

# Тема 20. Геохимия биосферы

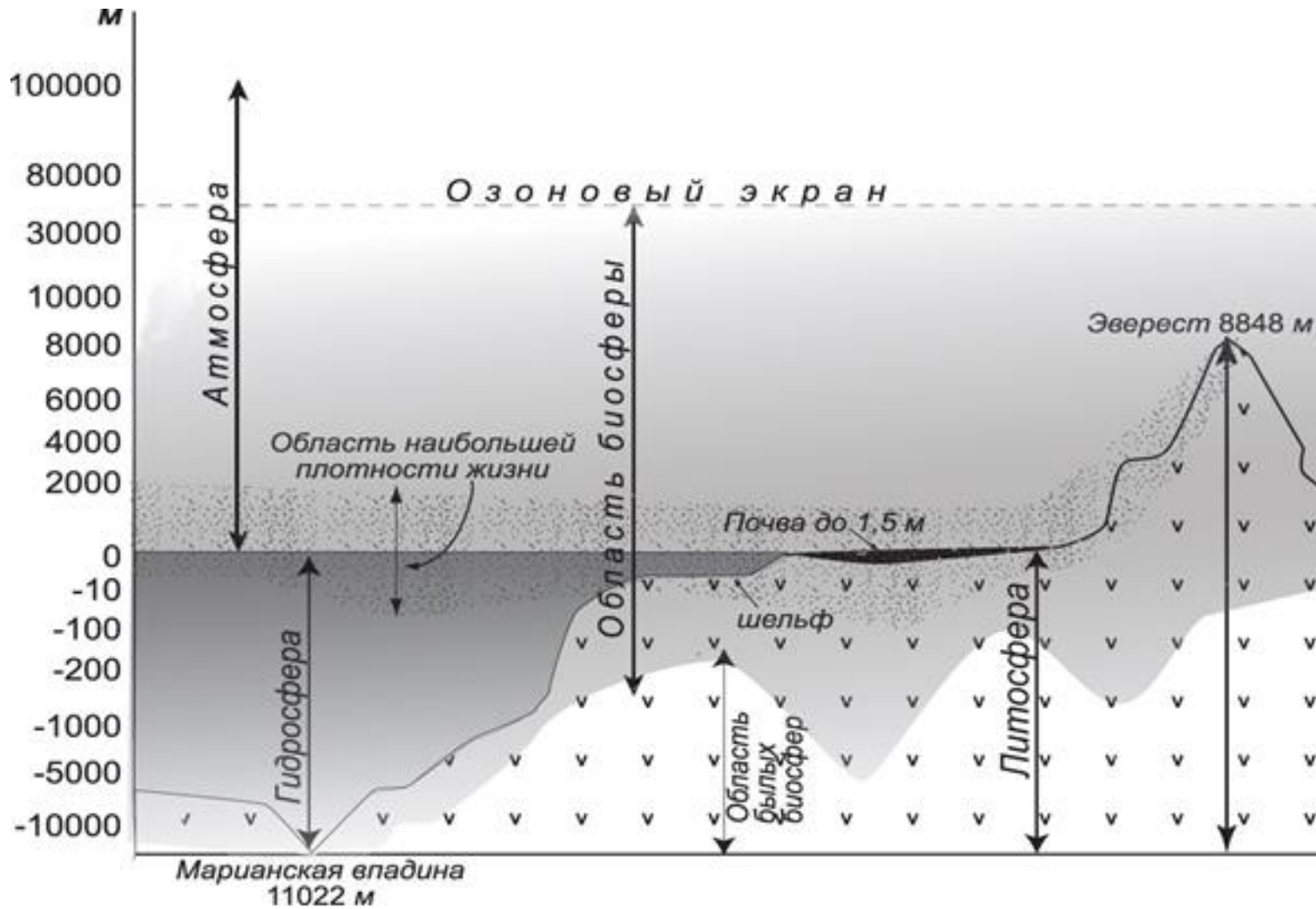
# Определение понятия биосфера.

Термин «биосфера» впервые использовал Э.Зюсс в работе «История Альп» (1875). Биосфера при этом понималась, как «живой покров Земли» (современный эквивалент – «живое вещество»).

Современное понимание термина введено В.И.Вернадским в книге «Биосфера» (1925).

**Биосфера – это область, занятая жизнью  
и находящаяся под ее влиянием.**

# Границы биосферы



Положение области биосферы во внешних оболочках Земли (По Г.Б.Наумову, 2010)

# Строение биосферы

В составе биосферы В.И.Вернадский выделил четыре принципиальных компонента;

- живое вещество;
- органическое [биогенное] вещество;
- биокосное вещество [неорганическое и смешанное вещество, образовавшееся биологическим путем];
- косное вещество [не несущее следов биологической деятельности].

# Относительные массы компонентов биосферы

Компонент	Масса	Во сколько раз больше живого вещества
Живое вещество	$2.4 \times 10^{18}$ г	$\equiv 1$
Органическое	$2 \times 10^{22}$ г	8 300
Биокосное (~осадочная оболочка)	$3 \times 10^{24}$ г	1 250 000
Косное вещество	$3 \times 10^{25}$ г	12 500 000
Для сравнения:		
Атмосфера	$5 \times 10^{18}$ г	2
Гидросфера	$1.6 \times 10^{24}$ г	670 000

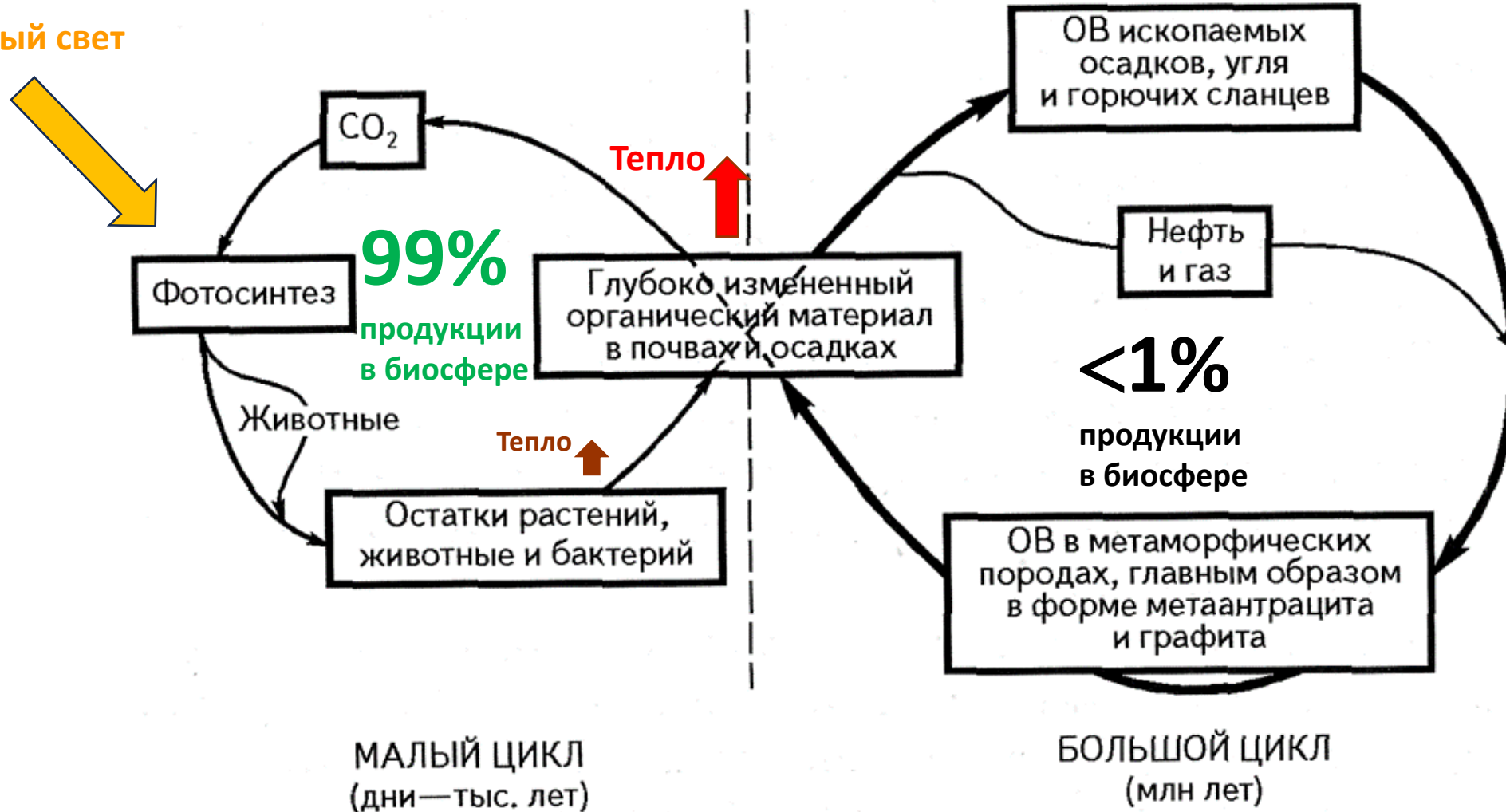
# Круговорот компонентов биосферы

Вещество	Процесс	Характерное время пребывания $\tau$ , лет
Живое вещество	Образование / деструкция	16
Органическое вещество	Захоронение / разрушение	4 млн.
O <sub>2</sub> атмосферы	Фотосинтез	4500
CO <sub>2</sub> атмосферы	Фотосинтез	4
H <sub>2</sub> O океана	Испарение	36 тыс.
H <sub>2</sub> O океана	Фотосинтез	3,5 млн.
Макро-ионы океана	Речной сток	1 – 100 млн.

Если бы не непрерывная деструкция органического вещества в биогеохимическом цикле, весь углерод осадочной оболочки был бы превращен в живое вещество за ~0,5 млн. лет.

# Биогеохимический цикл углерода

Солнечный свет



# Распределение масс живого вещества на поверхности Земли

	Масса, $10^{15}$ г $C_{\text{орг}}$	Продукция, $10^{15}$ г $C_{\text{орг}}$ /год	Время пребывания, лет
Суша	560	35	16
Океан	7	70	0,1

Проблема океана как  
пищевого ресурса  
человечества.



# Состав живого вещества

[Проблема формы выражения]

На живой вес - C, H, O

На сухой вес - C, H, O, N, P – биогенные элементы

На вес золы - + Ca, K, Si, Mg, S, Fe, Na, Mn, Cl, ...

Redfield ratio – соотношение C : N : P = 106 : 6 : 1, установленное американским океанографом А.К.Редфилдом для планктона, приблизительно выполняется для широкого круга биологических субстратов, включая мягкие ткани человека.

# «Жизненно необходимые» (эссенциальные) элементы

Это элементы, для которых установлены биохимические функции, или в эксперименте получен положительный отклик.

C, H, O, N, P, S, K, Ca

Fe, Co, Zn, Cu, Mo, Mn, I, B, V, Ni, Se, ...

# Геохимические функции живого вещества

**Энергетическая функция** описывает производимую живым веществом трансформацию энергии, поступающей из внешних источников, в химически связанные формы, и расходование этой запасенной энергии в жизненном цикле.

**Газовые функции** описывают участие живого вещества в круговороте газообразных соединений биосферы.

**Концентрационная функция** описывает биологическое накопление химических элементов в живом, органическом и биокосном веществе.

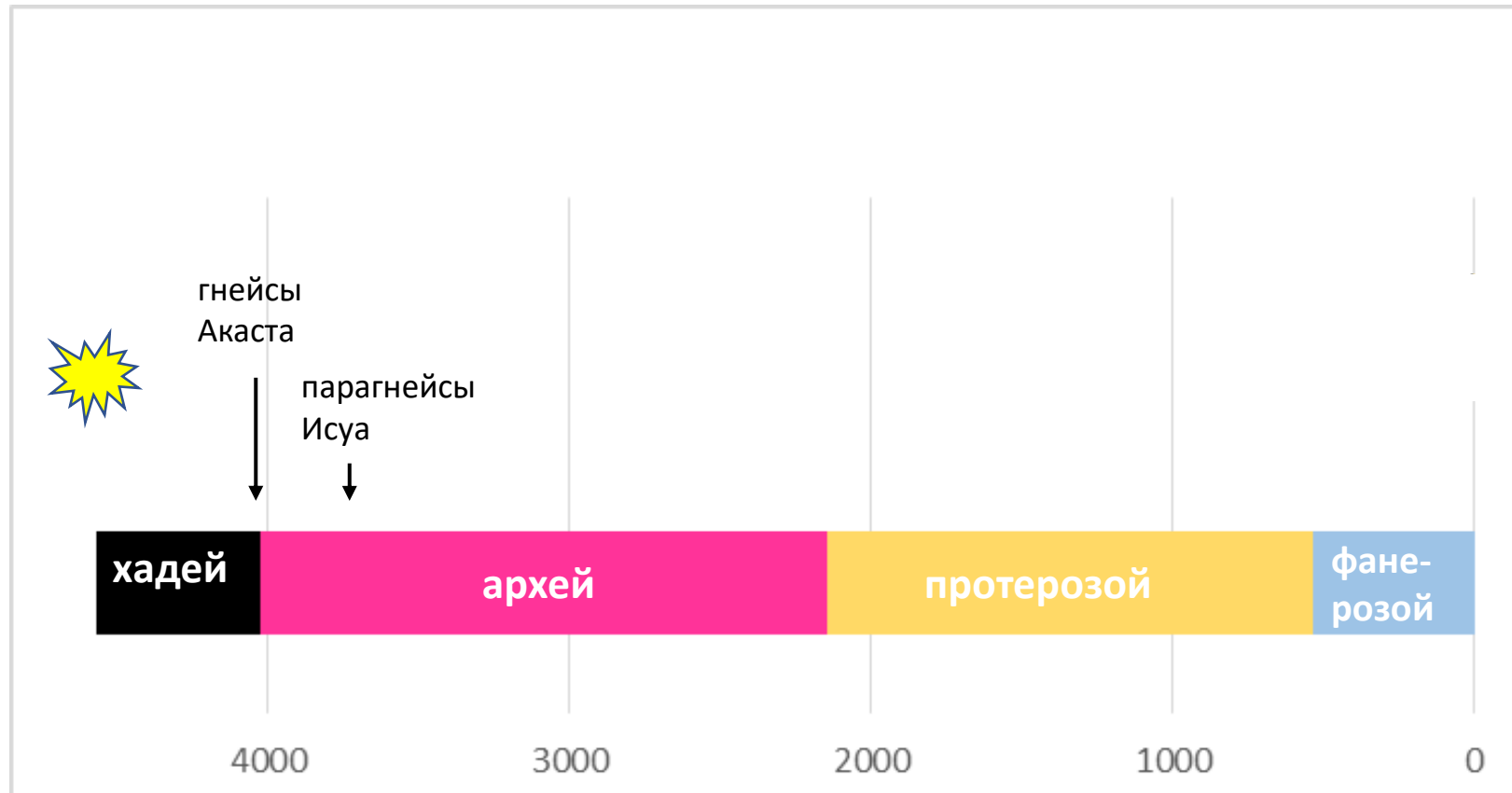
**Конструкционная функция** описывает создание новых, вне жизни не существующих форм соединений – биогенного вещества.

**Поляризационная функция** описывает создание в биосфере ее основной геохимической структуры – расщепление на аэробную и анаэробную обстановки.

**Транспортная функция** описывает создание биогенных веществ, определяющих специфические формы миграции химических элементов в биосфере.

**Возраст жизни**

# Хронология геологической истории Земли



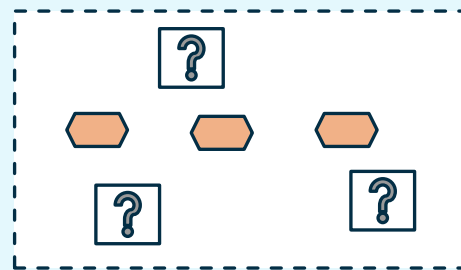
# Время появления биосферы

Метаморфические комплексы Гренландии (3.76 млрд. лет) содержат в составе метаосадочные породы рассеянное органическое вещество с облегченным изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C} < -20 \text{‰}$ ) – доказательство протекания биологических процессов, аналогичных современной биосфере.

Хадейские «детритные» цирконы - обнаружены зерна цирконов с возрастом 4.1 млрд. лет, в которых присутствуют включения графита с изотопно-легким углеродом. Это признак того, что в состав протолита материнских (для циркона) пород входили осадки, содержавшие органическое вещество биогенного происхождения.

Таким образом, зарождение биосферы уходит в начальный период истории Земли (от которого не сохранилось геологической информации).

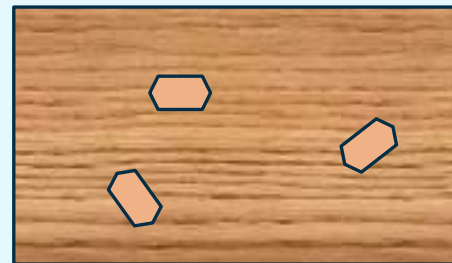
# ПРОИСХОЖДЕНИЕ «ДЕТРИТНЫХ» ЦИРКОНОВ



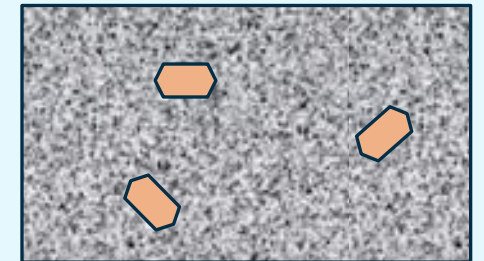
▶ протолит



выветривание



осадочная порода

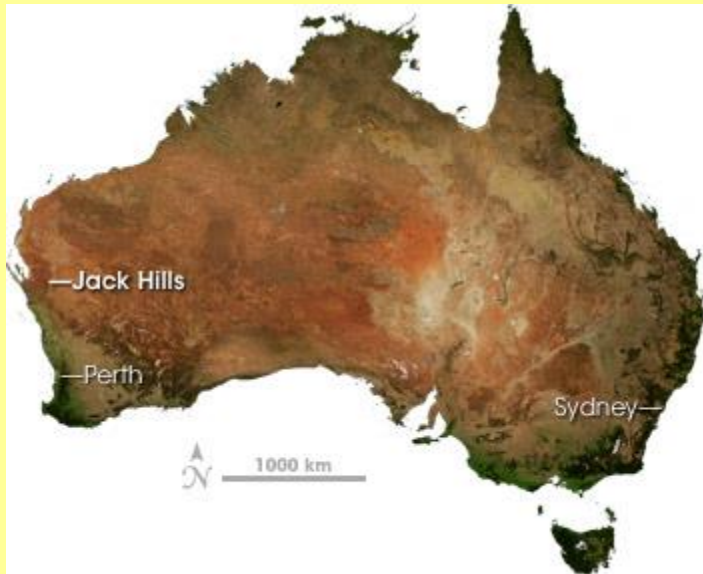
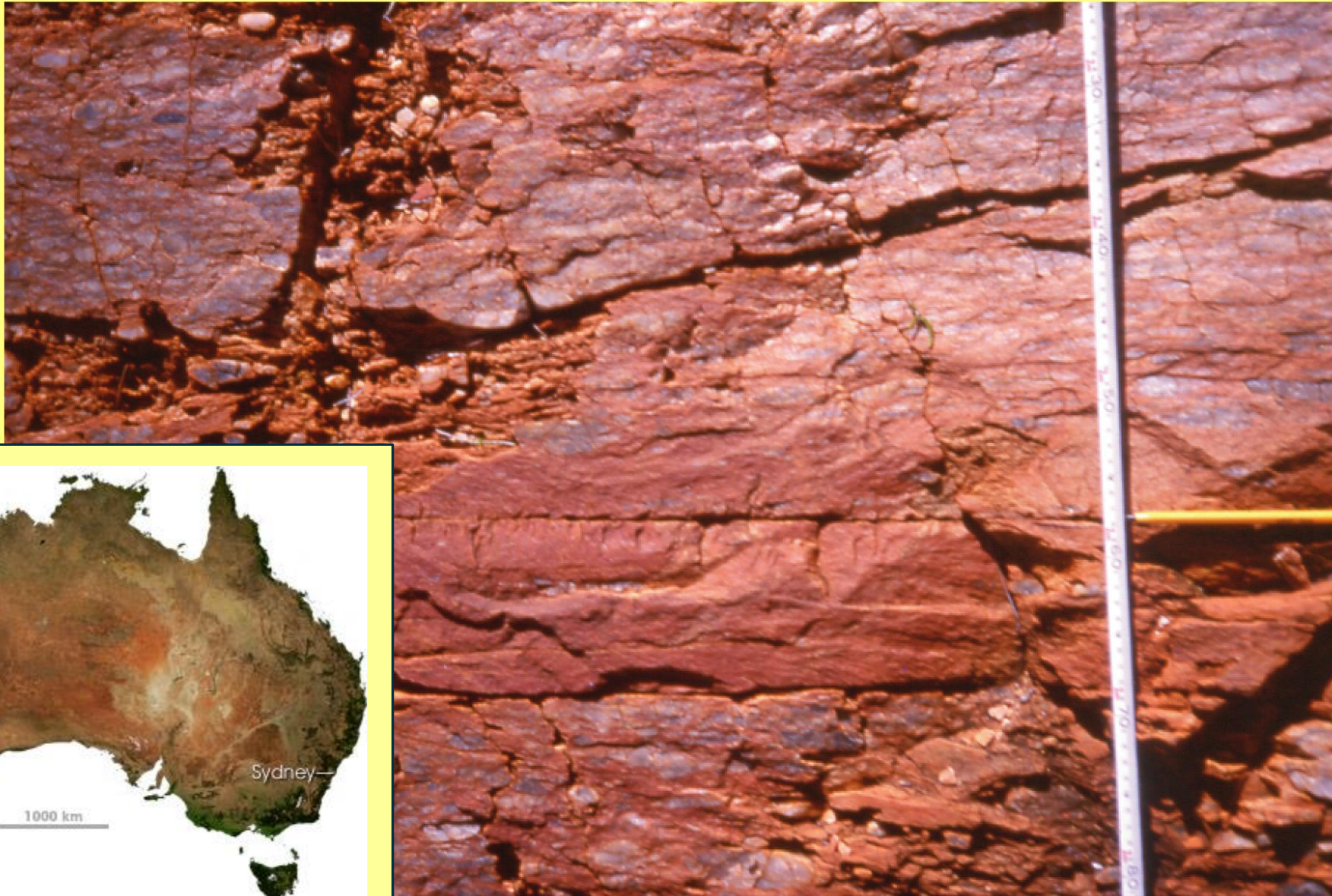


парагнейс

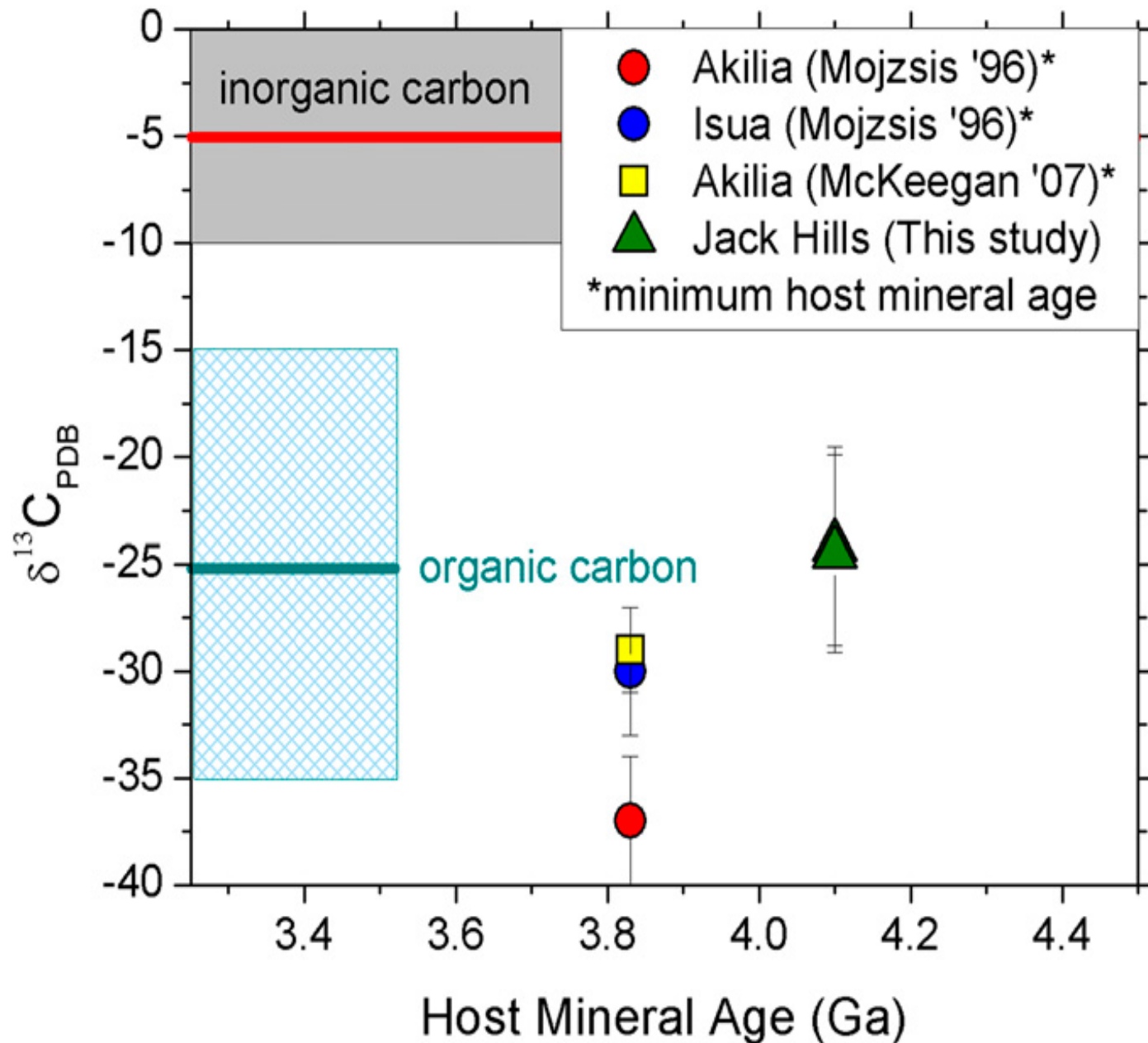
мета-  
морфизм

## Siliclastic sediments at Jack Hills, Western Australia

Fining-upward sequences consist of basal conglomerates that transition upward into medium-grained sandstones. Each sequence is ~1 meter thick, and well exposed







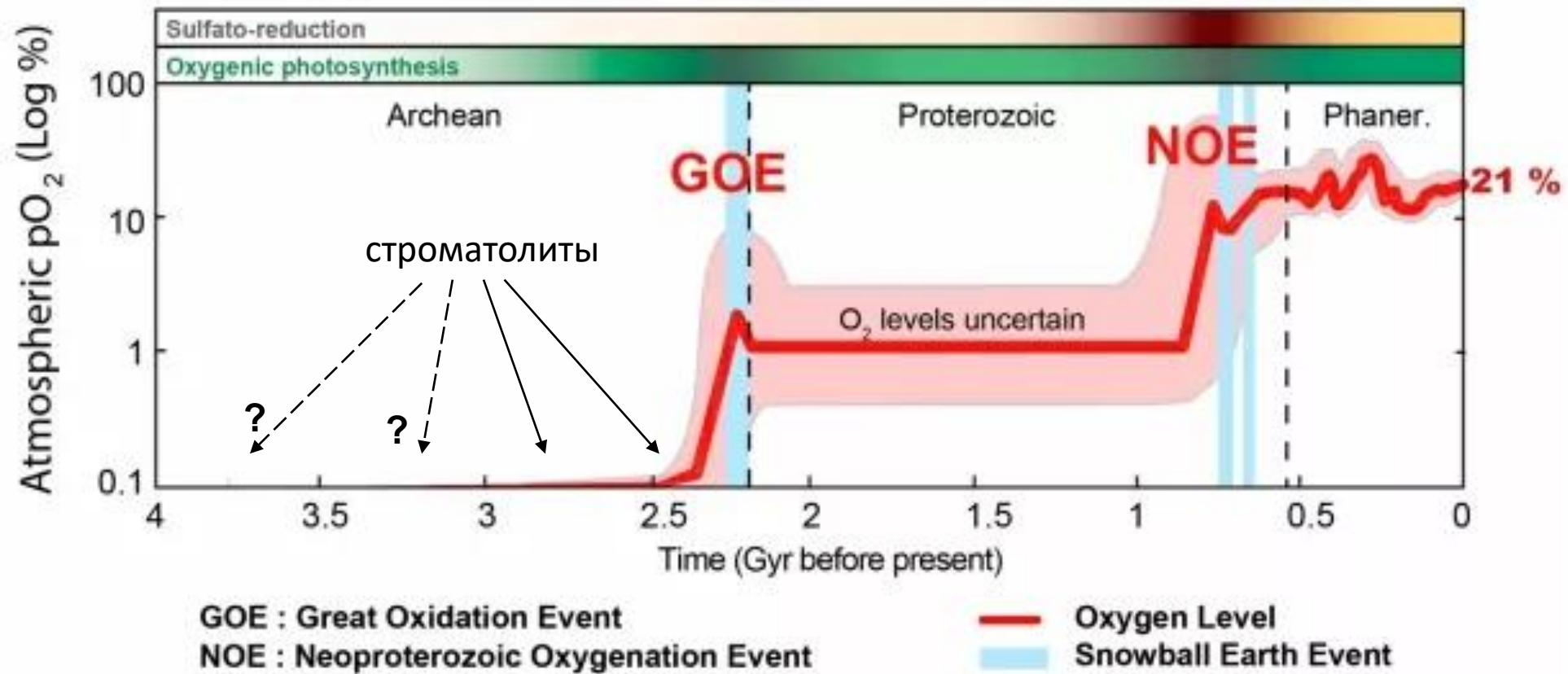
Изотопный состав графита из первичных включений в хадейских «детритных» цирконах Jack Hills (Зап. Австралия). По (Bell et al., 2015).

Изотопное фракционирование углерода с облегчением на 20-30 ‰ – характерный результат биогеохимического цикла Кальвина – процесса ассимиляции  $\text{CO}_2$  и образования органических соединений при фотосинтезе (и хемосинтезе). Этот процесс сейчас отвечает приметно за 90% первичной продукции биосферы.

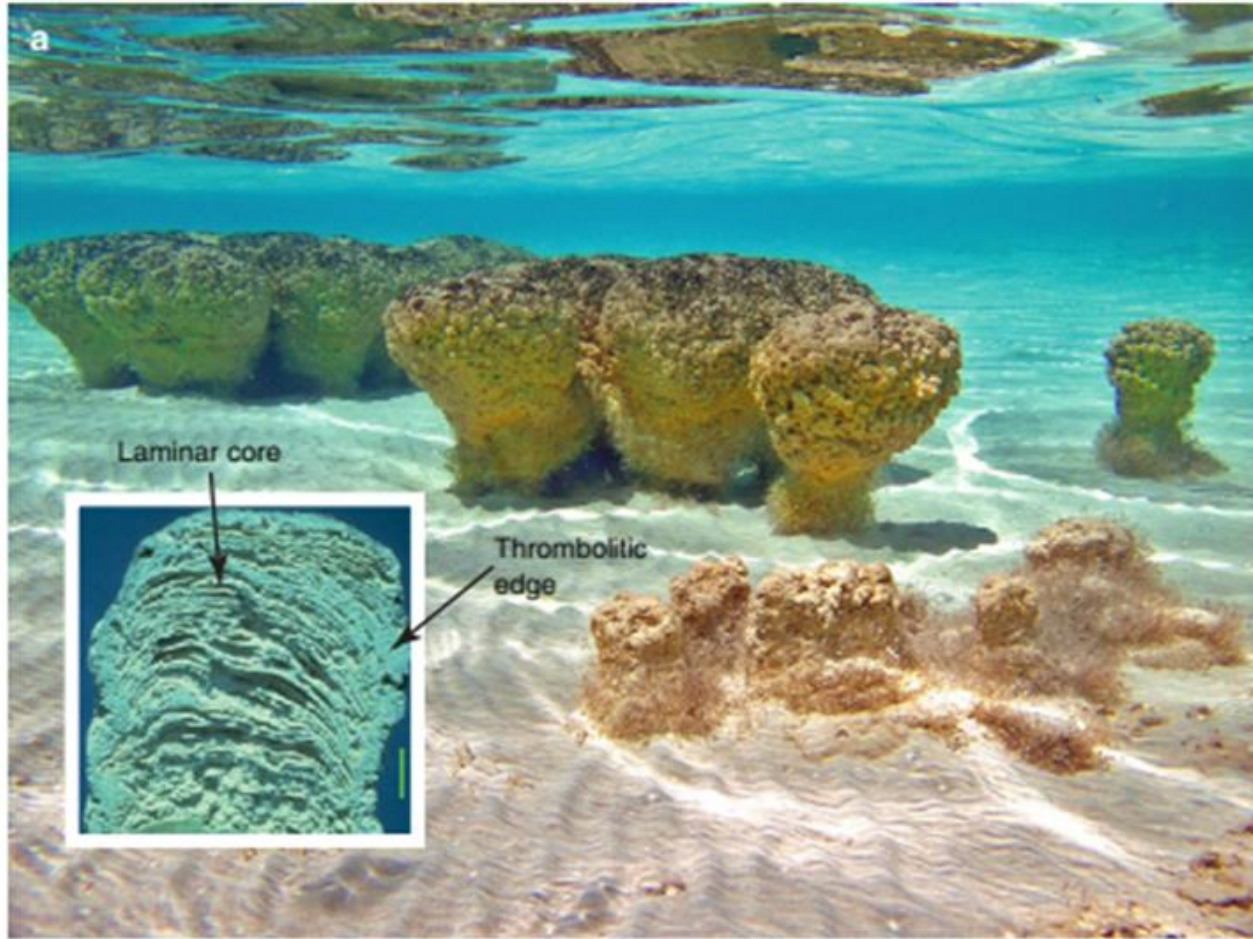
Деятельность живого вещества как фактор эволюции поверхностных оболочек Земли.

Главное событие – трансформация биосферы в кислородную систему

# Возникновение и эволюция кислородной атмосферы Земли. Great Oxygenation Event



# Строматолиты – признак появления фотосинтетических организмов.



Самые древние обнаруженные достоверные строматолиты имеют возраст около 2.8 млрд. лет.

Современные строматолиты заказника Hamelin Pool (Австралия). На врезке видна специфическая микрослоистая текстура карбонатного вещества строматолита.

# Происхождение биосферы

Два возможных варианта:

1. Зарождение жизни на поверхности Земли.
2. Занос живых организмов на Землю из космоса (гипотеза «панспермии»).

## **Глобальная проблема естествознания – что такое жизнь? (Анализ состояния проблемы Э.М.Галимова, 2008)**

Функциональное определение - способность выполнять определенные действия – метаболизм, рост, воспроизводство, реагирование и адаптацию (Britannica).

- Система саморегулирующихся молекул, способная подвергаться дарвиновской селекции и эволюции (Д.Джойс)

- Это явление возрастающего и наследуемого упорядочения, присущее при определенных условиях химической истории соединений углерода. [предпочтение Э.М.Галимова]

## Проблемы доклеточных форм жизни:

- Что это такое?
- При каких условиях они могли существовать?
- Что являлось фактором эволюции?

# Концепция LUCA

LUCA – Last Universal Common Ancestor (Последний Всеобщий Предок)

От LUCA произошли бактерии и археи. Сравнивая их (в т.ч. - «консервативные фрагменты» РНК), можно узнать устройство LUCA. Возраст LUCA – более 4,1 млрд. лет (сдвиг  $\delta^{13}\text{C}$ ).

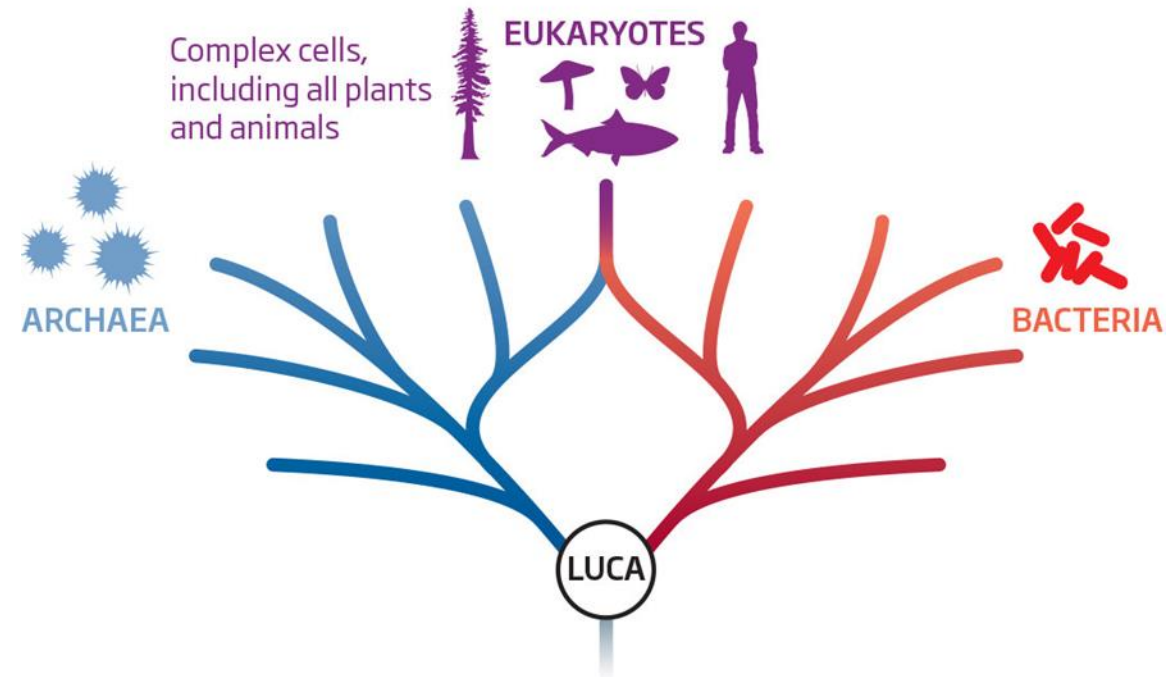
## Возможные свойства LUCA:

Это был строго анаэробный, хемолитоавтотрофный, термофильный организм. Он мог восстанавливать диоксид углерода с помощью водорода при посредстве ацетил-кофермента А.

Для синтеза АТФ он использовал градиенты водорода в окружающей среде.

У LUCA отсутствовали гены синтеза аминокислот, возможно, он получал их из внешней (химически активной) среды.

У LUCA, вероятно, были несовершенные клеточные стенки – мембраны, и он был «лишь наполовину живым», завися от абиотических процессов, протекавших снаружи.

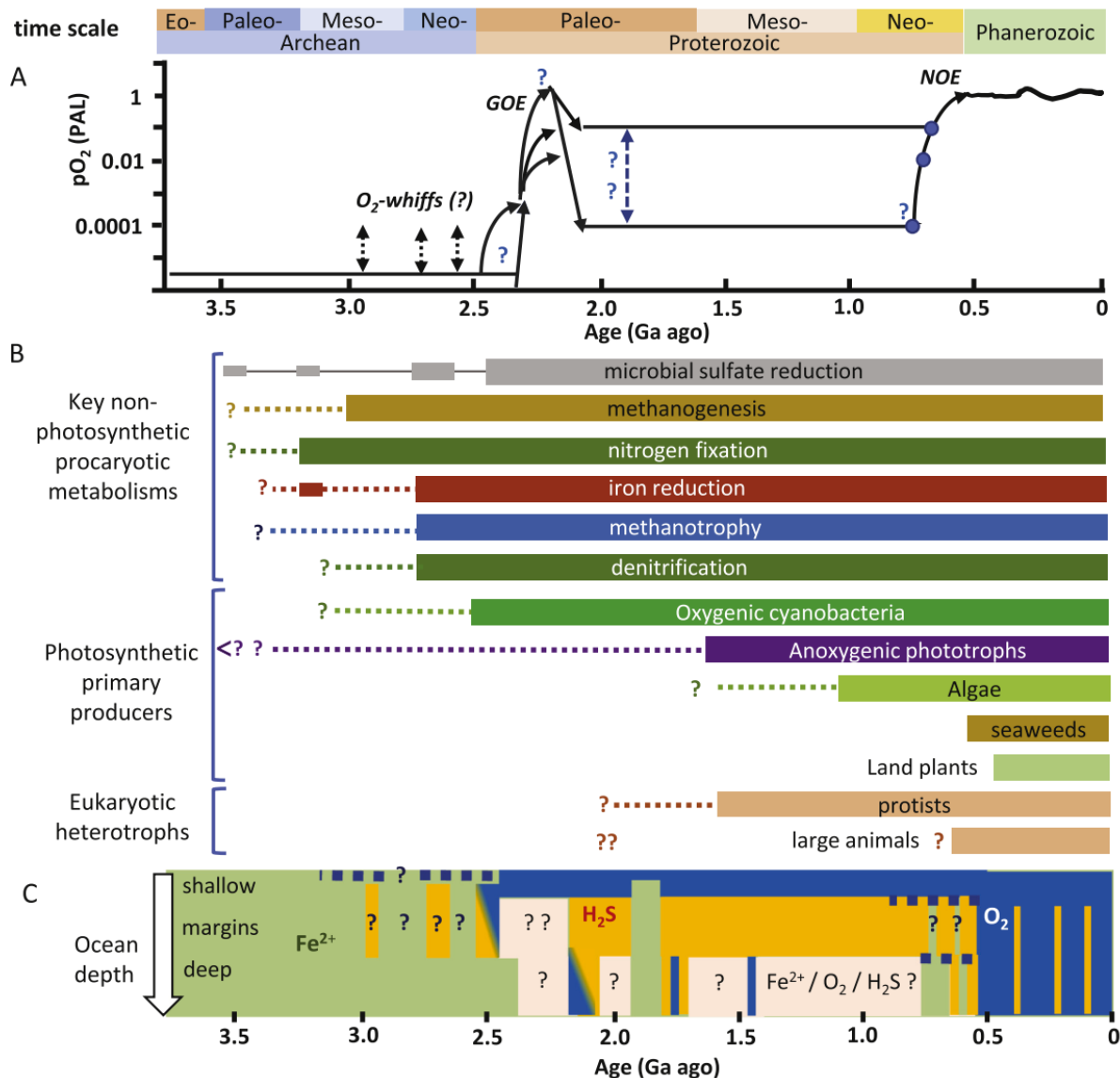


## Заблуждения:

- - Последний универсальный предок не является первым когда-либо существовавшим организмом, его появлению предшествовала долгая эволюция;
- Это не самый примитивный из возможных организмов;
- Это не единственное существо, жившее в то время на Земле;
- Аналогия условий обитания LUCA с «черными курильщиками» – неполная, поскольку в экосистеме современных «курильщиков» источником энергии являются реакции окисления восстановленных веществ растворенным фотосинтетическим кислородом.



# Проблема начальных шагов биологической эволюции



## Ко-эволюция жизни и окружающей среды (По Lerot, 2020).

(А) Изменение парциального давления атмосферного  $O_2$  относительно современного уровня. (Стрелками показаны неопределенности оценок GOE по уровням  $O_2$  и времени).

(В) Оценки времени появления ключевых метаболизмов (групп организмов): нефотосинтетических прокариотов; фотосинтетических первичных продуцентов; эукариотов-гетеротрофов.

(С) Реконструкция эволюции химического режима океана:

зеленый – железистый ( $Fe^{2+}$ ) бескислородный;  
 рыжий – бескислородный сульфидный («эвксинский») – результат бактериальной сульфат-редукции [источник сульфата – окисление сульфидной серы кислородом?];  
 синий – кислородная среда в океане;  
 [розовым цветом показаны интервалы неопределенности].

