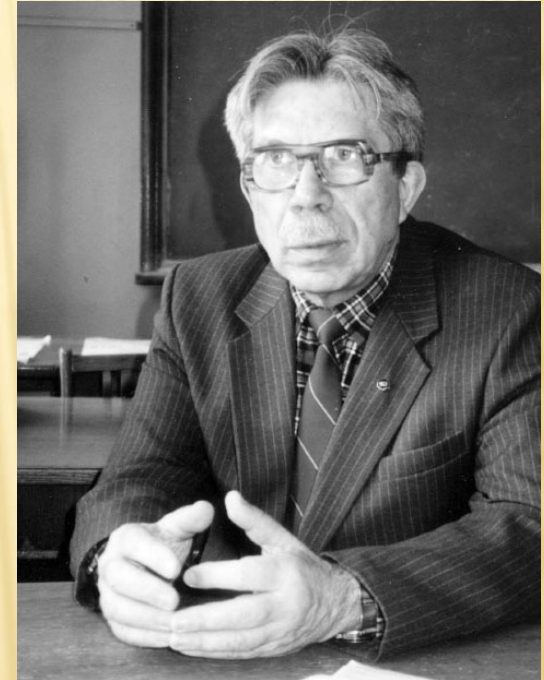
---

- ✘ Использование ископаемого топлива снимает энергетические лимиты, которые поставлены эффективностью использования солнечной энергии при фотосинтезе.
- ✘ Энергетический базис цивилизации расширяется, что приводит к увеличению относительной скорости роста населения.

# Экологические названия переломных моментов (по Н.Ф. Реймерсу, 1990)

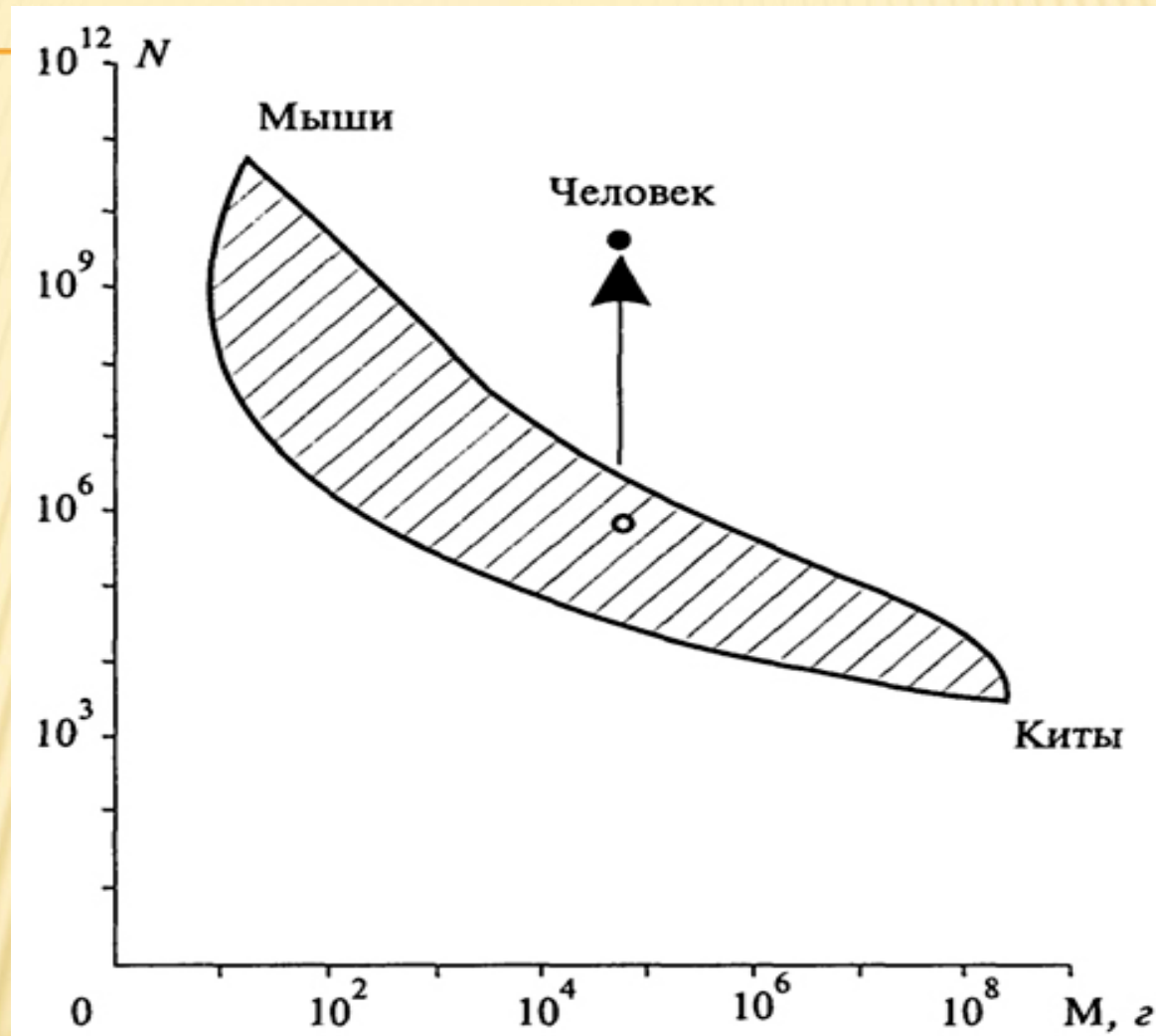
- ✘ 5 тыс. лет до н.э. – кризис консументов
- ✘ 1750 г. – кризис продуцентов
- ✘ 1950 г. – кризис редуцентов

Кризис редуцентов не отразился на динамике роста народонаселения.



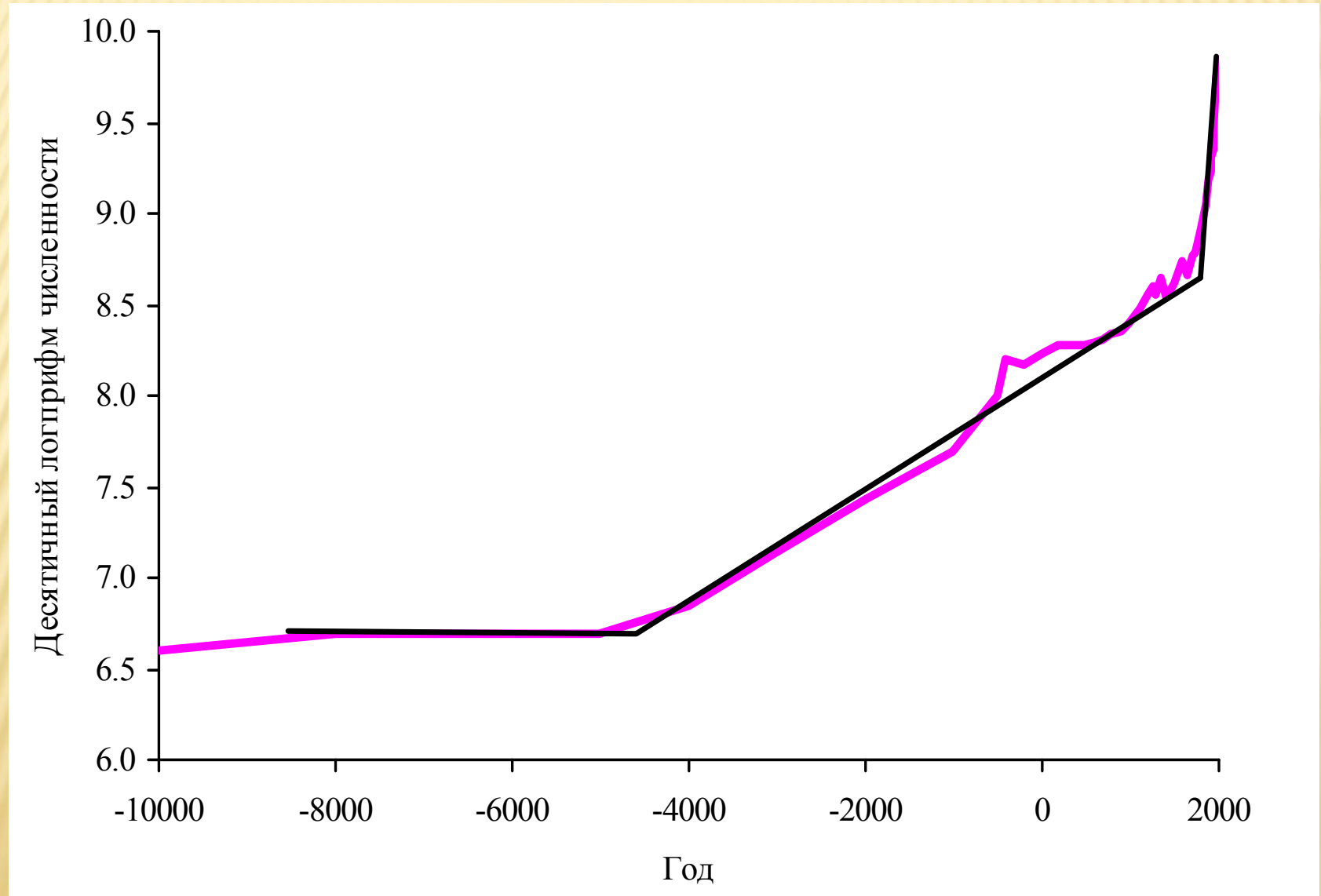
Реймерс  
Николай  
Федорович  
(1931-1993)

# Сколько людей может жить на планете?



В соответствии с экологическими закономерностями  
– не более 5 миллионов.

# «Экологически допустимое» число людей было превышено сразу после неолитической революции



# Экологический след – подход к интегральной оценке потребления человеком ресурсов биосферы

Концепцию предложил  
в 1992 г. Уильям Риз  
(W. Rees)



Регулярная активность по  
оценке следа поддерживается  
WWF



# Составляющие экологического следа



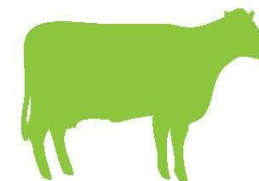
## Углеродный след

Площадь лесов, необходимая для связывания выбросов  $\text{CO}_2$  от сжигания ископаемого топлива, за исключением доли выбросов, поглощаемой океанами.



## Пашня

Площадь под сельскохозяйственными культурами, используемыми в качестве источника продовольствия и волокон для человека, а также под кормовыми, масличными и каучуковыми культурами.



## Пастбища

Площадь пастбищ для выпаса животных, выращиваемых в качестве источника мяса, молока, кожи и шерсти.



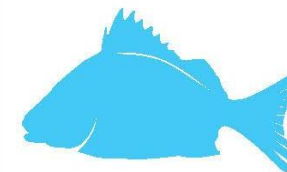
## Леса

Площадь лесов, необходимая для производства потребляемых лесоматериалов, целлюлозы и дров.



## Застроенные земли

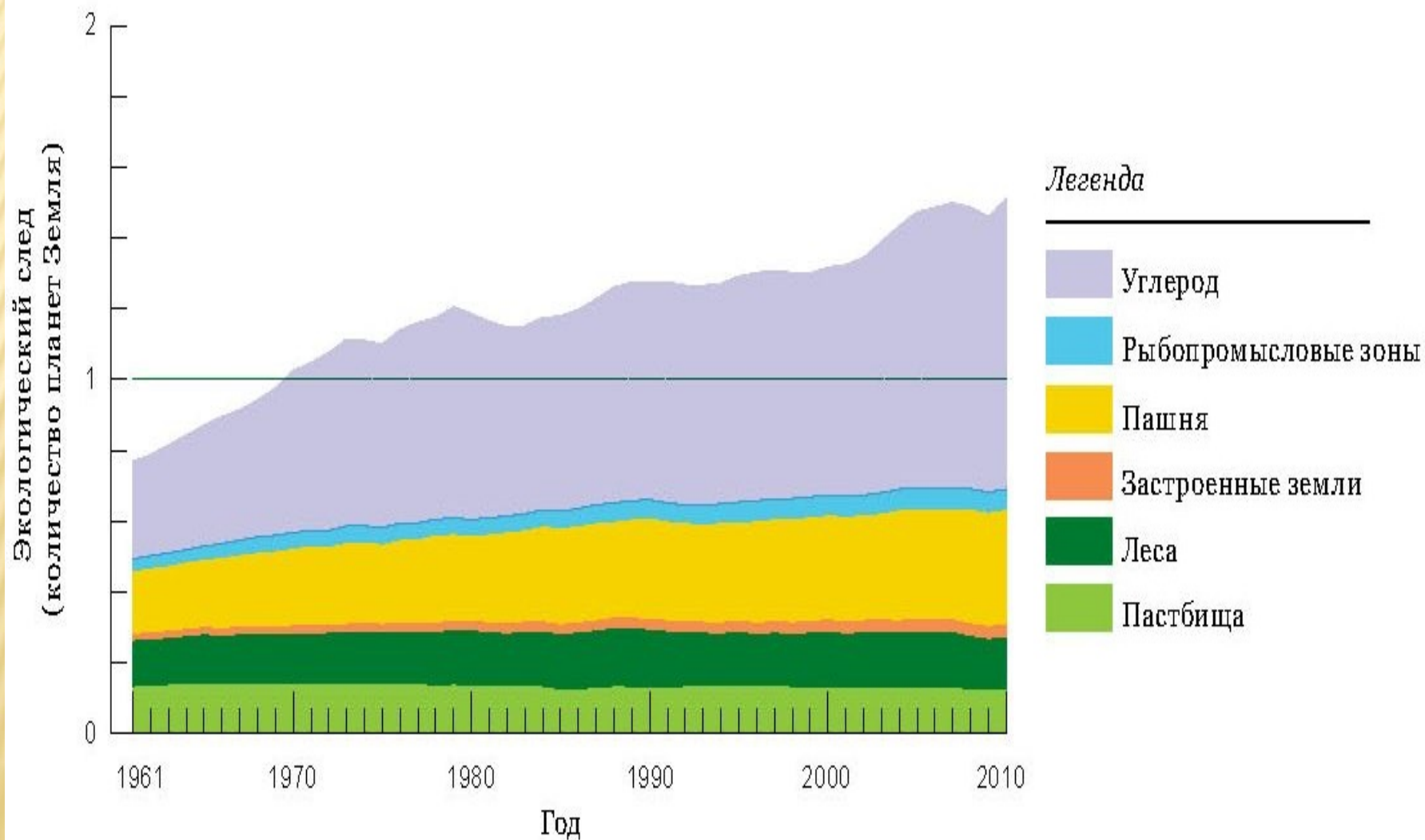
Площадь, занятая антропогенной инфраструктурой, включая транспортную инфраструктуру, жилую застройку, промышленные сооружения и водохранилища ГЭС.



## Рыбопромысловые зоны

Рассчитывается на основе оценки первичной продукции, необходимой для поддержания добываемой рыбы и других морских организмов, с использованием данных о вылове морских и пресноводных видов.

# Динамика экологического следа в 1961-2008 гг.







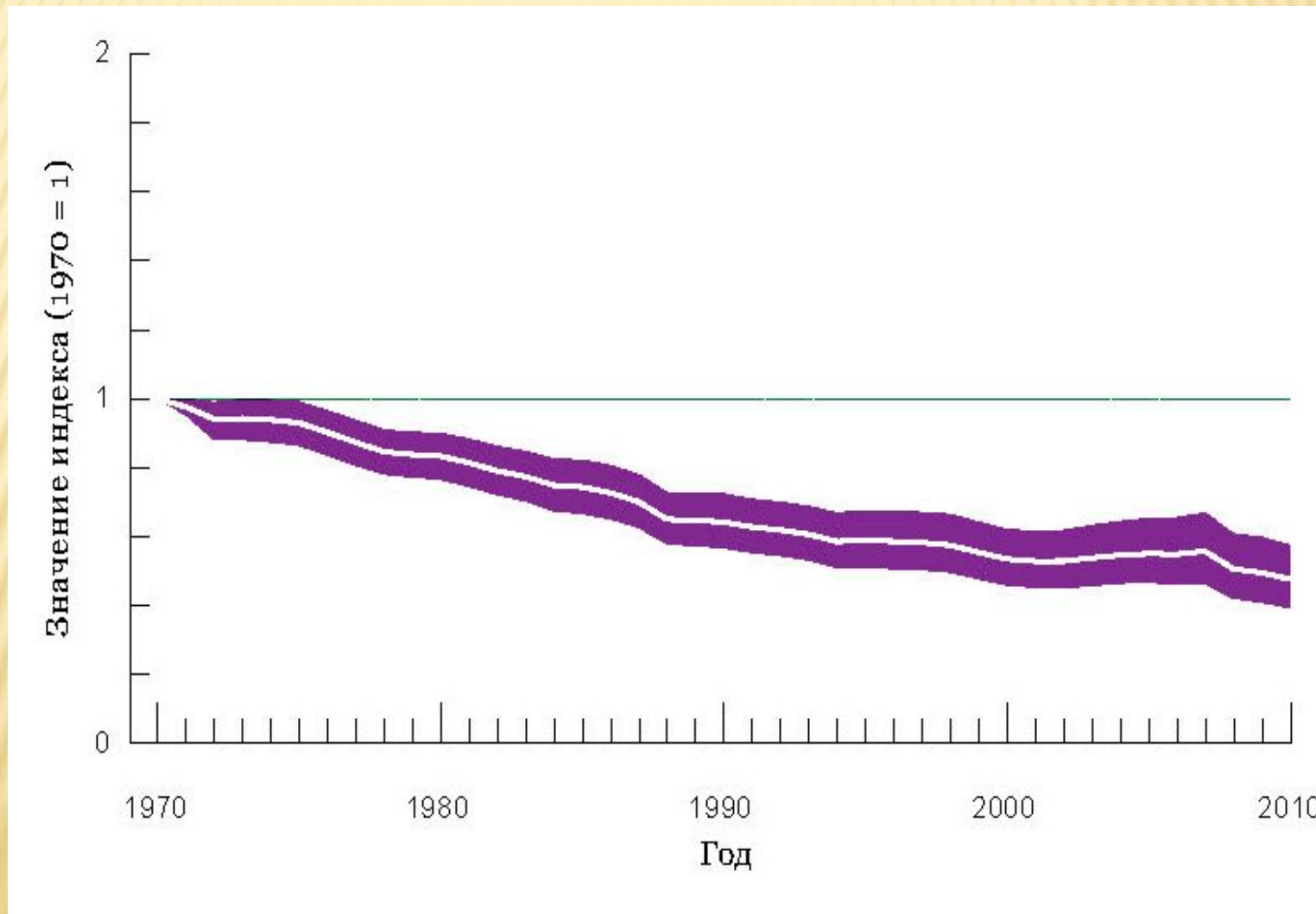
# Сколько людей может устойчиво существовать на Земле при разном уровне жизни

Уровень жизни (по стране)	Население, млрд. чел.
Кувейт	0.7
США	1.4
Россия	1.8
Китай	3.4
Индия	8.2
Восточный Тимор	17.2
Средний по всем странам	4.3

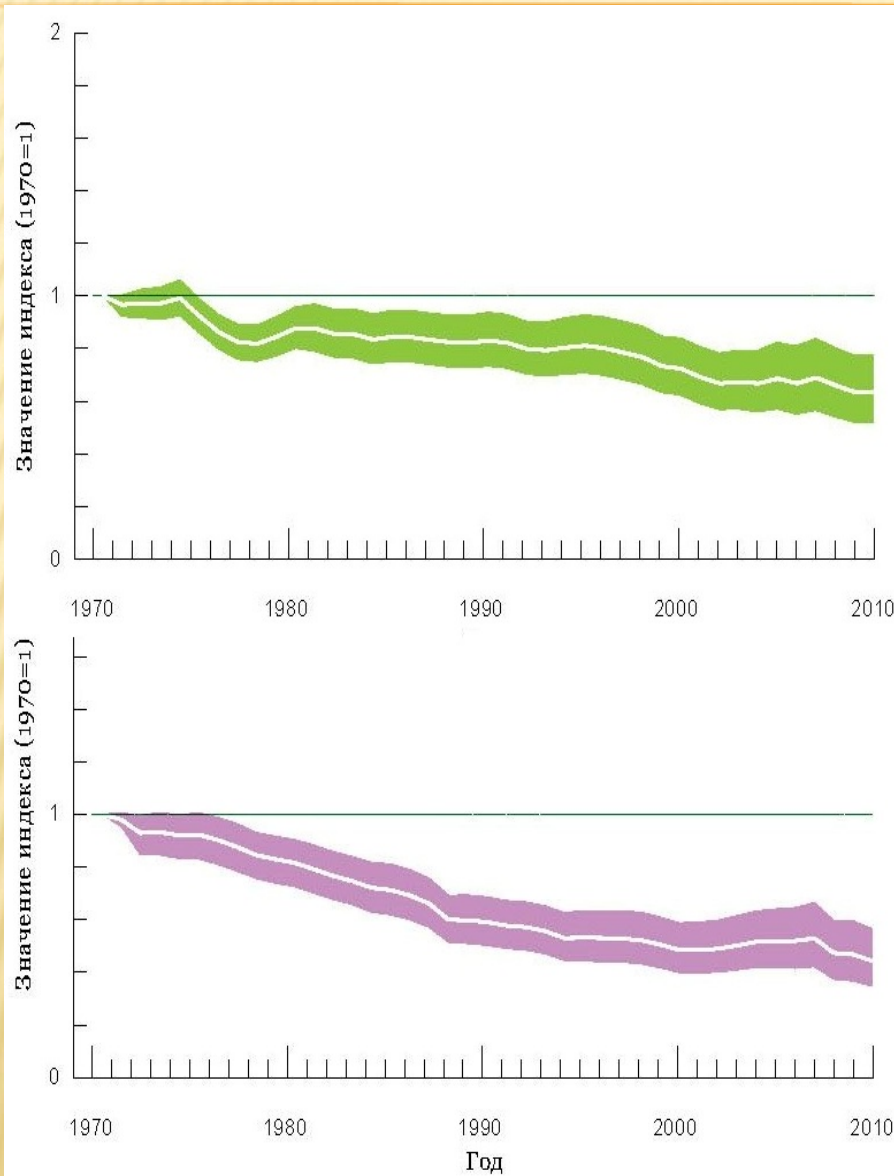
# Индекс живой планеты (уменьшился на 52%)

## Рассчитывается по состоянию 10380 популяций

### 3038 видов животных



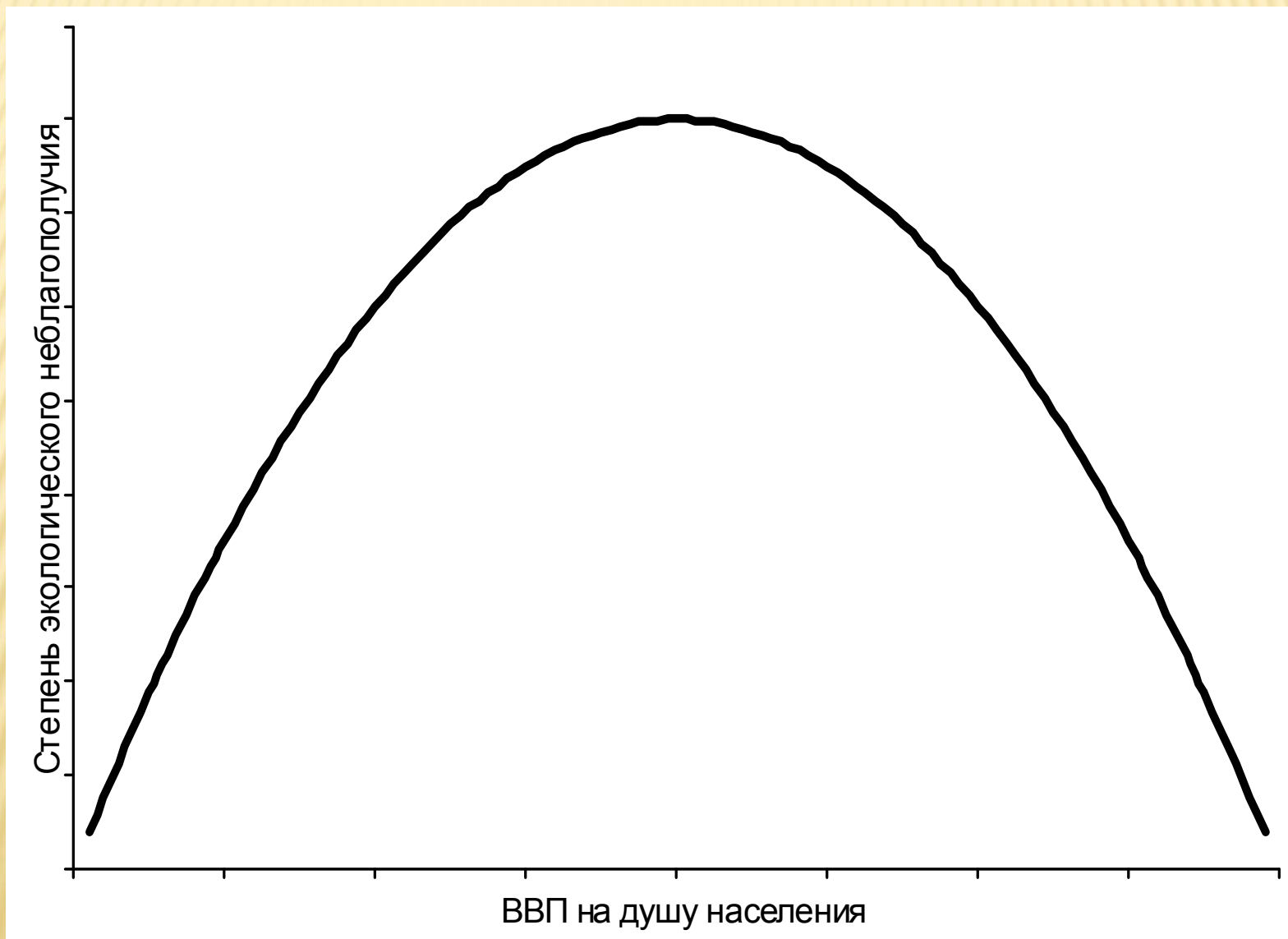
# Индекс живой планеты в умеренной и тропической зонах



Умеренная зона:  
6569 популяций  
1606 видов  
-32%

Тропическая зона  
3811 популяций  
1638 видов  
-56%

# Экологическая кривая Кузнецца (ЭКК)



# Саймон Кузнец (1901-1985)

---



Нобелевский лауреат (1971)

Ввел понятие ВВП (1934)

Использовал кривую для описания динамики социального неравенства (1955)

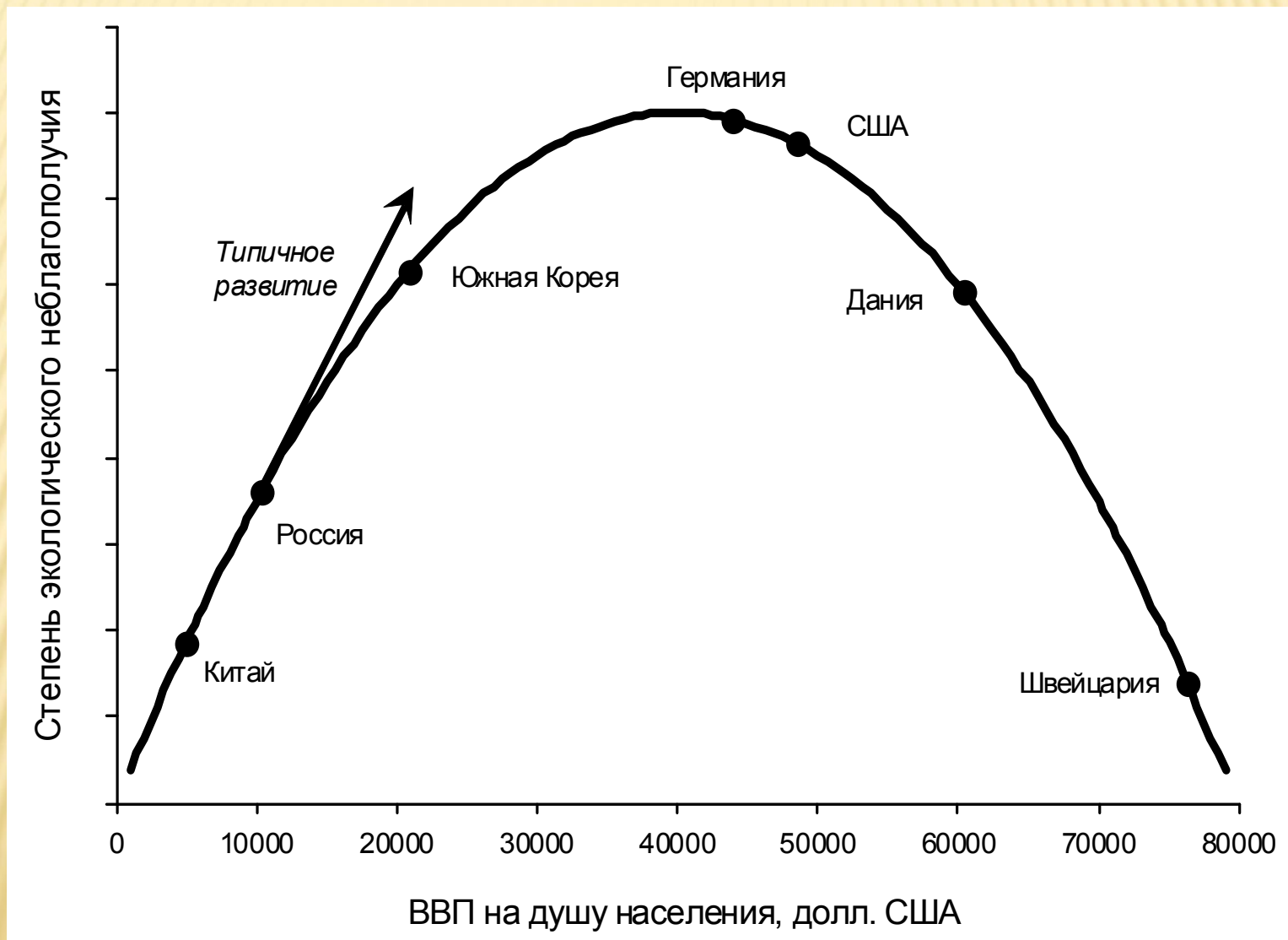
ЭКК впервые применена к описанию экологических процессов (загрязнение  $SO_2$ ) Г. Гроссманом и А. Крюгером (1991)

# Динамика эмиссий $SO_2$ в США.

Величины выражены в отношении к уровню 1900 г.



# Современное положение некоторых стран на ЭКК



# Устойчивое развитие (определение с веб-сайта ООН)

---

Устойчивое развитие определяется как развитие, отвечающее потребностям нынешнего поколения без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять их собственные потребности.

Для достижения устойчивого развития крайне важно согласовать три основных элемента – экономический рост, социальную интеграцию и охрану окружающей среды.



**Развитие – это в любом случае изменение.**

**А изменение не может быть устойчивым!  
Устойчивым может быть лишь существование  
при балансе входящих-исходящих потоков и  
постоянстве структуры системы.**

**Пример устойчивой  
системы –  
климаксная  
экосистема  
коренного  
тропического леса**



# Для обеспечения устойчивого существования на Земле человечеству необходимо:

---

- ✘ обеспечить баланс использования и возобновления природных ресурсов, в том числе стабильность биогеохимических циклов;
- ✘ изменить антропоцентричность сознания, признать право природных объектов (биологических видов, экосистем) на существование и сохранение;
- ✘ вероятно, придется стабилизировать численность населения.

# Мессидж курса

---

- ✘ Экологические проблемы, как правило, возникают не в экстренном порядке, а создаются рутинной деятельностью индивидов.
- ✘ Осознанный выбор «экологичности» образа жизни каждым индивидом – это важное условие достижения устойчивости существования человечества в биосфере.
- ✘ Любые индивидуальные действия, связанные с ограничением использования ресурсов, крайне важны на этом пути.