

# Тема 20. Геохимия биосферы,

## Ч. 1. Строение и свойства биосферы

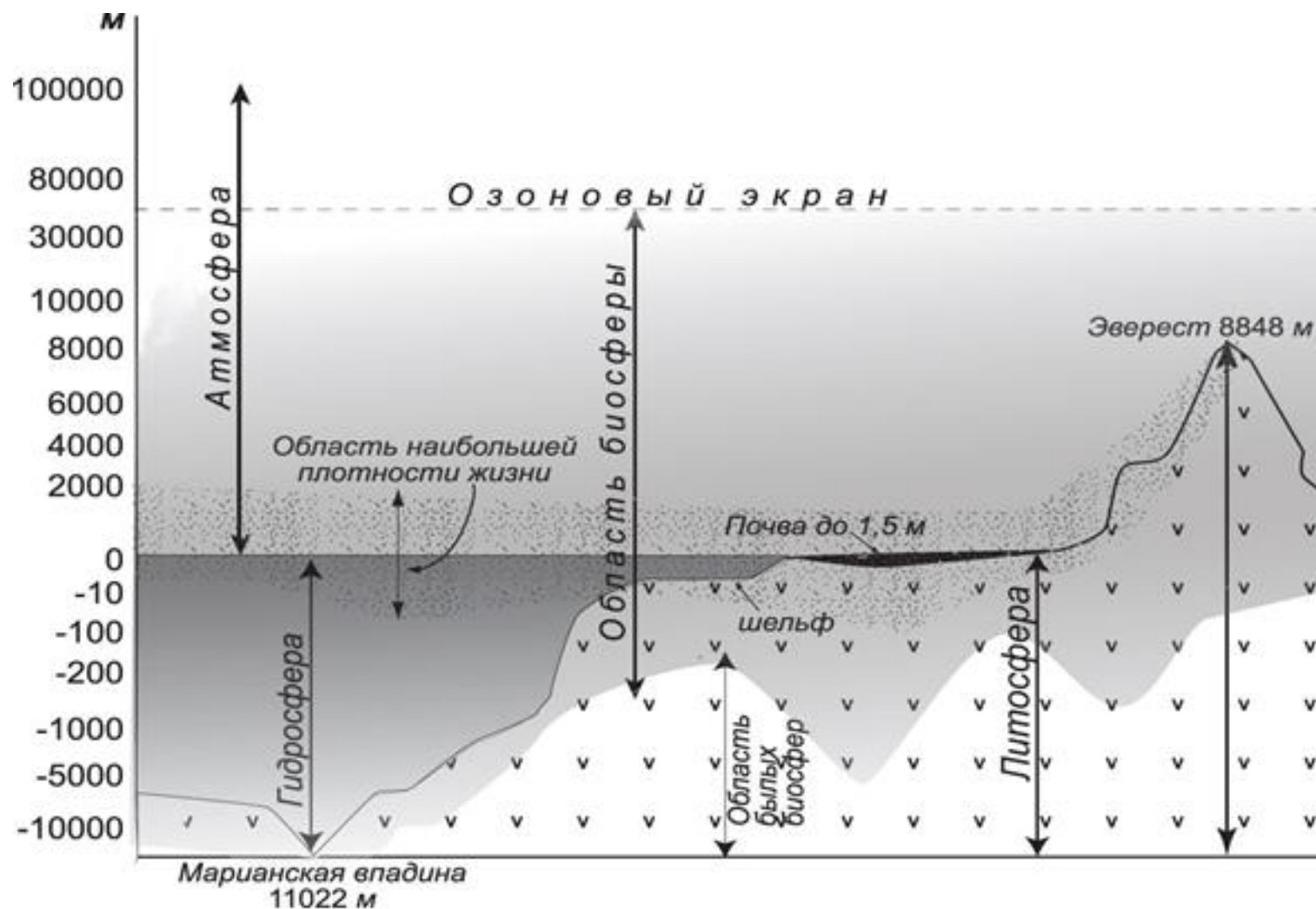
# Определение понятия биосфера.

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

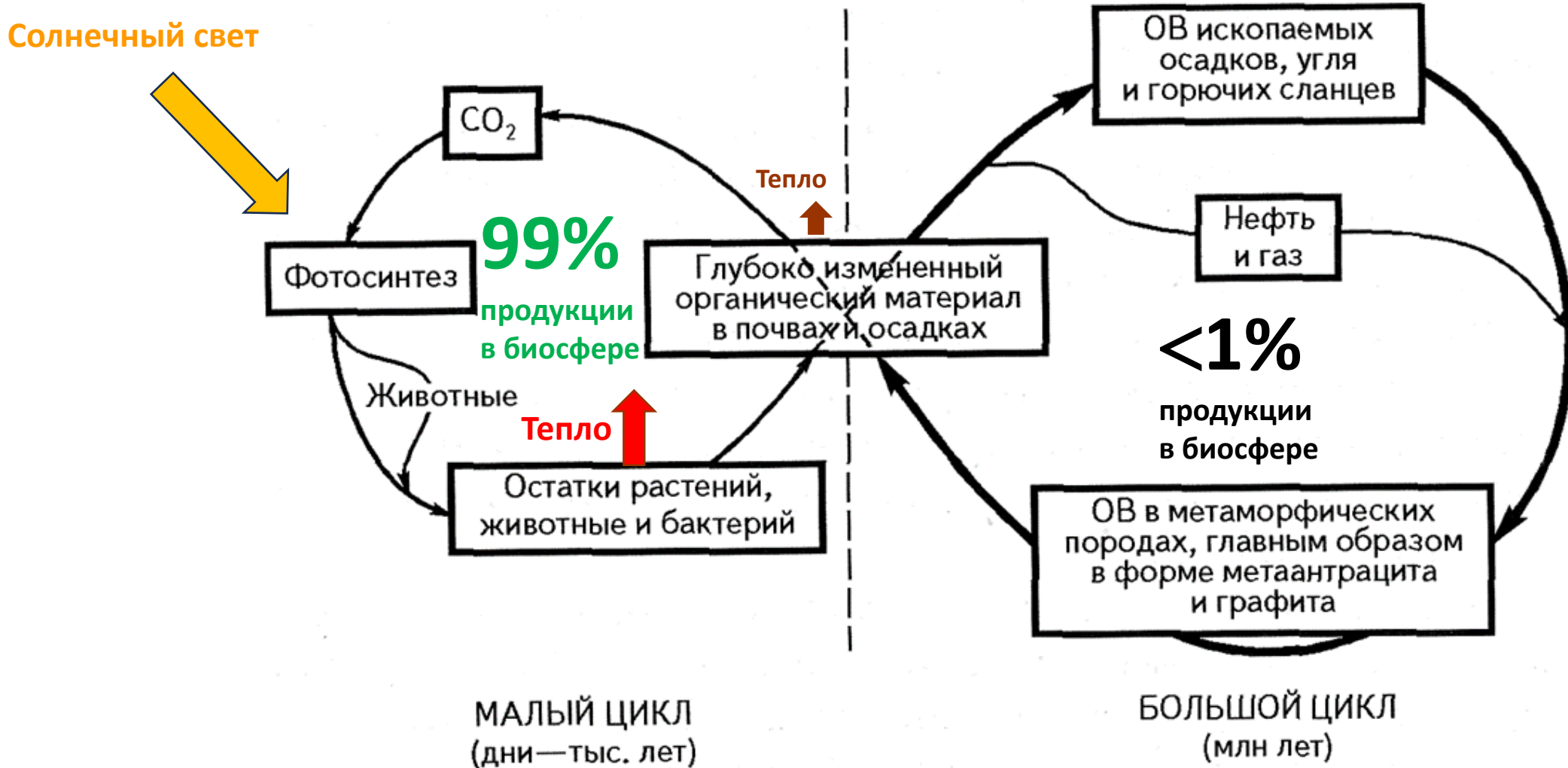
Компонент	Масса	Во сколько раз больше живого вещества
Живое вещество	$2.4 \times 10^{18}$ г	$\equiv 1$
Органическое	$2 \times 10^{22}$ г	8 300
Биокосное (~осадочная оболочка)	$3 \times 10^{24}$ г	1 250 000
Косное вещество	$3 \times 10^{25}$ г	12 500 000
Для сравнения:		
Атмосфера	$5 \times 10^{18}$ г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



# 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:  
длинная трофическая цепь vs пищевые пристрастия людей!



# Биомассы основных групп живых организмов ( $10^{15}$ г $C_{орг}$ ; по Bar-On et al., 2018, с дополнениями)

	Всего	Расте- ния	Живот- ные	Грибы	Прос- тейшие	Бактерии	Вирусы
Всего	550	450	2	12	4	<i>77</i> 23-31* 30**	0.2
На суше	470	450	0.58	12	1.6	7.5	
В океане	6 5-10***	—	2	0,3	2	1,6	
В литосфере	70	—	—	—	—	<i>70</i> 14-22* 4****	—

Курсивом показаны величины, современная оценка которых страдает большой неопределенностью.

\* – Magnabosco et al., 2018.

\*\*\* – Groombridge, Jenkins, 2000.

\*\* – Bar-On et al., 2019.

\*\*\*\* – Kallmeyer et al., 2012 (осадочный слой океана)

# Экологическая (трофическая) пирамида



**Экологическая (трофическая) пирамида** — это графическое изображение соотношения между продуцентами и консументами разных уровней (травоядными, хищниками; видами, питающимися другими хищниками) в экосистеме. Идея графического отображения трофических соотношений в экосистемах предложена в 1927 г. Ч.Элтоном.

В зависимости от выбранного параметра измерения экосистемы различают три типа пирамид:

- пирамида чисел (Ч.Элтон) суммарные численности организмов разных уровней;
- пирамида биомассы (общий сухой вес, калорийность и др.);
- пирамида энергии = суммарной продукции организмов разных трофических уровней.

Правило экологической пирамиды (правило 10%; правило Линдемана) - при передаче от одного трофического уровня к следующему количество доступной энергии уменьшается примерно на порядок (основная доля теряется на обеспечение жизненных процессов).

Правило строго выполняется для пирамиды энергии/продуктивности. Для пирамид чисел и биомассы в некоторых системах получаются обращенные соотношения (например, по численности — насекомые на деревьях; по биомассе — фито- и зоопланктон в океане).

# 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, ...

Критерии отнесения элементов к «жизненно необходимым» субъективны, т.к. определяются уровнем нашего знания.

Со временем список таких элементов растёт.

# 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.

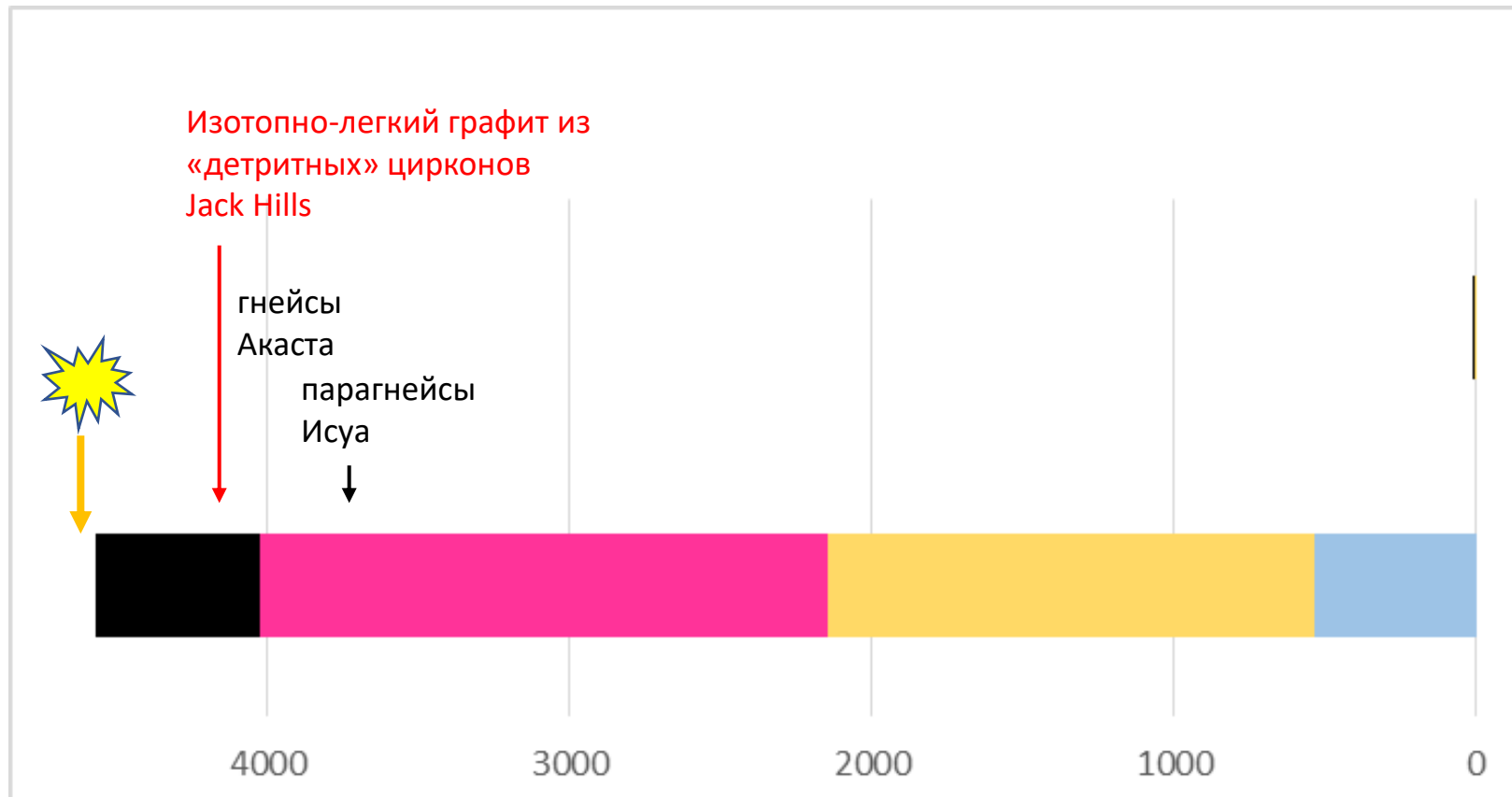
**Конструкционная функция** описывает создание новых, вне жизни не существующих форм соединений – биогенного вещества.

**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



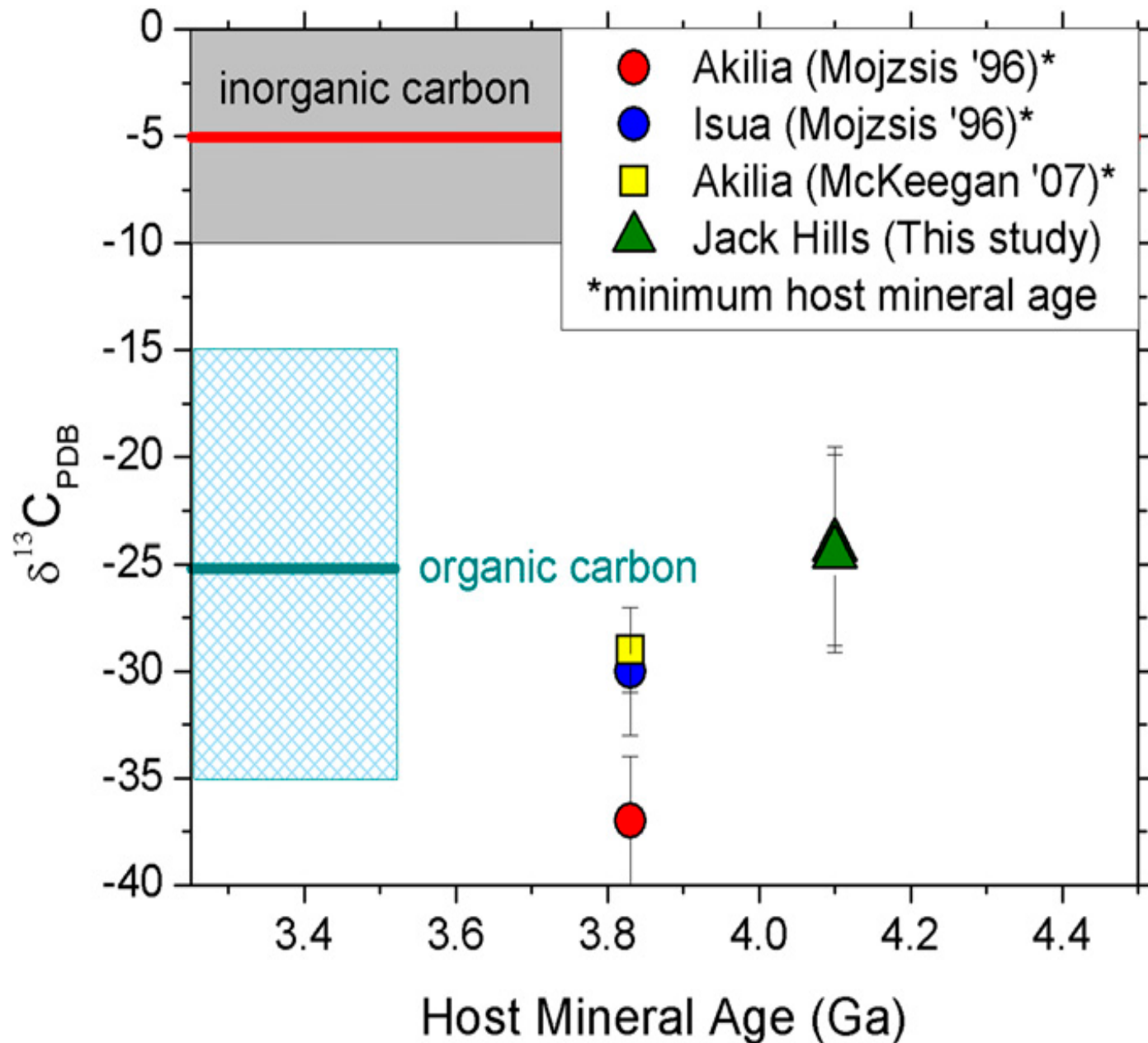
# Время появления биосферы

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).





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. Этот процесс сейчас отвечает приметно за 90% первичной продукции биосферы. В ранней биосфере Земли, по ряду оценок, преобладал другой метаболический механизм – путь Вуда-Льюнгаля, величина изотопного фракционирования C для которого до сих пор не определена.

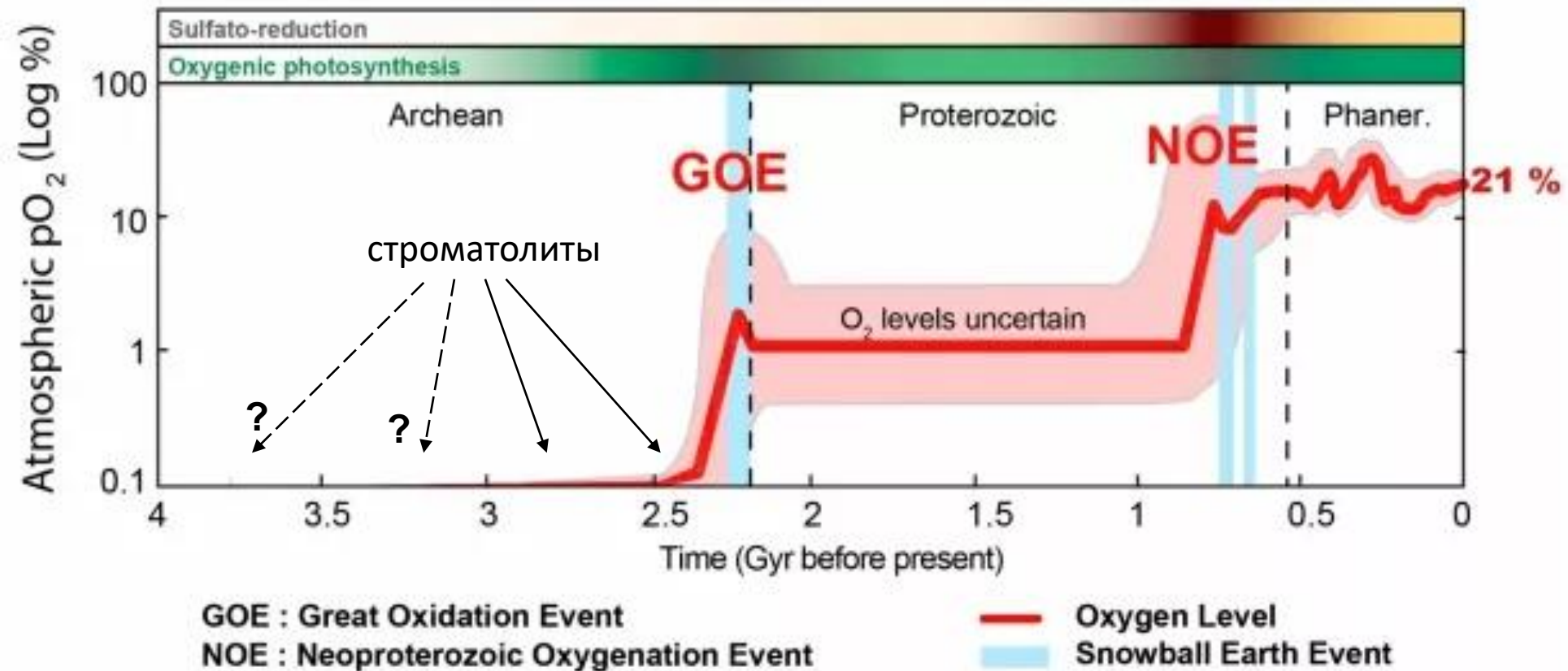
Деятельность живого вещества как фактор  
эволюции поверхностных оболочек Земли.

Главное событие – трансформация  
биосферы в кислородную систему

# Хемосинтез и фотосинтез

- Хемосинтез – по-видимому, самый ранний и наименее сложный в биохимическом отношении тип метаболизма в биосфере Земли. Он возник еще в хадее (по датировкам изотопии С в «детритных» цирконах). В энергетическом плане хемосинтез был не очень эффективен, поскольку опирался на поступление веществ из недр Земли, становящихся неравновесными в условиях поверхности (геотермальные обстановки обитания).
- Аноксигенный фотосинтез – основан на использовании при фотосинтезе в качестве донора электронов восстановленных субстратов из окружающей среды – сероводорода, серы, тиосульфата, Fe(II), арсенита, органических соединений или молекулярного водорода. Аноксигенный фотосинтез используется пурпурными и зелеными серобактериями, гелиобактериями и др. Биохимически аноксигенный фотосинтез проще кислородного, и, вероятно, является его эволюционным предшественником. По изотопии углерода фотосинтетическая ассимиляция углекислого газа фиксируется уже в метаосадочных комплексах Гренландии (3,76 млрд. лет)
- Кислородный фотосинтез – в качестве донора электронов используется вода, а продуктом реакции является свободный кислород. Кислородный фотосинтез в энергетическом отношении эффективнее аноксигенного (примерно в 3 раза). Цианобактерии, использующие кислородный фотосинтез, развили целый комплекс защитных механизмов от действия свободного кислорода и его активных форм в водных растворах. Наиболее древние признаки существования цианобактерий относятся к архею.

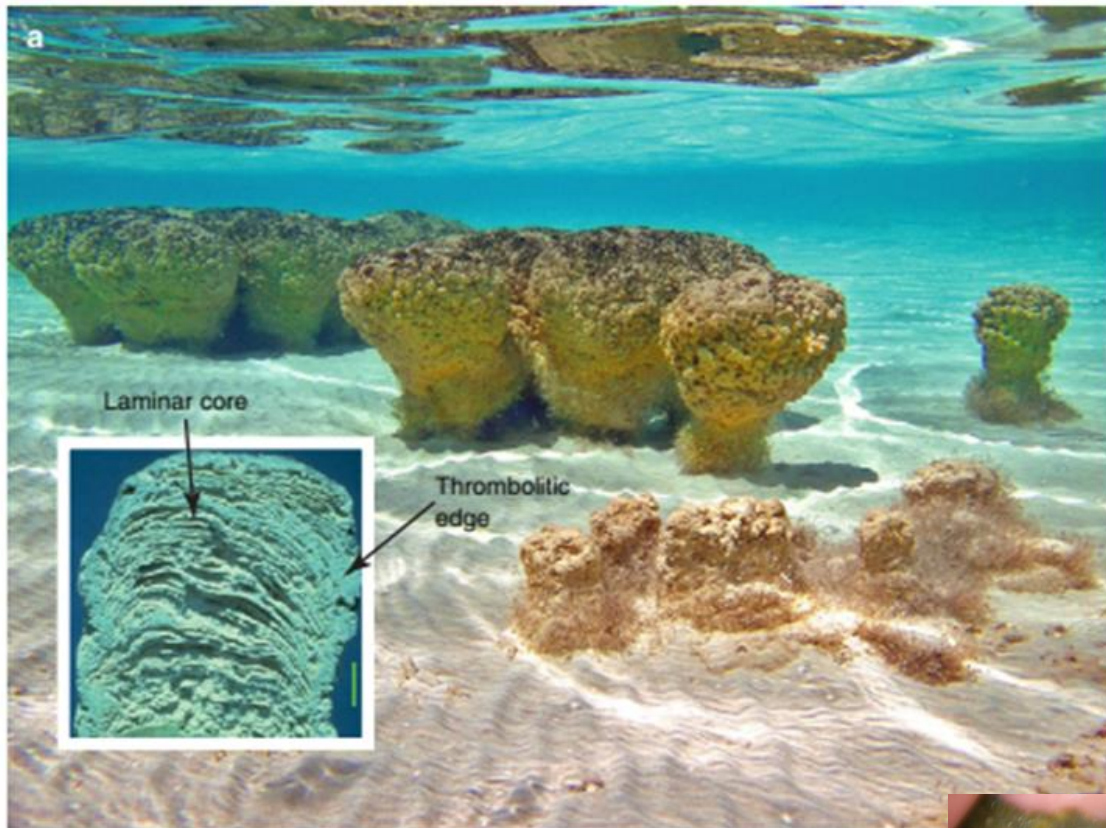
# Возникновение и эволюция кислородной атмосферы Земли. Great Oxygenation Event





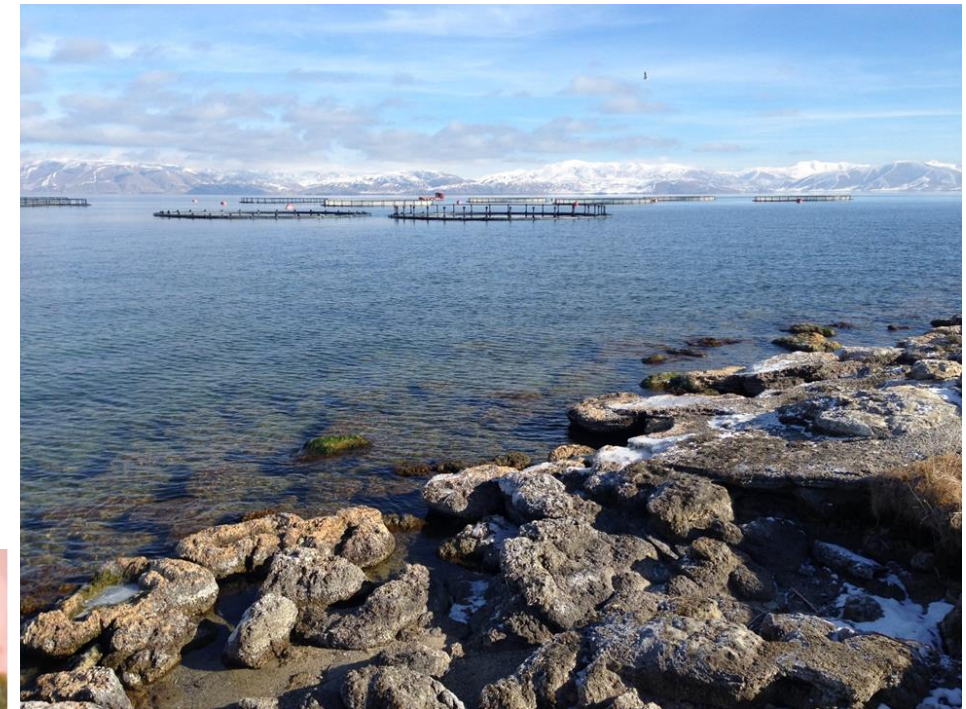
# Строматолиты – признак появления фотосинтетических организмов.

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.

Цианобактериальный мат. →



Современные строматолиты на обсохшем дне озера Севан.  
([sadoff.livejournal.com](http://sadoff.livejournal.com))

