

Г.Н. Садовников

Конспекты лекций по курсу «Историческая геология»
(для студентов групп ПГ и РГ)

Основные закономерности истории Земли

Уважаемые коллеги!

Мы закончили обзор истории развития Земли. В заключение мы кратко остановимся на основных закономерностях истории Земли. Для этого мы кратко повторим всю историю, но не в хронологической последовательности, как мы делали это в курсе, а отдельно по оболочкам Земли. Сначала конспективно вспомним об атмосфере и гидросфере, затем более детально остановимся на литосфере и биосфере. При этом я не буду детально останавливаться на дискуссионных моментах, о которых я говорил в курсе, ограничиваясь лишь краткими ссылками на них.

А. Основные этапы развития атмосферы

Состав атмосфер планет Солнечной системы довольно сильно различается. Но основных их компонентов совсем немного. В планетах-гигантах Юпитере и Сатурне и в планетах среднего размера Уране и Нептуне (а это в сумме – основная масса планетного вещества) это всегда водород, гелий и метан, а на Юпитере еще и аммиак.

В планетах земной группы – Меркурии, Венере, Земле и Марсе – на первый взгляд все совсем другое. В чем отличия? Во-первых, отсутствуют самые легкие компоненты – водород и гелий. Это легко объяснимо: размеры планет земной группы недостаточны для удержания этих легких компонентов.

Второе различие – очень большая роль кислорода, которого раньше вообще не было в составе характерных компонентов. Хорошо видно: чтобы превратить атмосферы больших планет в атмосферы планет земной группы нужно окислить их! Тогда будет два типа атмосфер – с азотом и без азота. Точно так, как и в больших планетах.

Из этого следует определенное единство атмосфер планет, а отсюда – возможность судить о тех или иных общих характеристиках атмосферы Земли на основе сравнения ее атмосферы с атмосферами других планет.

Следовательно, во-первых, есть все основания предполагать, что атмосфера Земли включала именно эти основные компоненты: аммиак, метан, углекислоту и воду. Из них же часто состоят и мелкие более мелкие космические объекты.

Типы атмосфер планет

Меркурий **земля**



венера

марс

CO_2 H_2O

N_2 CO_2 H_2O

$\uparrow + \text{O} \uparrow$

H_2 He CH_4

H_2 He CH_4 **NH_3**

нептун

уран

сатурн

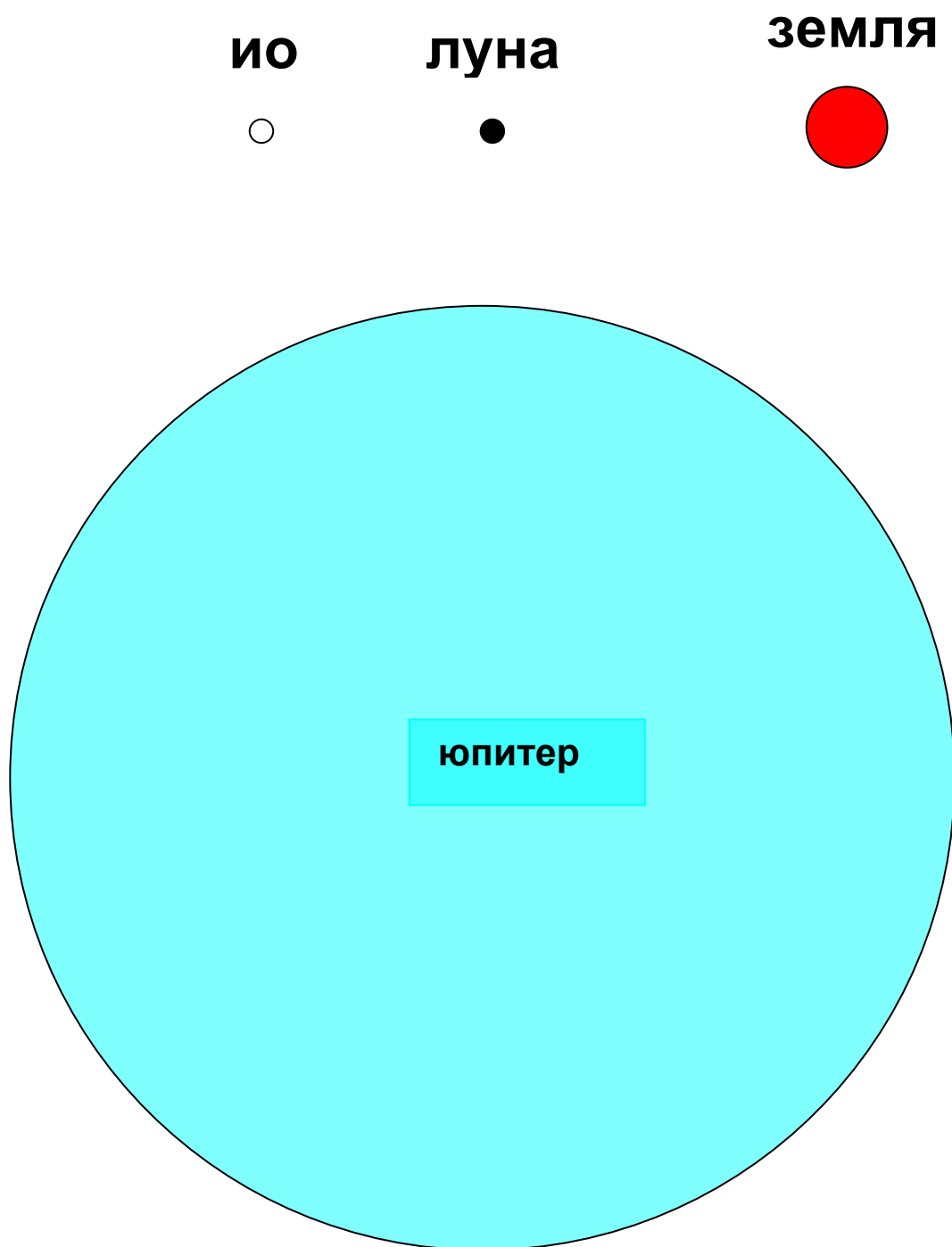
юпитер

Они, очевидно, были и на Земле, но изначально – в твердом состоянии. На начальных этапах формирования планеты в условиях космоса никакой атмосферы быть не могло. Для перехода этих в газообразное состояние необходим разогрев до температуры выше -30°C . Он мог быть эфемерным (на освещенной солнцем части планеты, с последующим охлаждением и возвратом в твердое состояние), либо стабильным (за счет гравитационного разогрева недр).

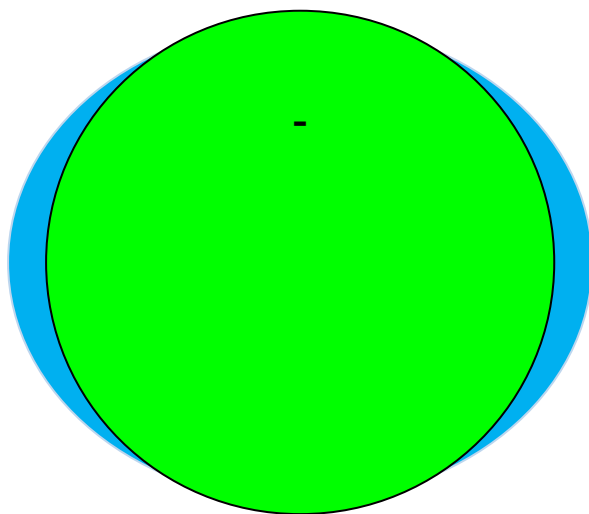
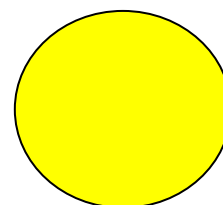


Напомню одно обстоятельство, касающееся догеологического этапа земной истории. У земли есть спутник – Луна. Образование этой космической пары произошло не в момент их образования, но достаточно рано. Спутники есть у многих планет. Но чаще всего они по размерам гораздо меньше основной планеты.

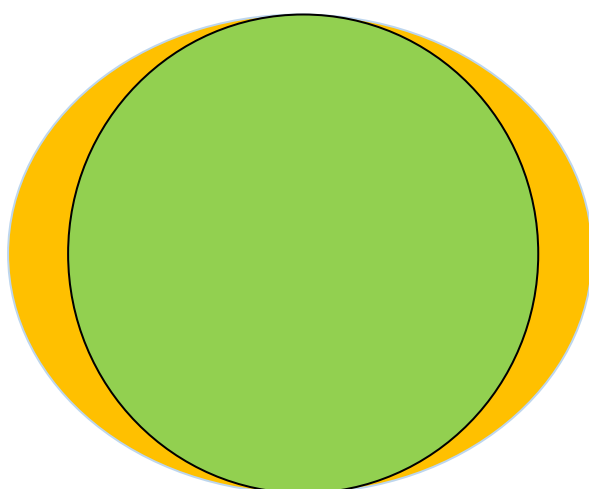
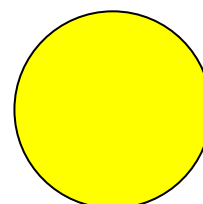
Спутник Юпитера Ио по размерам близок к Луне, но многократно меньше ее по массе. Влиять своим движением на процессы, происходящие на Юпитере, Ио, видимо не мог. Луна тоже меньше Земли, но соотношения размеров и масс совершенно иное. По принятым сейчас стандартам система Земля – Луна не считается двойной планетой.



Но мы знаем, что Луна оказывает существенное влияние на Землю. Давно и лучше всего известно влияние Луны на гидросферу Земли, выражающееся в приливах и отливах. Высота приливов до 20 м. Деформация литосферы всего 45 см.

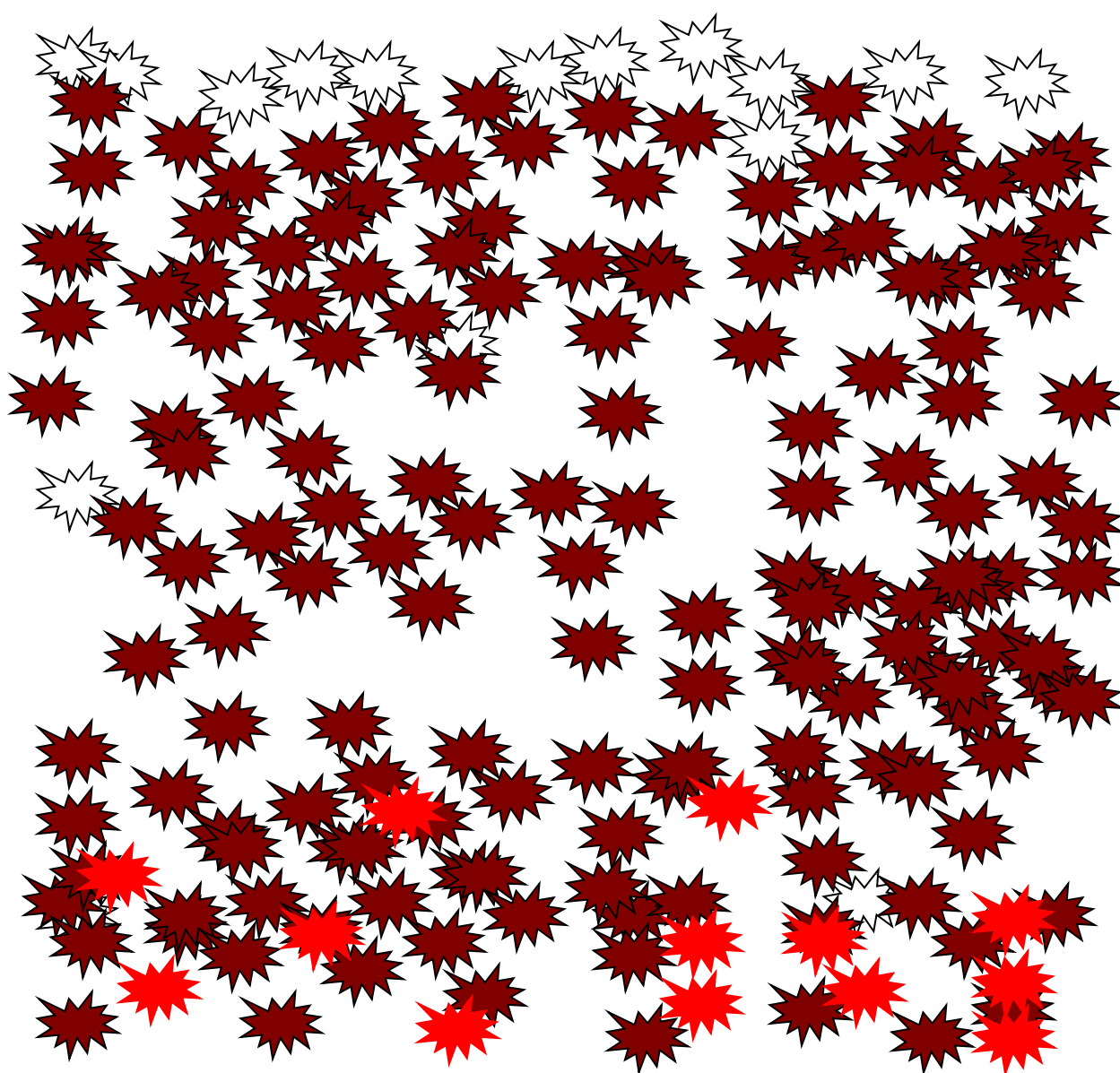
Земля**Луна**

Но в условиях нелигифицированной планеты на ранних стадиях ее образования она была существенно выше. По расчетам планетологов в начале преархея (около 4,5 млрд лет назад), когда Луна находилась значительно ближе к Земле, чем сейчас, высота каменной приливной волны составляла около 1,5 км. Примерно через 1 млн лет, после отодвигания Луны на современную орбиту она составляла около 130 м, через 100 млн лет – 15 м, в конце преархея (около 4 млн лет назад) – 7м.

Земля**Луна**

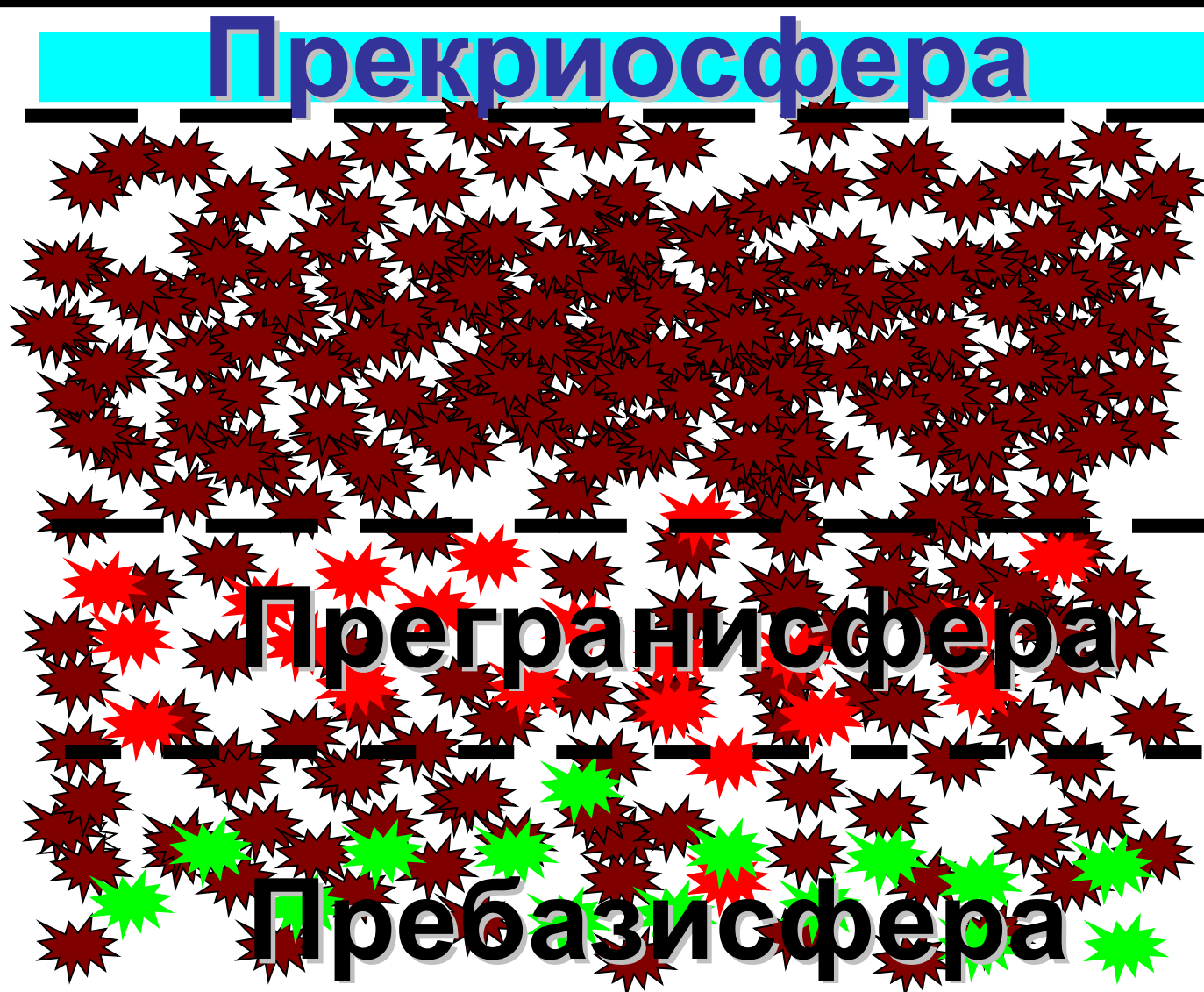
А что происходит во взвеси при постоянном потряхивании, геологи знают хорошо и используют это при промывке шлихов. Происходит гравитационная дифференциация материала. Более тяжелое уходит вниз. Более легкое перемещается вверх, как бы «всплывает» над более тяжелым. При промывке шлихов вверх «всплывает» кварц (и шлиховальщик смывает его).

Поскольку перетраивание материала планеты происходило почти с самого начала формирования планеты, то на ранних стадиях, до расплавления недр уже должна была произойти гравитационная дифференция.



Разумеется, это не могло произойти четко и чисто, как в жидкости, но глубокие недра должны были обогатиться рудным материалом, средние части – минеральными образованиями основного состава, более высокие – минеральными образованиями кислого состава, а приповерхностные части – льдами.

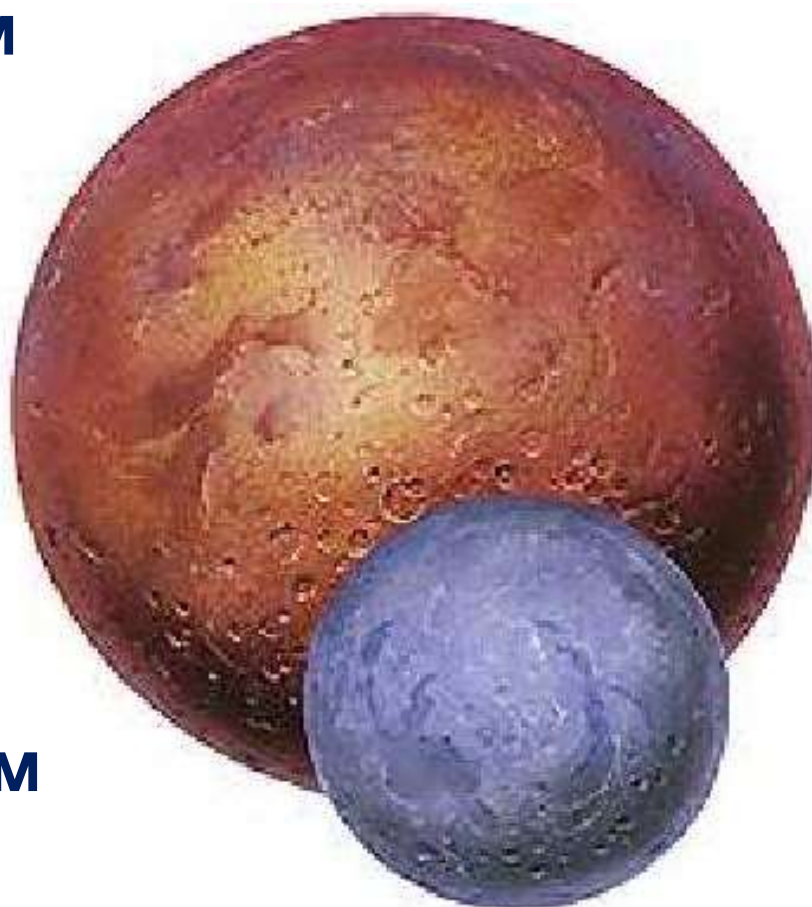
Сформировалась прекриосфера – первичная криосфера Земли.



Подобный процесс, только еще более резко выраженный, должен был происходить на Луне

и на паре Плутон – Харон, официально признанной двойной планетой.

R=1184 км



R=602 км

Когда поверхность Земли нагрелась до -182°C на поверхности появилась жидкая оболочка. Это была не гидросфера, а метаносфера.

Должно было пройти много времени, чтобы у поверхности, на границе с холодным космосом температура выросла еще на 20°C , достигла -162°C . Жидкая метаносфера испарилась и стала первой – метановой – атмосферой Земли.

Прошел еще более продолжительный отрезок времени, температура выросла на 83°C , достигла -78°C . Происходит плавление аммиака и возгонка углекислоты. Жидкая «аммисфера» покрывает поверхность планеты. Атмосфера становится углекисло-метановой.

Подъем температуры еще на 45°C до -33°C . Вскипает аммиак. Жидкой оболочки нет. Атмосфера становится углекисло-метаново-аммиачной.

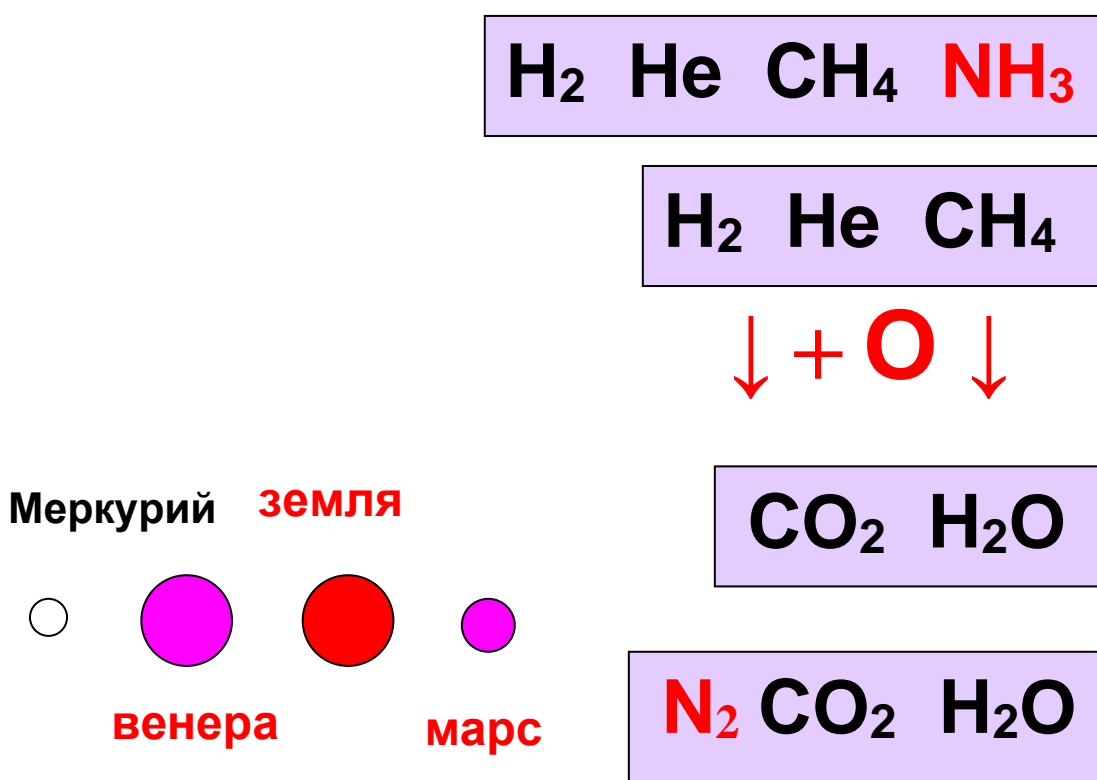
Температура повышается еще на 33°C и становится 0°C.

Кончается первое оледенение Земли. Вода появляется в атмосфере и начинает свой круговорот.

Когда это произошло, я говорил вам в курсе и буду говорить чуть позже. Появление гидросферы достаточно надежно связывается с несогласием, датирующимся 4 млрд лет.

Напомню вам теперь, что в начале лекции мы говорили о том, что по набору основных составляющих атмосферы планет земной группы отличаются от остальных планет.

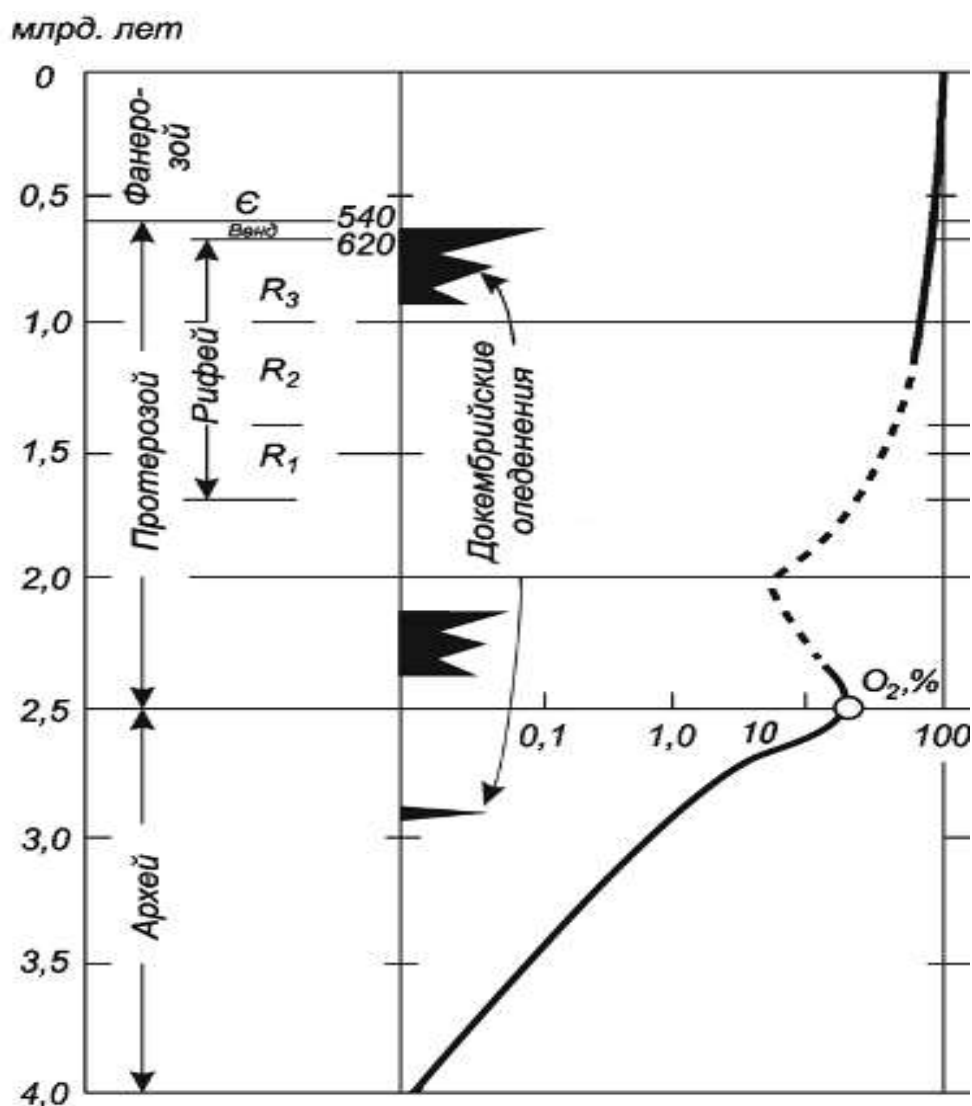
И чтобы превратить атмосферы больших планет в атмосферы планет земной группы нужно окислить их!



Следовательно, одной из следующих стадий эволюции атмосферы Земли должно быть ее окисление. В атмосфере Земли оно было известно давно и четко увязывалось появлением и увеличением роли фотосинтезирующих организмов – цианобионтов. На графике, приведенном ниже, оно хорошо видно (содержание кислорода показано не в абсолютных единицах, а в процентах к современному).

На ранних стадиях существования атмосферы появлявшийся кислород расходовался на окисление метана (с появлением углекислоты и воды) и аммиака (с появлением азота и воды). Появление свободного азота делало атмосферу более прозрачной, и, следовательно, способствовало увеличению

количества фотосинтезирующих организмов. Процесс шел по возрастающей. После окисления всего метана и аммиака атмосфера стала преимущественно азотной, а продолжавший поступать кислород был уже свободным кислородом.



Б. Основные этапы развития гидросферы

В предыдущем разделе было сказано, что гидросфера появляется на Земле, тогда температура поверхности повышается до 0°C . Я говорил вам в курсе, что в раннем архее известно хорошо выраженное угловое несогласие, датированное 4 млрд лет (амитсоксское). И выше, и ниже него породы находятся на одной и той же (высокой) стадии метаморфизма. При этом ниже границы практически никогда нет следов слоистости, а если она присутствует – это очень невнятная слоистость, напоминающая слоистые текстуры оползней. Выше границы, наоборот, очень часто встречается

хорошо выраженная, часто параллельная слоистость. Это – достаточное обоснование того, что в это время появились большие водные бассейны, которых раньше не было.

Состав гидросферы несколько меняется во времени. В раннем архее по замерам в жидких включениях рН находится в интервале между 1 и 2. Хотя в некоторых районах (Алдан) встречаются мраморы. В позднем архее кислоты были нейтрализованы продуктами выветривания мраморы. В раннем протерозое состав хлоридно-карбонатный. Во многих регионах встречаются известняки. В рифее состав хлоридно-карбонатно-сульфатный, часто встречаются известняки. Начиная с венда, широко распространены эпиконтинентальные моря – неглубокие широкие бассейны, хорошо освещаемые и прогреваемые солнцем, хорошо аэрируемые за счет активного волнового движения воды.

Мы остановимся теперь на анализе изменения уровня моря во времени, используя для этого построение академика Н.М. Страхова. График показывает площадь распространения морских и неморских (континентальных) отложений на современной суше. Данных по шельфу тогда практически не было. Красным залиты неморские отложения, голубым – морские отложения. Один вертикальный столбец отвечает приблизительно 28 млн кв. км. Это около 8% поверхности суши, величина площади современных шельфов.

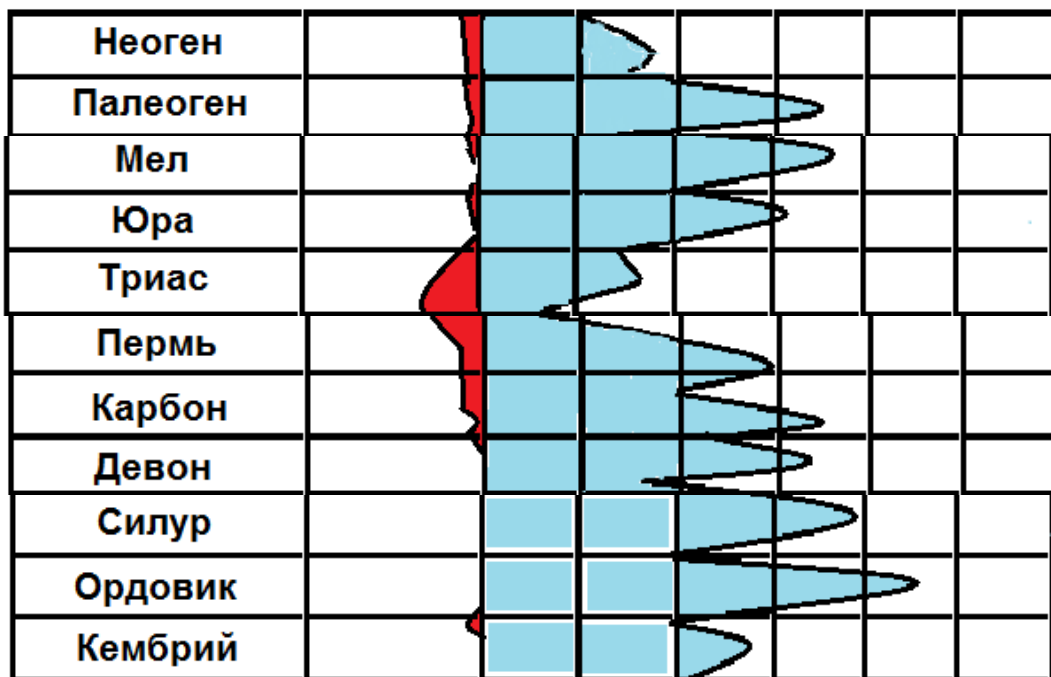


График несколько изменен. У Страхова морские отложения показаны не в целом, а с подразделением по составу. Неморские отложения показаны не слева от оси, а справа (отраженными по вертикали). Соответственно

общая линия распространения отложений (правая линия графика) проведена правее на величину площади распространения неморских отложений.

На графике видно следующее. Минимумы распространения морских отложений (т.е. максимумы регрессий моря) практически всегда совпадают с границами периодов. Заметное исключение только два – на границах силура/девон и карбон/пермь. Максимальная регрессия приходится на границу перми и триаса. С этой границей почти совпадает максимум распространения неморских отложений

Максимумы трансгрессий приходятся либо на середины периодов, либо смещены к их концу, редко (в карбоне и перми) – к началу. Выделяется два больших цикла: палеозойский и мезо-кайнозойский. Первый довольно четко делится на две части: кембро-силурийскую и девонско-каменноугольную. Максимальная трансгрессия – ордовикская. Максимальная трансгрессия позднепалеохойского подцикла приходится на карбон, мезо-кайнозойского цикла – на мел.

Совпадение максимумов регрессий с границами периодов, мне представляется, отражает методику построения стратиграфической шкалы. Почти все границы периодов проведены в морских отложениях, следовательно, по смене морской фауны. Биота начинает перестраиваться при ухудшении условий существования. Регрессия моря для морских организмов приводит к сокращению ареалов, перенаселенности, недостатку пищи, усилению конкуренции. Биота реагирует на ухудшение условий перестройкой. Стратиграфы эти перестройки увидели и провели по ним границы систем (и периодов).

Что является причиной трансгрессий?

Одно из возможных объяснений – климатические колебания, оледенения и стаивания ледников. Это, в принципе, возможно, и в некоторых случаях бесспорно. Но, безусловно, это не универсальное решение. Число оледенений в истории Земли гораздо меньше трансгрессий.

Вторая возможная причина трансгрессий, которая иногда называется – изменение рельефа океанического дна. Это, в принципе, тоже возможно, и в некоторых случаях, возможно, имело место. Но это в еще большей степени не универсальное решение. К тому же объяснять-то нужно причину не трансгрессии, а многократного чередования трансгрессий и регрессий.

Мы этого не знаем.

Возможно, вы со временем узнаете.