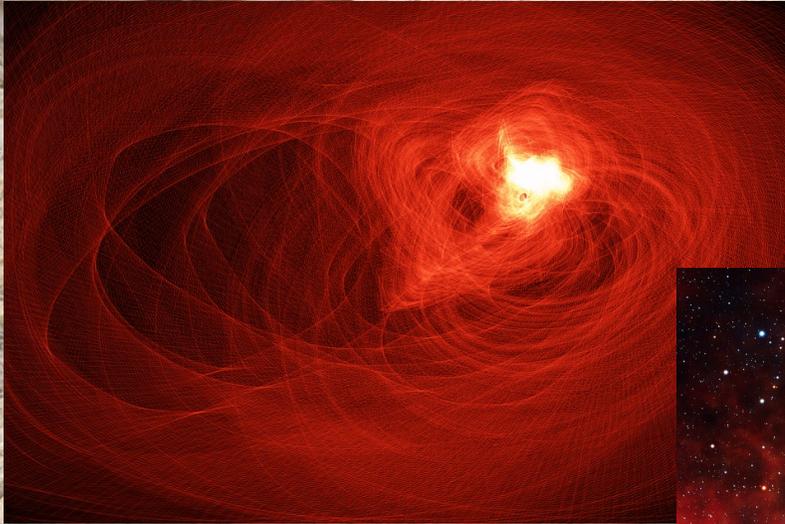


«Осознание того, что эволюция земных минералов зависит напрямую от биологической эволюции, слегка шокирует»

Роберт Хейзен

Появление урана в космосе

Шаг 1. 13,8 млрд лет. Большой взрыв



Шаг 2. 6,5 млрд лет.
Взрывы сверхновых.
Рождение урана



Шаг 3. 4,5 млрд лет. Уран в метеоритах.
Содержание в углеродистых хондритах —
0,0074 ppm
Содержание в ахондритах — 0,07 – 0,15 ppm



Шаг 4. Преобразование первородного космического вещества в земное. Очищение от железа – появление базальтовой протокоры – 4,1-3,7 млрд лет



Минералы космического вещества – метеоритное железо + его сплавы с никелем и железисто-магнезиальные силикаты: $R_2[SiO_4]$, где «R» это Mg, Fe^{2+} , Mn и Ca в разных пропорциях.

Базальт, это пироксены: $(Mg, Fe)_2Si_2O_6$ и плагиоклазы, где место железа уже прочно занимает алюминий: $NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8$.

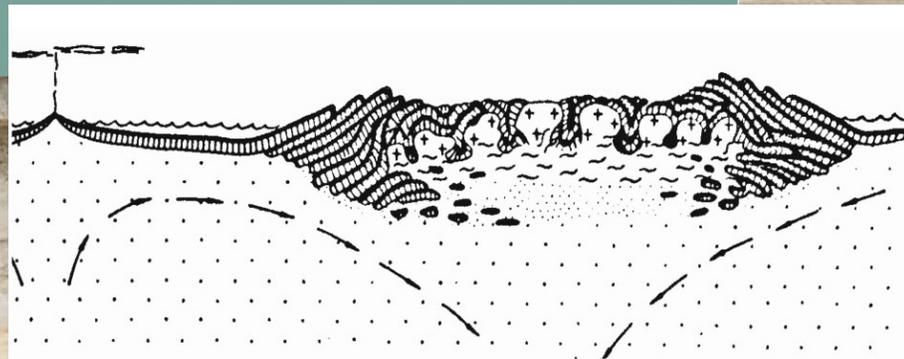
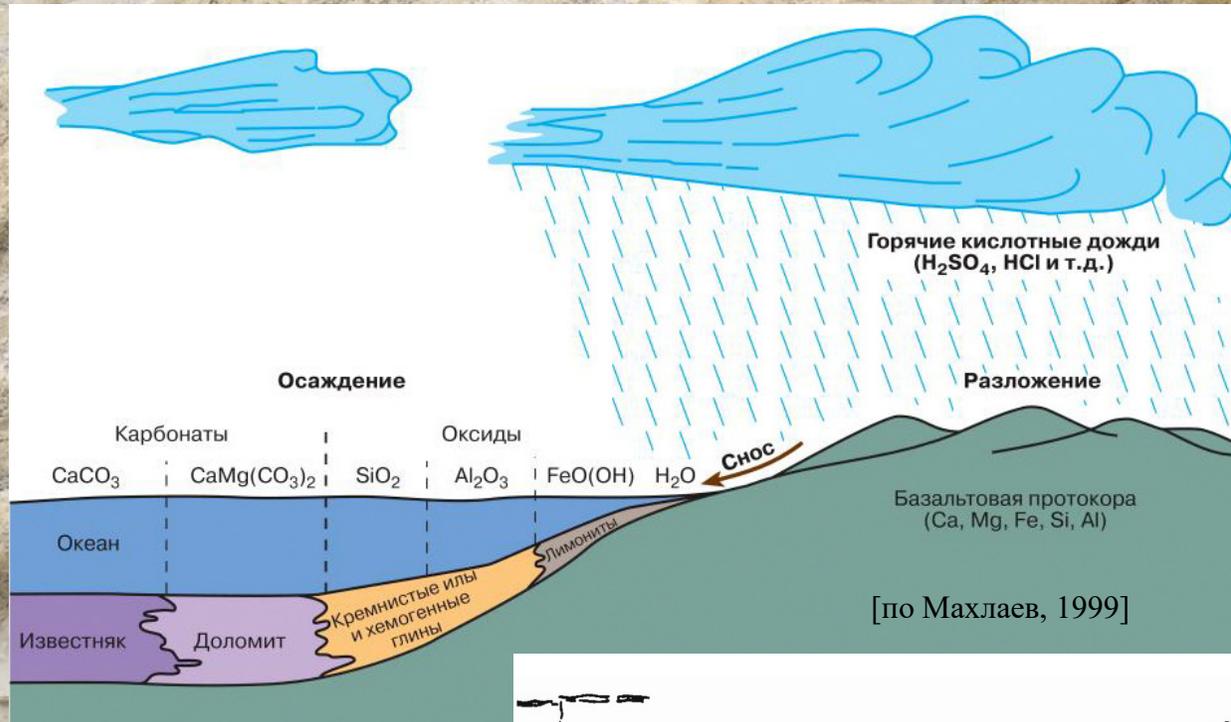
Базальт и живое вещество 4,1-3,2 млрд лет

Свежий базальт -
кормовая база для
хемолитотрофов



Кубометр базальтового стекла может прокормить до $2,5 \times 10^{16}$ анаэробных железобактерий (25 млн особей на мм^3). За неделю бактерии высвобождают из базальта 3% содержащегося в нем кремния, 11% алюминия, 59% магния, 64% железа. Бактерии «разбирают» базальты не на отдельные минералы, а на отдельные атомы и ионы.

Образование гранитов – 2,7 млрд лет

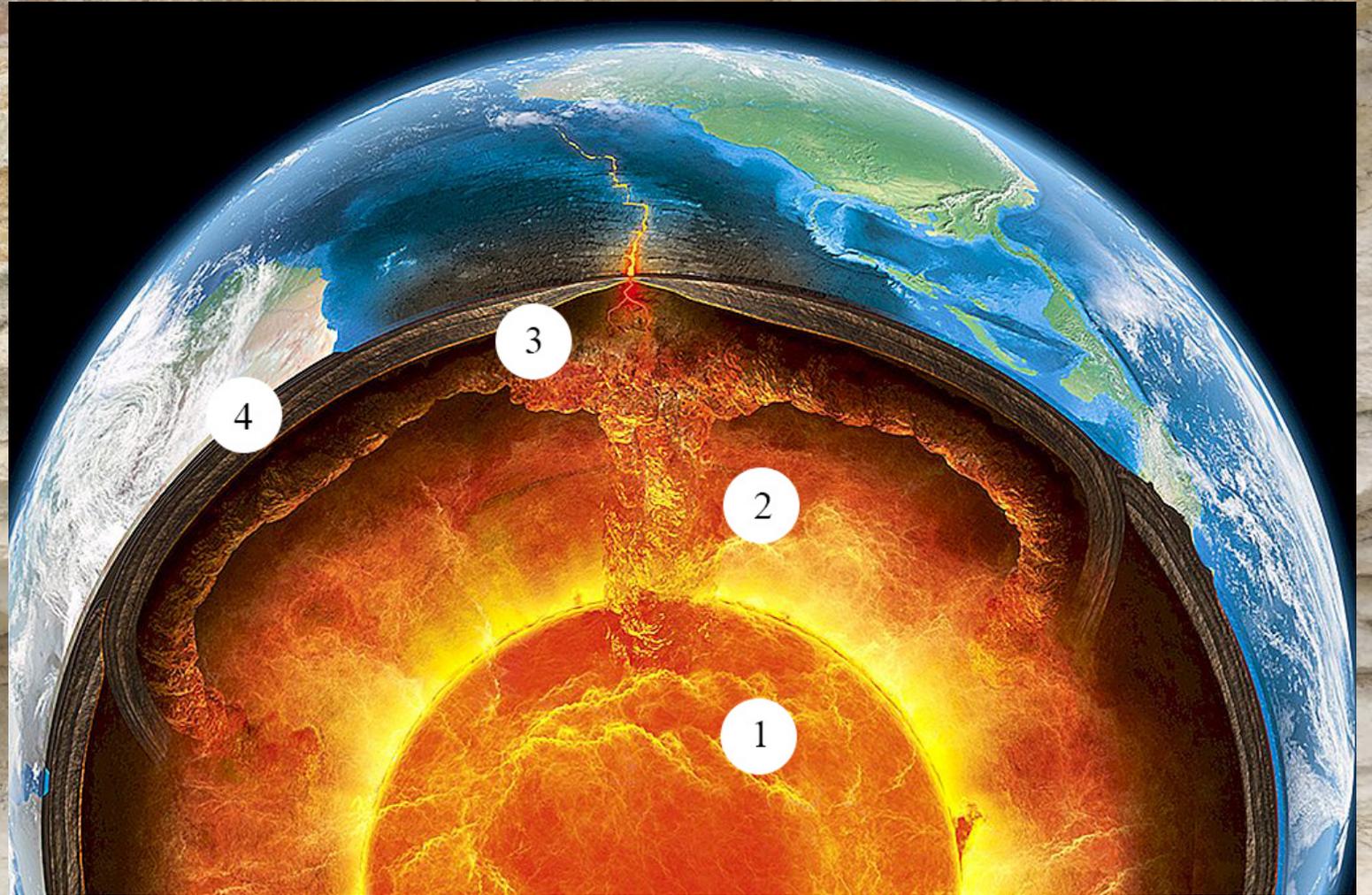


Бактерии препарируют пироксены и алюмосиликаты базальтов и создают новый тип пород – осадочные отложения: карбонаты, кремнистые осадки, глины.

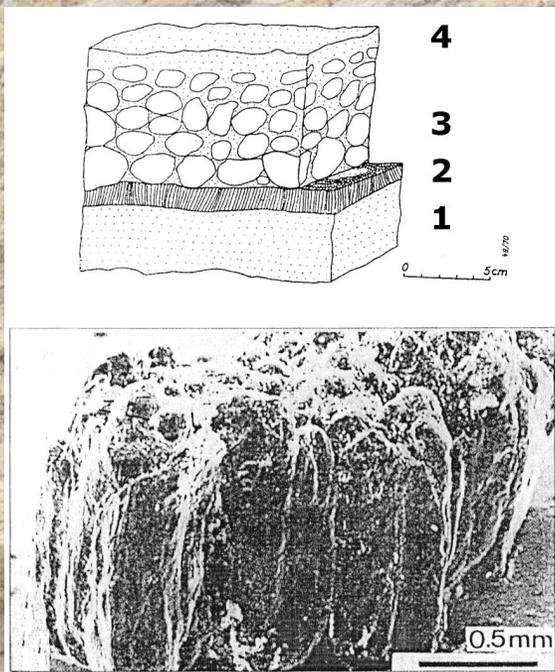
При столкновении базальтовых протоконтинентов происходит гранитизация их осадочных обрамлений, а не переплавление базальтов!

Расслоение Земли на сферы - 2,7-2,5 млрд лет

№	Слой Земли	Содержание U г/т
1	Ядро	< 0,007
2	Мантия	0,018
3	Базальтовый слой	0,1
4	Континентальная кора	3,0

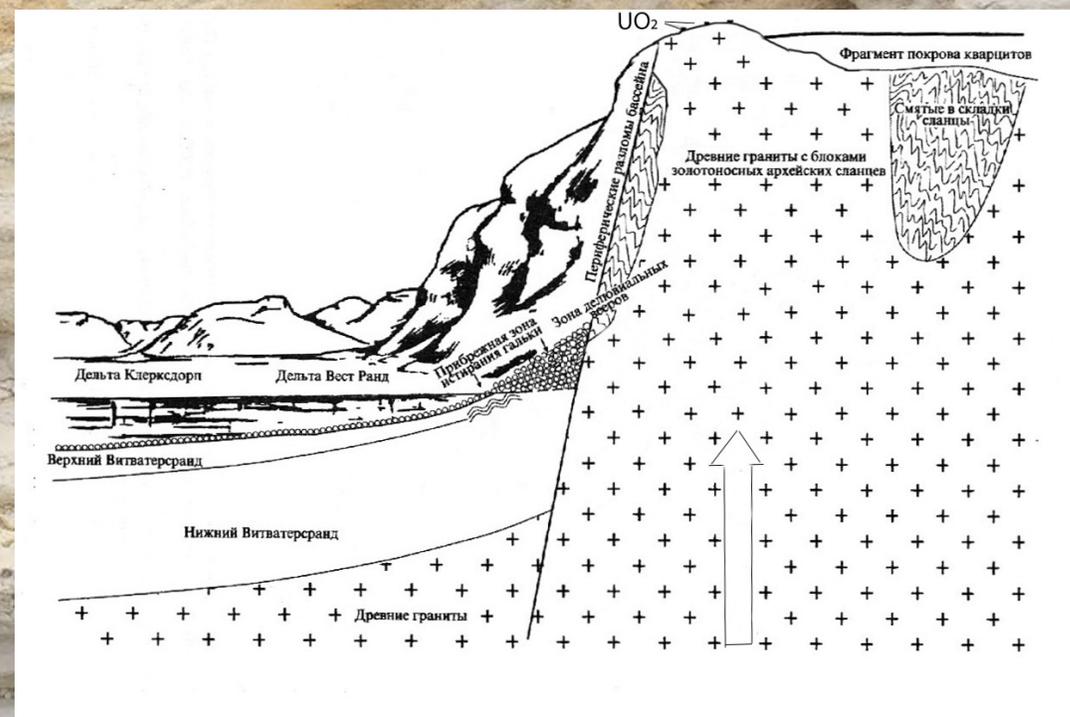


Витватерсранд – 2,9-2,7 млрд лет

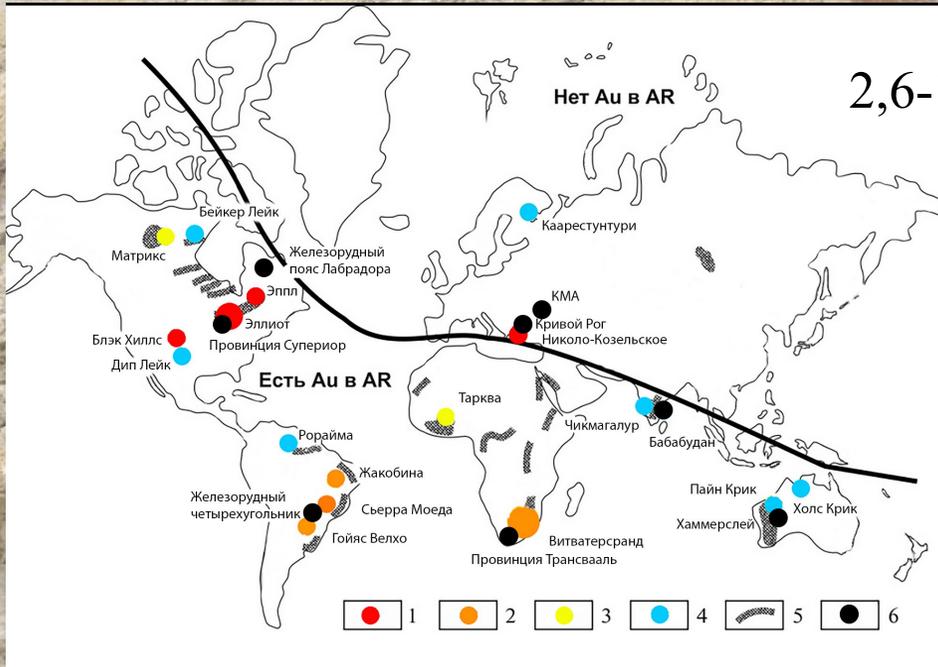


1975г. Д. Хальбауэр описал обрамленные золотыми микрочастицами мельчайшие углеродные столбики. Тухолит - окаменевшие остатки бактериальных сообществ, перерабатывавших золото и накапливающих уран. [Hallbauer, 1975]

Образование уранинита при разрушении гранитов и окислении свободного урана в ходе фотолиза воды



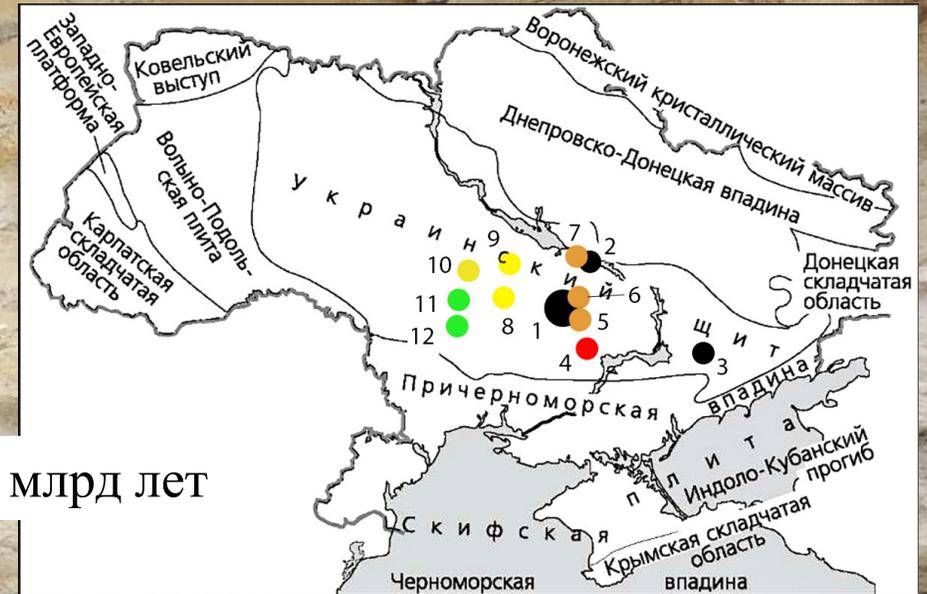
Кислородная атмосфера. «Железный век» 2,6-1,8 млрд лет 1,8 млрд лет – уран уходит «в подполье». Метасоматиты



2,6-1,8 млрд лет

Россыпные месторождения архейского золота
[С использованием Горячев Н.А., 2019]

Формирование месторождений железистых кварцитов вблизи месторождений в кварцево-галечных конгломератах с лагом в десятки - первые сотни миллионов лет

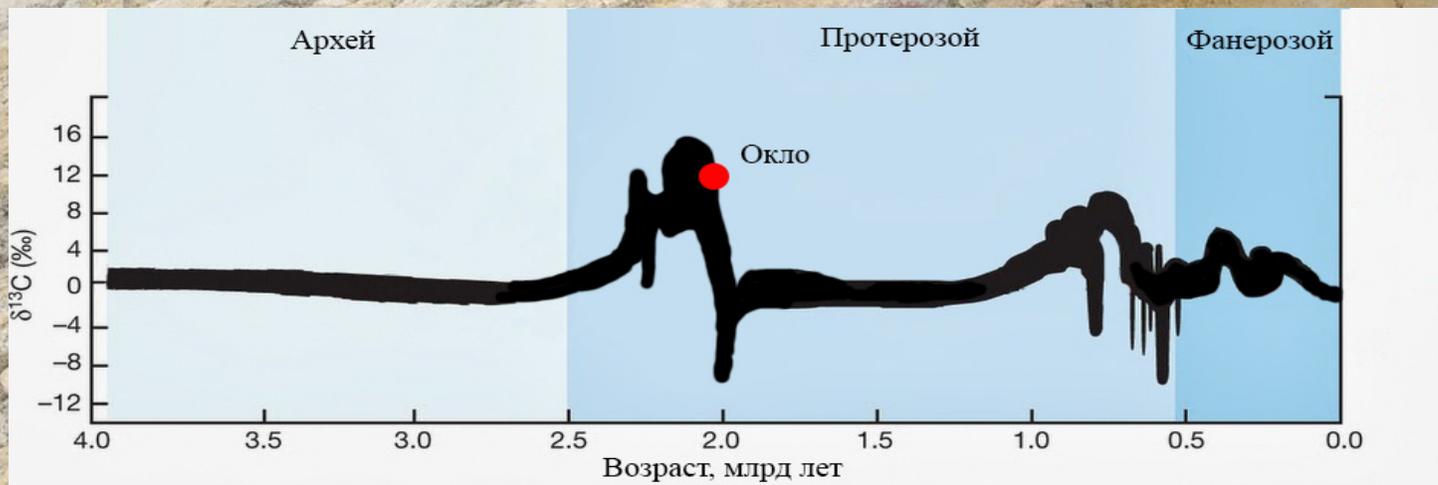


1,8 млрд лет

Размещение метасоматических месторождений на Украинском щите
(с использованием [Гурский и др., 2005]).

1 – 3 Месторождения железа. 4 – Николо-Козельское месторождение. 5 – 7 Месторождения железо-урановой формации. 8 – 10 Натрий-урановая формация. 11 – 12 Калий-урановая формация.

Окло – 2,1 млрд лет. 1,8 млрд лет – появление эукариот



Кривые накопления органического углерода (по изотопным кривым $\delta^{13}\text{C}$) [с использованием Lyons, et al., 2014]

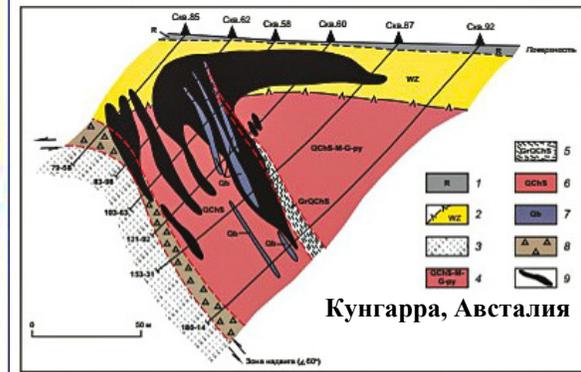
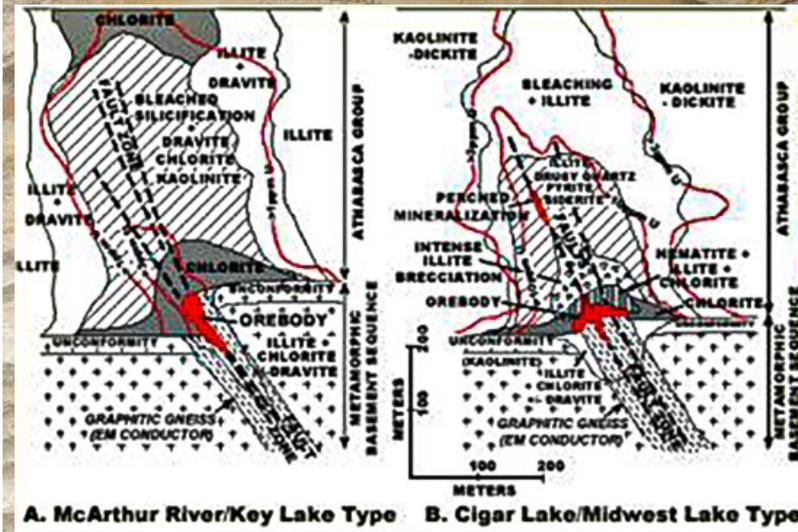
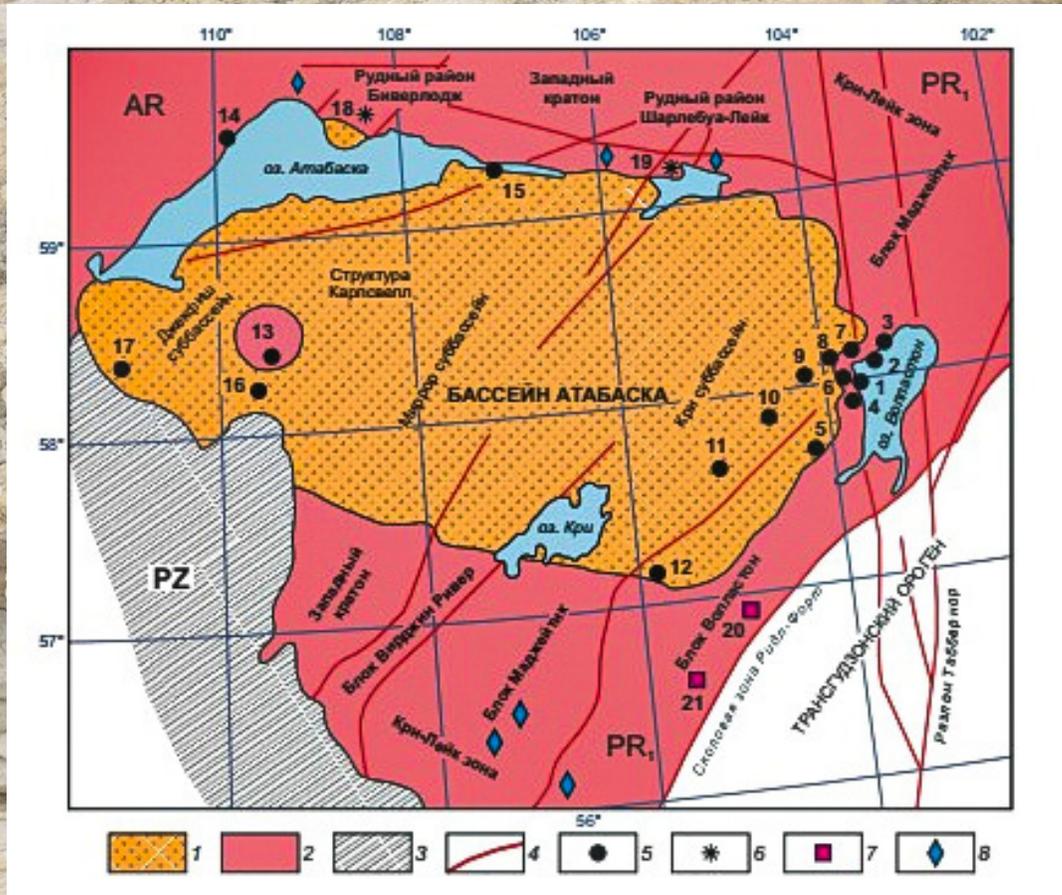
2,2-2,0 млрд лет. Земля - территория кислорода, но без организмов, способных им дышать. Массовое захоронение органики (Шунгиты Карелии и пр.)

Время работы Окло совпадает с возникновением нового типа внутриклеточного строения организмов. Радикальный перелом жизни на планете – появление эукариотической клетки с ядром внутри. Биосфере понадобилось 200 миллионов лет эволюции, чтобы отреагировать на кислородное отравление атмосферы.



1,8 млрд лет –реактор Окло. Запущен благодаря микроорганизмам типа Chlorophyta [Baselga-Cervera et al., 2013].

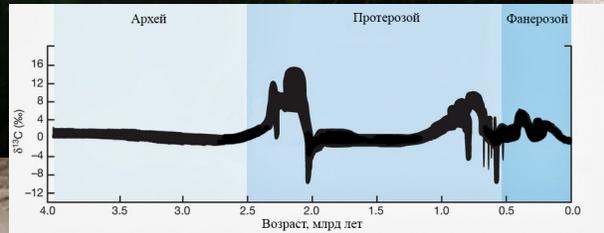
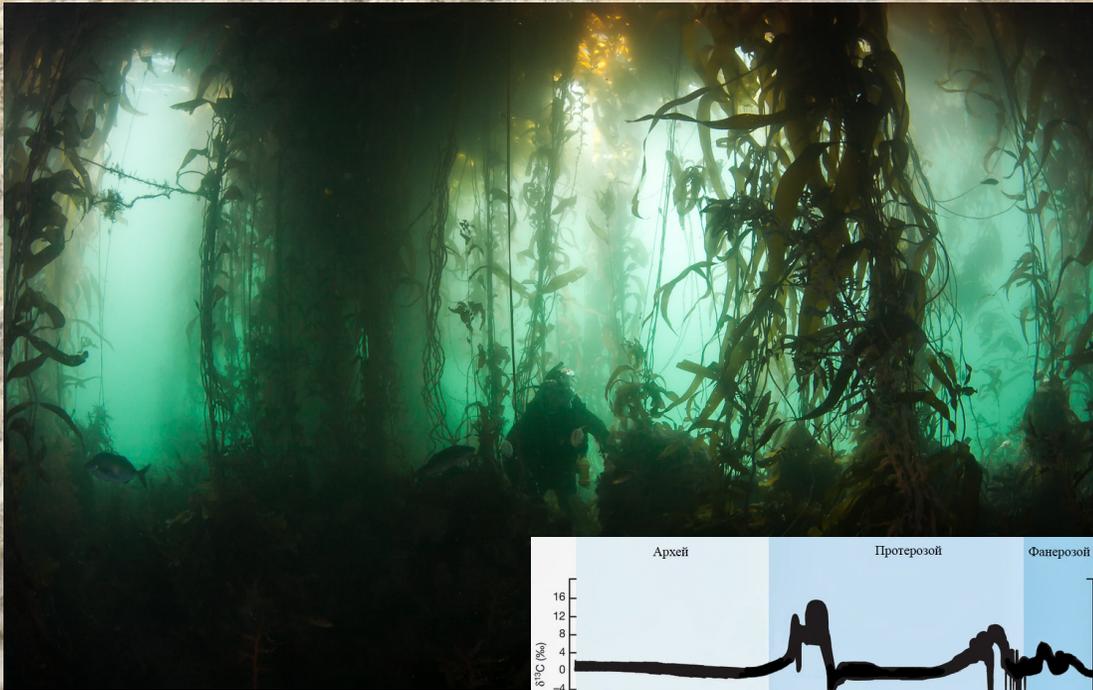
1,6 – 1,4 млрд лет – время месторождений несогласия



По горизонтам графитистых гнейсов в песчаные отложения рифея поступают напорные восстановленные ураноносные растворы. Графит имеет органическое происхождение [Buseck, Beysac, 2014; Luque и др, 2014].

Бассейн Атабаска. Гигантские бессточные котловины заполняются окисленными континентальными отложениями, лишенными органики.

800 -540 млн лет эпоха нестабильности биосферы



Водорослевые луга – источник избыточной органики

800 млн лет назад господство микробов, закончилось. Эукариоты создали трехмерный мир, Водоросли вытеснили строматолиты.

Повысились темпы захоронения органического вещества. Донные утилизаторы компоста перестали справляться.

Избыток кислорода через обратный парниковый эффект привел к серии оледенений планеты.

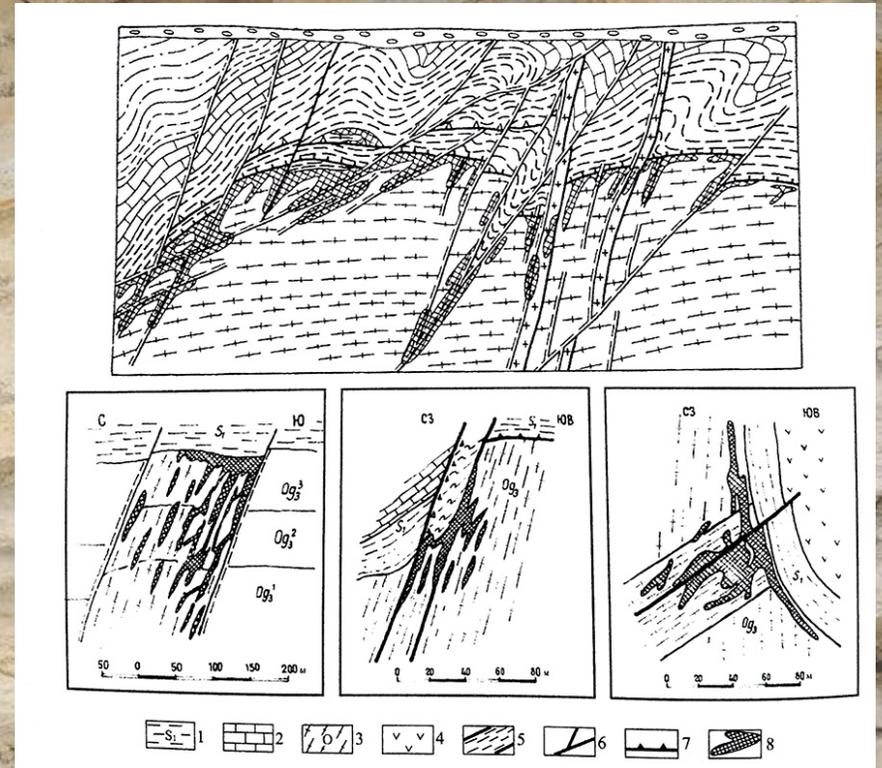
Плавающий лед насытил кислородом донные воды океана. Подготовлен кембрийский взрыв.

Образование интрузивных и метасоматических месторождений этого времени происходило без участия органики.

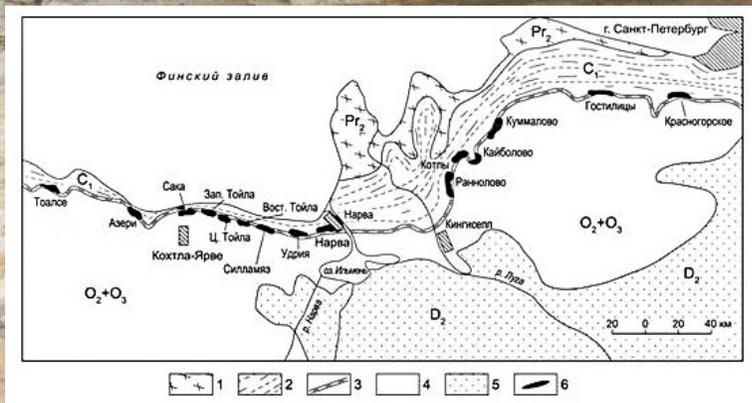
540 млн лет. Кембрийский взрыв. Черные сланцы (Є-S)



Обильные отложения подводного «чернозема» взрыхляются появившимися «роющими».



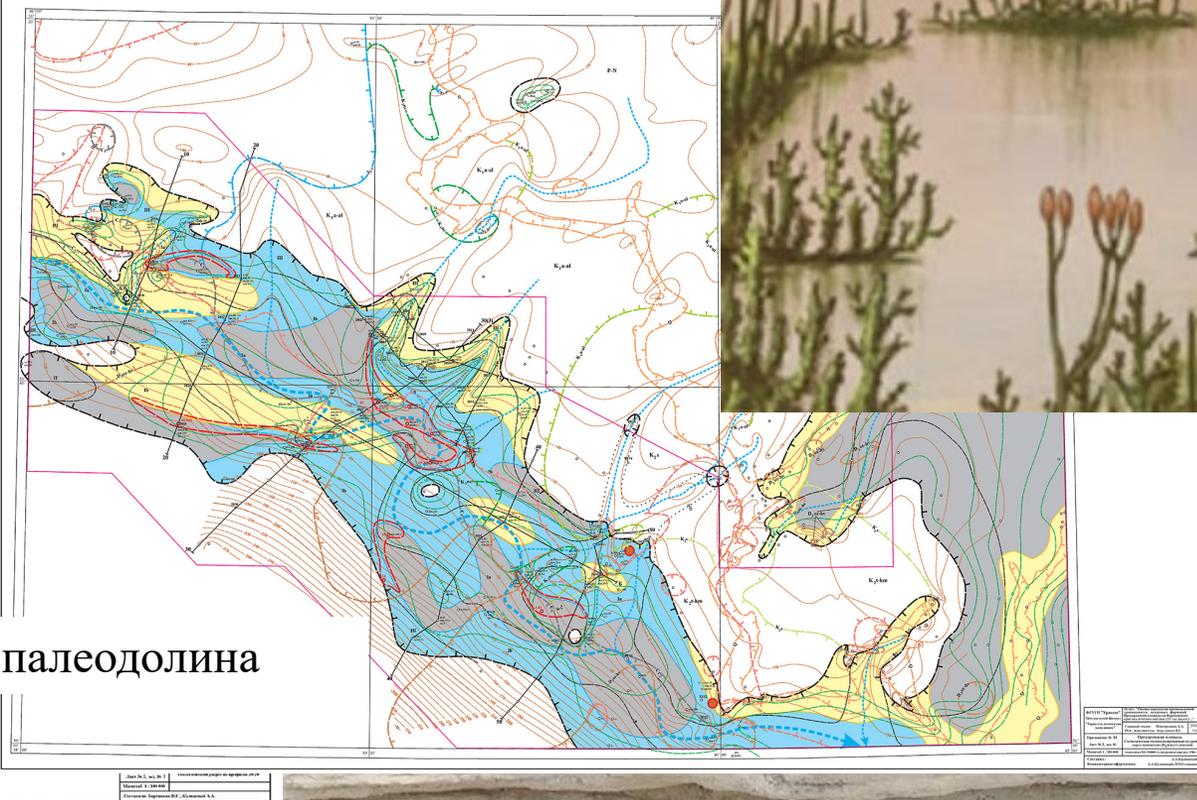
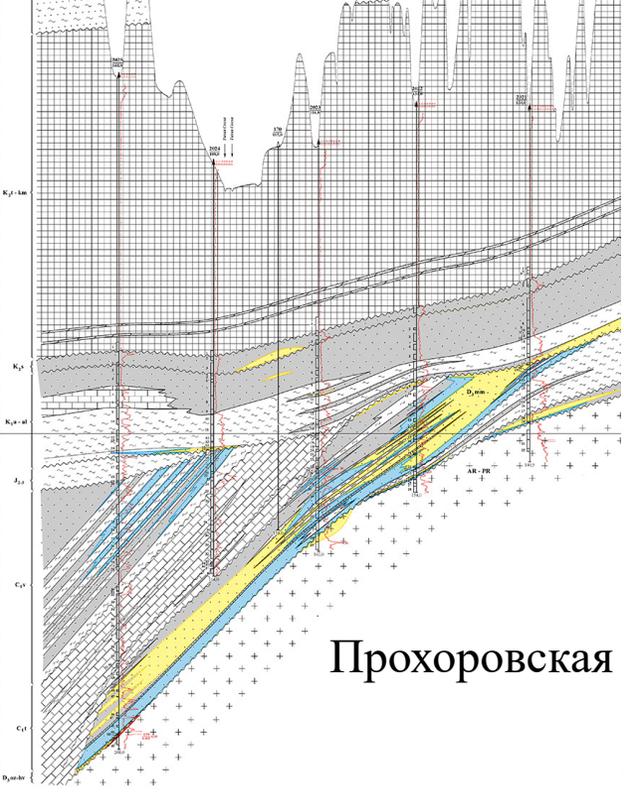
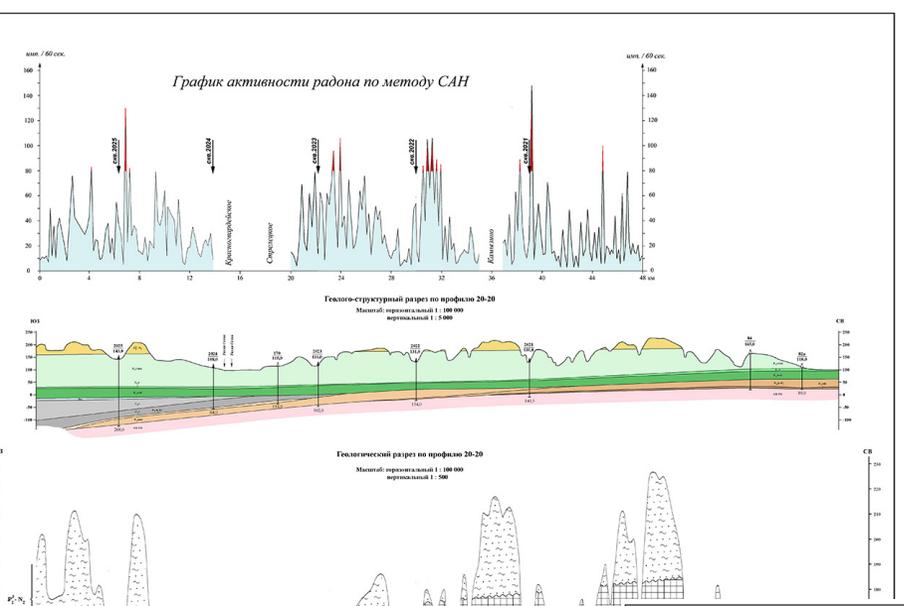
Роннебургское рудное поле. O-S



Месторождения в диктионемовых сланцах Прибалтики. O₂₋₃

Современный аналог – илы залива Уолфиш (Намибия), илы Черного моря

Конец силура. Появление сосудистых растений - выход на сушу



Прохоровская палеодолина

Д-С – «щетки» в устьях палеодолин Прохоровская, Брикентно-Желтухинская

Учебно-методическое пособие, Прис. № 15, 1, 1

Составитель: Баранов В.В., Сидорова А.А., Шенников А.В., Шенников А.А.

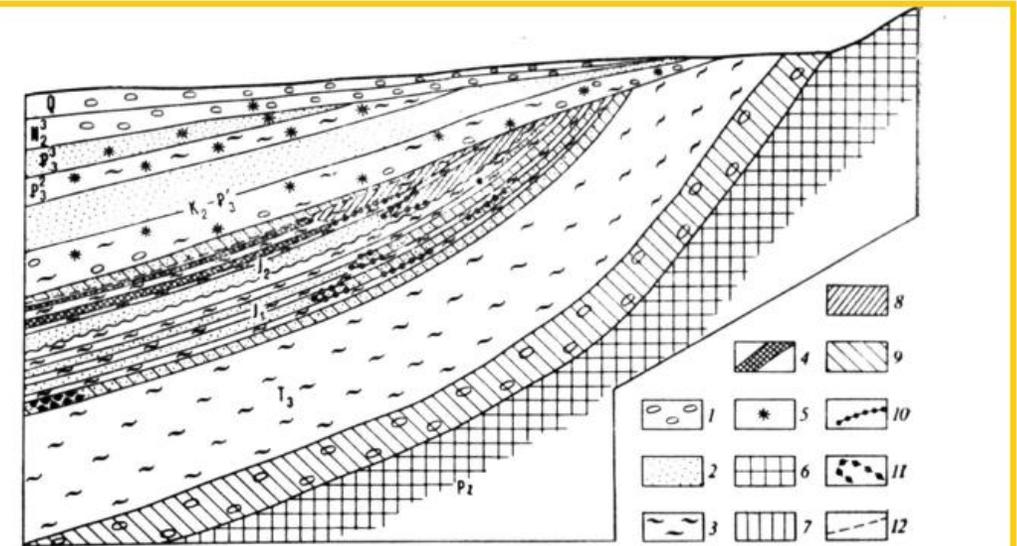
Издательство: Физматлит, Москва, 2010 г.

Девон-карбон. Появление древесины.

Новый тип месторождений – в углях.
Месторождения в древесных остатках и торфах образуются доныне (Сиротинка)



Земля покрылась лесами.
Утилизаторы лигнина и целлюлозы
появились не сразу.
Началось угленакопление

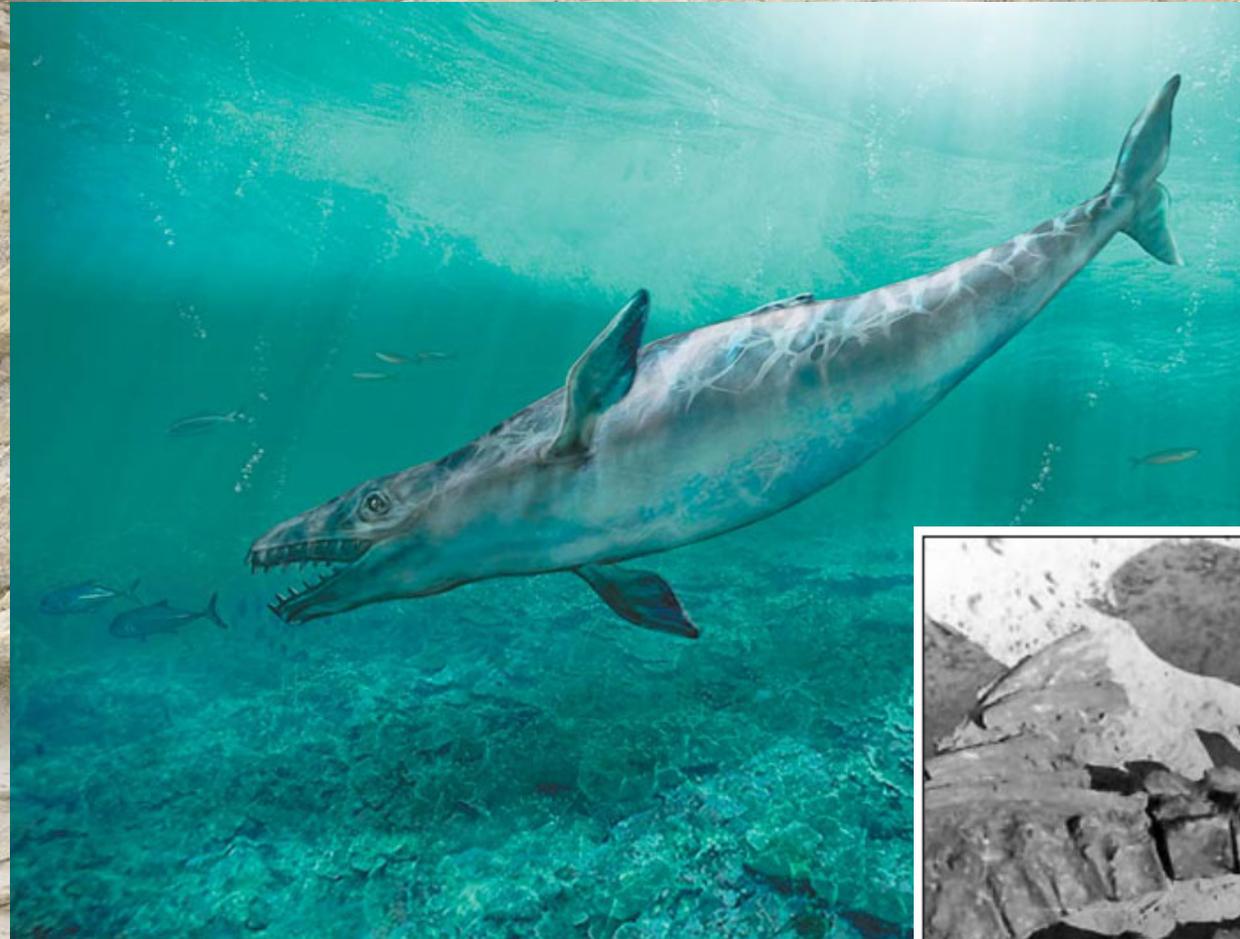


Геологический разрез краевой части уран-угольного месторождения.
По А. Столярову и С. Расуловой (1982).

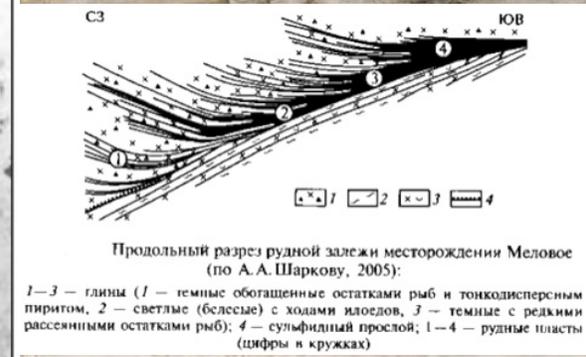
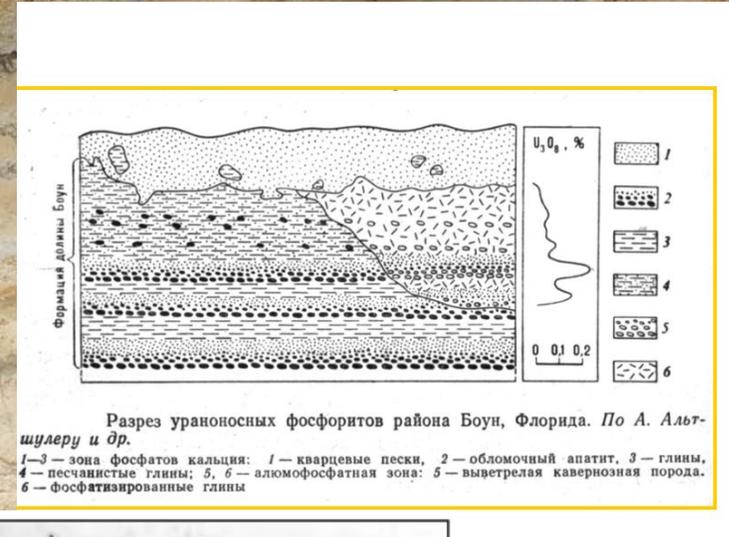
1 — конгломераты, гравелиты; 2 — пески и песчаники; 3 — глины; 4 — угли; 5 — первичная окрасочность пород; 6 — породы фундамента; 7—9 — зоны окисления: 7 — древнего поверхностного, 8 — древнего грунтового и пластового первого этапа рудообразования, 9 — пластового второго этапа рудообразования; 10, 11 — зоны уранового оруденения: 10 — установленные, 11 — предполагаемые; 12 — предполагаемые границы зоны древнего поверхностного окисления

Уран-угольное месторождение Кольжат

Ураноносные фосфориты (кембрий – квартал)



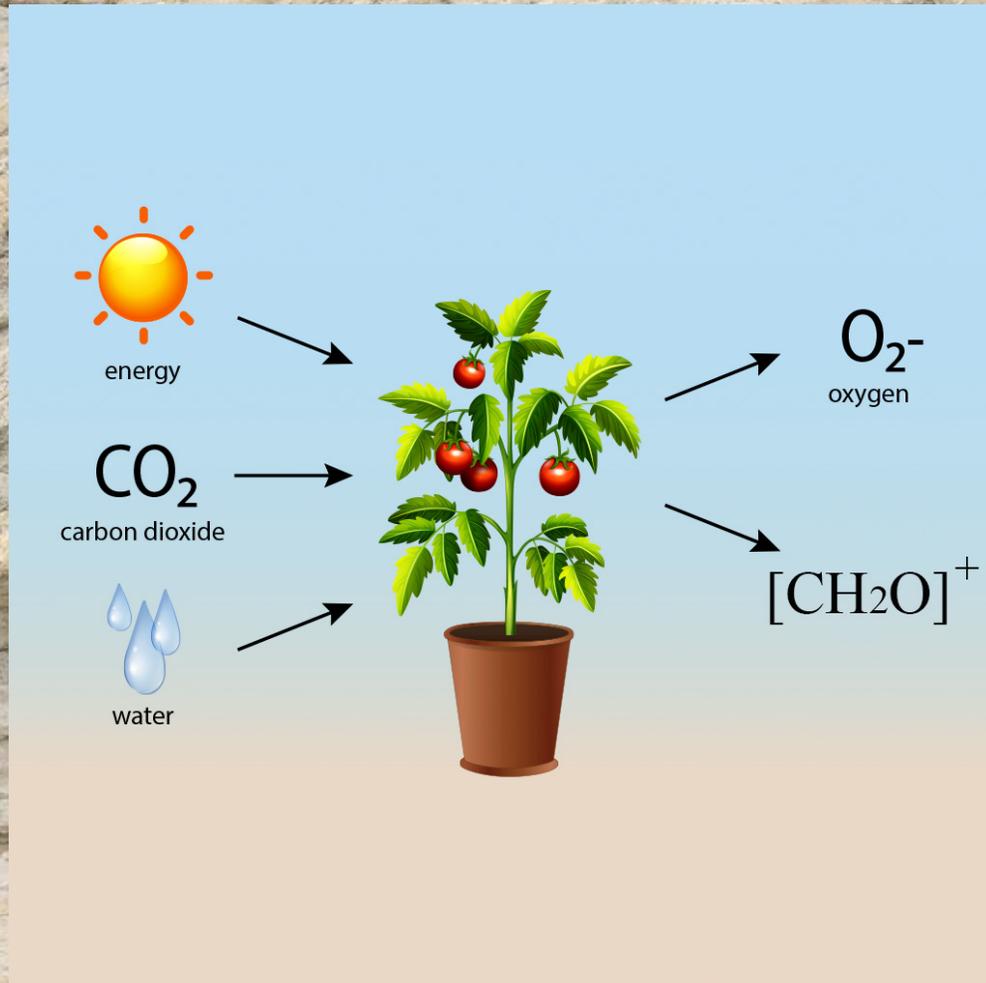
Зубастый янджуцет
(поздний олигоцен)
и руда месторождения Меловое



Месторождение
Меловое

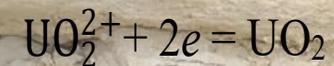
ОВ

Фотосинтез и формирование месторождений в ЗПО



Из инертных углекислого газа и воды биосфера формирует на поверхности планеты «батарейку»: на земной поверхности возникают окислительные условия (свободный кислород), а в подземных водах в ходе жизнедеятельности и разложения органики - восстановительные.

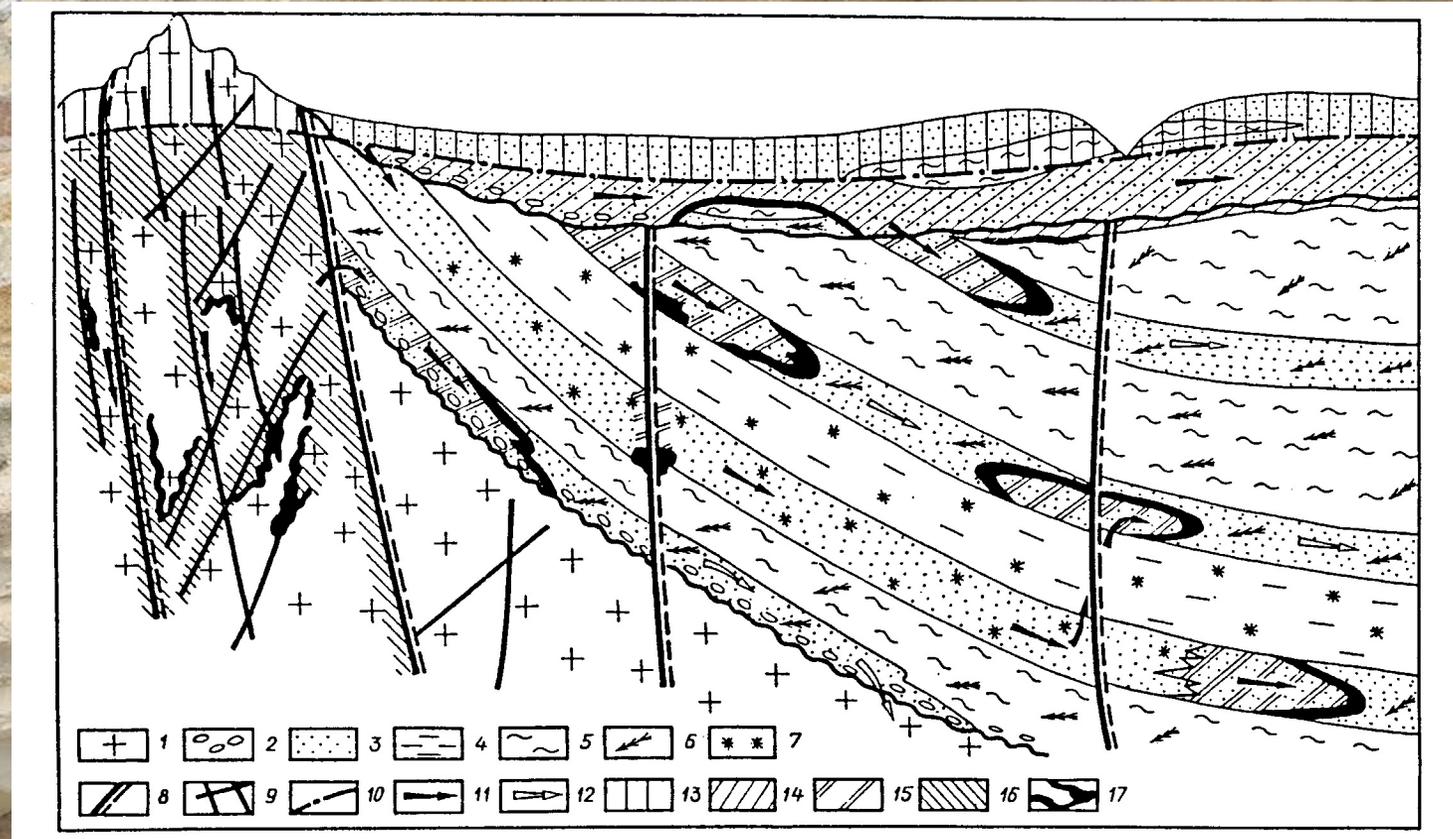
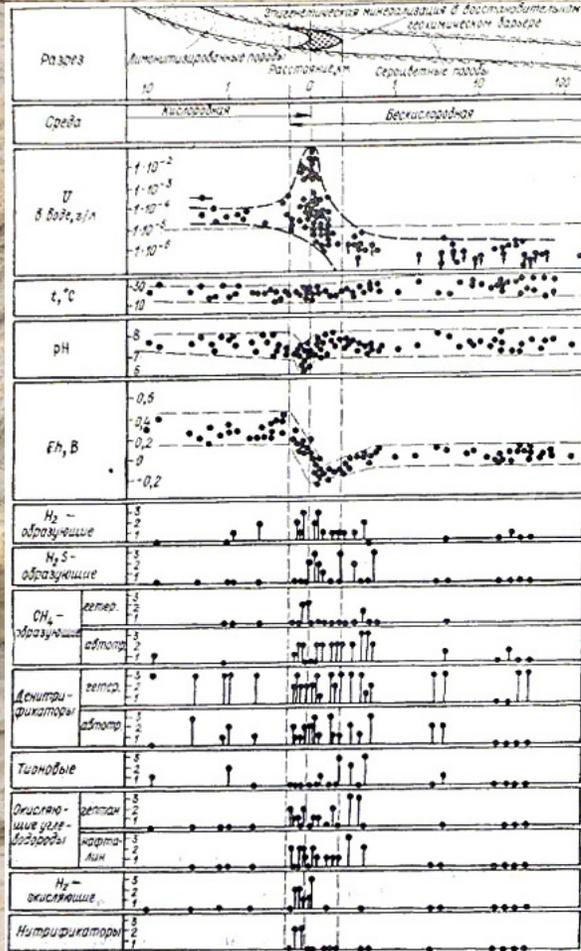
Формирование месторождений в ЗПО протекает на окислительно-восстановительном барьере, возникновение которого и обусловлено работой живого вещества.



Фотосинтез – образование живого вещества из окружающей среды:



Месторождения ЗПО и микроорганизмы



Концентрация микроорганизмов на выклинивании ЗПО [Гидрогенные..., 1980]

Работы 60-х годов [Лисицин, Кузнецова, 1967] доказали прямое участие микроорганизмов в формировании гидрогеохимической зональности.

Большая часть кислорода в ЗПО расходуется биохимическим путем. Растворенный уран связывается в уранорганические соединения. Разрушение уранорганических соединений с осаждением урана из раствора также происходит при участии микроорганизмов.

Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе?

И искать ли там месторождения урана?



Если на Марсе жизни нет (не было), то искать урановые месторождения (по крайней мере, аналогичные земным) там бессмысленно. Не исключено, что жизнь на Марсе существовала, но на все про все у нее было не более одного миллиарда лет – не достаточно, чтобы сформировать месторождения.



Основные выводы



Образование планетарных запасов кремнекислоты, карбоната кальция и формирование гранитного слоя Земли – такая же заслуга живого вещества, как и образование кислородной атмосферы.

С развитием жизни на Земле напрямую связаны месторождения многих полезных ископаемых, в том числе урана. Образование «земных» типов месторождений урана невозможно в ближнем космосе.