

Учение о биосфере

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965, 175с.
- Биосфера./Сб.под ред. Гилярова М. М.: Мир, 1972, 182 с.
- Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983, 422с.
- Казначеев В.П. Учение Вернадского о биосфере и ноосфере. Новосибирск: Наука, 1989, 248с.
- Камшилов М.М. Эволюция биосферы. М.: Наука, 1974.
- Шипунов Ф.Я. Организованность биосферы. М.: Наука, 1980, 290с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В.И. Биосфера. М.: Мысль, 2001, 376 с.
- Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Рольф, 2002. – 576с.
- Вернадский В.И. Научная мысль как планетарное явление. М.: Наука, 1991, 271с.
- Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1978, 330с.
- Одум Ю.П. Экология. М.: Мир, 1975. - 740 с.
- Грант В. Эволюционный процесс. М.: Мир,1991.- 488 с.
- Колчинский Э.И. Эволюция биосферы. Л.: Наука, 1990. - 235 с.
- Воронцов Н.Н. Развитие эволюционных идей в биологии. М.: Изд.отдел УМЦ ДО МГУ, Прогресс-традиция, АБФ, 1999, 640 с.
- Левченко В.Ф. Эволюционная экология и эволюционная физиология - что общего? // Журн. эвол. биохим. и физиол., 1990. - Т. 51, N 4. - С. 455-461.
- Монин А.С. История Земли. Л.: Наука, 1977. 228 с.
- Пианка Э. Эволюционная экология. М.: Мир, 1981. - 399 с.
- Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов. М.: Наука, 1981. 232 с.
- Симпсон Дж.Г. Темпы и формы эволюции. М.: Изд-во иностр. литер., 1948. 369 с.

Вопросы к блиц-опросу

- В чем состоит новое содержание понятия «Биосфера» по Вернадскому?
- Что такое «Живое вещество» по Вернадскому?
- Перечислить основные компоненты биосферы.
- Чем отличается живое вещество от косной материи?
- Каковы биогеохимические функции жизни на Земле?

ТЕМА 2

- Гипотезы о происхождении солнечной системы и Земли.
- Гипотезы о формировании планет солнечной системы
- Теория звездного синтеза химических элементов
- Процессы трансформации химических элементов – продуктов галактического ядерного синтеза
- Предбиологическая стадия эволюции
- Эволюционные преобразования геосфер

Гипотезы о происхождении солнечной системы и Земли

- На сегодняшний день принята теория, основанная на концепции о Большом взрыве.
- Вся масса Вселенной была сжата в исходную точку – «каплю» Космоса. В силу каких-то причин точечное состояние было нарушено, произошел Большой взрыв, и вся Вселенная размером в 10 млрд световых лет за время долей секунды (10^{-30} - 10^{-35} с) расширялась экспоненциально.
- Концепция о Большом взрыве подтверждается данными астрофизиков.
- Исследования и моделирование Большого взрыва продолжаются, в том числе Европейским советом ядерных исследований.

Место планет Солнечной группы в Галактике (Млечный путь)

- ☐ Солнце и планеты Солнечной группы оказались **на периферии своей Галактики** в одном из ее спиральных рукавов на расстоянии 25 тысяч световых лет.
- ☐ Ядро нашей Галактики – место чрезвычайно высокой активности, здесь происходят десятки и сотни взрывов сверхновых звезд, формируются черные дыры – это остатки «провалившихся» внутрь себя массивных звезд (в 8-10 раз > Солнца). Нашей Земле чрезвычайно повезло оказаться вдали от этого бушующего центра.
- ☐ **Солнечная система оказалась в особом участке Галактики (Млечный пузырь, образовавшийся 2-5 миллионов лет назад) радиусом примерно 100 световых лет. Внутри него плотность межзвездного газа много ниже, чем в окружающем пространстве.**
- ☐ **До образования Млечного пузыря Земля с ее биосферой (в составе планет Солнечной группы) прокладывали путь сквозь более плотный газ.**
- ☐ **Возраст Земли – 4,65 млрд. лет** (определен по изотопному отношению $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, он совпадает с возрастом Луны и метеоритов).

Гипотезы о формировании планет солнечной системы

- **Гипотеза О.Ю. Шмидта (1943-1944 гг.) о первоначально холодной Земле, пришедшая на смену представлениям о первоначально горячей Земле на основе обобщения и осмысления огромного количества фактического материала в период с конца XIX века (Ф.А. Бредихин, В.И. Вернадский).**
- **Формирование планет солнечной системы происходило в несколько этапов**
 - - образование химических элементов и газовой туманности
 - - охлаждение газового диска и конденсация частиц его вещества в жидкие капли, частицы, возникновение газовой-пылевой протопланетной туманности;
 - этап возникновения протопланет: - сгущение (аккумуляция, агломерация) конденсированных частиц – пылевой составляющей протопланетной туманности, образование каменно-газово-пылевого облака.
- **Толчком, приведшим к конденсации газовой-пылевого облака, многие ученые считают взрыв сверхновой звезды, который, в частности, привел к образованию радиоактивных элементов Солнечной системы в результате облучения солнечного газа потоком нейтронов и протонов от сверхновой.**

Образование химических элементов ТЕОРИЯ ЗВЕЗДНОГО СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ

- Для Солнца характерно электронно-ядерное состояние вещества – это **водородно-гелиевая плазма**.
- В 1928 г. впервые **в спектре атмосферы Солнца** было открыто более 70 элементов, причем **преобладают H (около 70% по массе) и He (28% по массе)**, на долю остальных элементов приходится лишь около 2%, особенно мало тяжелых элементов (после Fe № 26).
- **H и He – наиболее распространенные в нашей галактике элементы – практически неисчерпаемый строительный материал** для образования в соответствующих термодинамических условиях известных химических элементов, включая трансурановые.

Образование химических элементов ТЕОРИЯ ЗВЕЗДНОГО СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ

□ При температурах в десятки и сотни миллионов градусов из протонов и нейтронов синтезируются атомные ядра атомов различных масс.

□ В качестве примера приведем два процесса:

1. Процесс превращения H в He, который считается одним из возможных источников солнечной энергии:



2. Процесс превращения He в Mg:



(обрыв цепи в результате кулоновского отталкивания)

Образование химических элементов ТЕОРИЯ ЗВЕЗДНОГО СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ

□ **Ядра атомов тяжелых элементов**, создавшие Солнечную систему, **возникали** в космической обстановке в условиях ультравысоких давлений и температур **в результате ядерных реакций с участием α - частиц (ядра гелия), протонов и нейтронов**. Среди многочисленных изотопов атомов тяжелых элементов были и радиоактивные.

□ Считается, что **образование тяжелых радиоактивных и других химических элементов завершилось непосредственно перед формированием Солнечной системы**: период времени между окончанием естественного ядерного синтеза и возникновением протопланет в Солнечной системе оценивается примерно в 50-100 млн. лет.



КАКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРЕТЕРПЕЛИ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ – ПРОДУКТЫ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Химическая дифференциация тел Солнечной системы – результат физических и физико-химических процессов и пространственной дифференциации первичного газа в зависимости от гелиоцентрического расстояния:

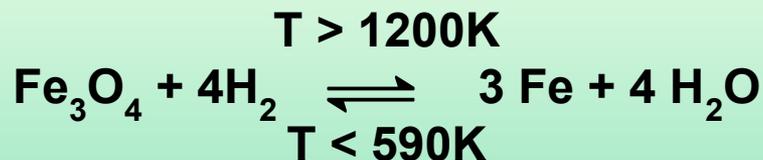
- по мере удаления от Солнца и остывания газа солнечного состава стали возникать примитивные химические соединения
- более удаленные планеты конденсировались быстрее и при более низких температурах
- под действием давления солнечных лучей самые легкие газовые компоненты первичного протопланетного облака были отброшены из центральных частей в краевые его части
- по мере возрастания расстояния от Солнца содержание главных компонентов в телах увеличивается в следующем порядке:



ПРОЦЕССЫ С УЧАСТИЕМ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ – ПРОДУКТОВ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Окислительно-восстановительные процессы в протопланетной туманности: известно изменение состояния окисленности тел в зависимости от гелиоцентрического расстояния:

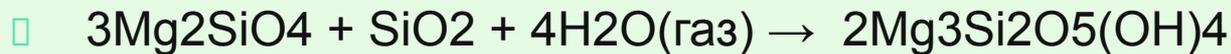
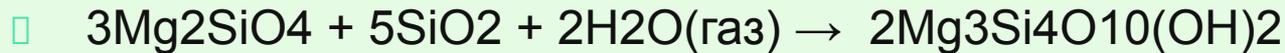
- в близких к Солнцу планетах содержится больше металлического железа, нежели в более отдаленных: Меркурий на 3/4 состоит из металлической фазы (Fe, Ni), Венера и Земля – на 1/3, а Марс – на 1/4 (железо находится уже в окисленном состоянии – в составе оксидов, силикатов)
- степень окисления железа в материале хондритовых метеоритов может указывать на температурные условия их формирования, на температурные условия в ранней истории солнечной системы
- эксперименты В.М. Латимера:



ПРОЦЕССЫ ГИДРАТАЦИИ ЖЕЛЕЗОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ СИЛИКАТОВ на последних стадиях охлаждения газовой туманности при температурах 400-300 К

имели важнейшее значение для последующей жизни на Земле

Предполагаемая схема:



Продуктом стали **слоистые гидратированные силикаты**, составляющие, как считается, пылевую часть туманности в районе астероидального пояса.

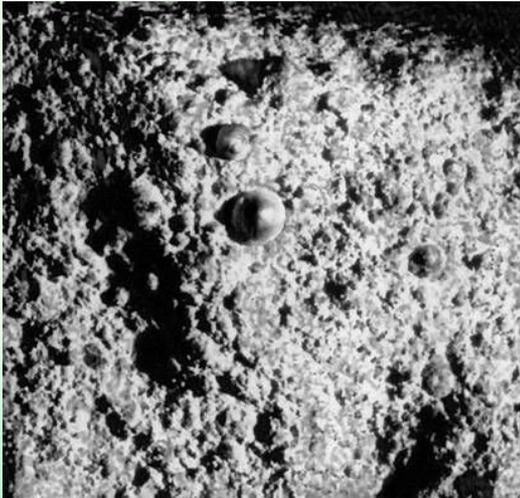
Их высокая адсорбционная способность, по-видимому, определила внедрение в планеты земной группы с помощью пылевой фазы летучих элементов и их соединений, воспрепятствовав их переносу в краевые части Солнечной системы.

Гидратированные силикаты, встречающиеся преимущественно в углистых хондритах, независимо от их природы, оказались скрытыми носителями такого важного летучего вещества, как вода.

Хондры – это сферические тела разного размера с \emptyset от долей до нескольких *мм* в диаметре.

Хондриты состоят из хондр, это мелкозернистая масса нескольких типов – от прозрачных (эстатитовые) до рассыпчатых (углеродистые).

Основной материал хондритов – силикаты разной степени кристаллизации (гидратированные силикаты, магнетиты)



Поверхность раскола каменного метеорита (хондрита)

ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

ОБРАЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ - ТИПИЧНОЕ И МАССОВОЕ ЯВЛЕНИЕ НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Органический углерод, а также другие биогенные элементы (O, H, N, S) обнаружены в метеоритах.

Содержание органических соединений максимально в метеоритах типа углистых хондритов.

В их составе найдено большое число органических соединений, которые близки к необходимым для предбиологической эволюции, – это универсальные звенья обмена веществ в живых организмах.

ОСНОВНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ, ИДЕНТИФИЦИРОВАННЫЕ В МЕТЕОРИТАХ ТИПА УГЛИСТЫХ ХОНДРИТАХ

Углеводороды	Другие соединения
Насыщенные: <ul style="list-style-type: none">- н-Алканы- Алканы с развлевленной цепью- Изопреноиды- Циклоалканы	Карбоновые кислоты: <ul style="list-style-type: none">- Жирные кислоты с неразветвленной цепью- Бензолкарбоновые- Оксibenзойные
Олефиновые	
Ароматические: <ul style="list-style-type: none">- Алкилбензолы- Нафталин- Аценафтены- Аценафтилены- Фенантрены- Пирены	Азотистые соединения: <ul style="list-style-type: none">- Пиримидины- Пурины- Гуанилмочевина- Триазины- Порфирины- Аминокислоты

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПУТИ СИНТЕЗА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Реакция Миллера-Юри

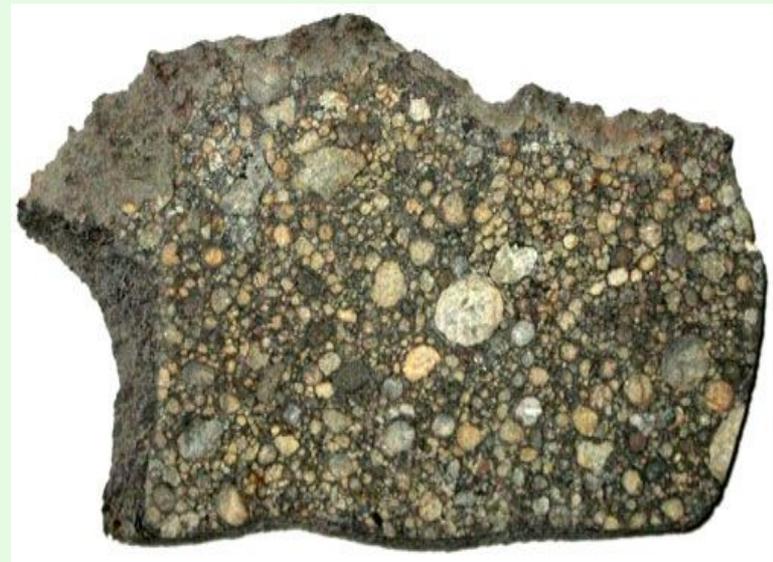
- По мере охлаждения Солнечной туманности возникали простейшие соединения атомов наиболее распространенного элемента – водорода с углеродом
- $2\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
- $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$
- Из смеси H_2 , NH_3 , CH_4 , паров H_2O под действием ионизирующей радиации при высокой T происходит массовое образование почти всех аминокислот, необходимых для синтеза белка: муравьиная, гликолевая, молочная, уксусная, пропионовая и т.д.

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПУТИ СИНТЕЗА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Каталитические реакции типа реакции Фишера-Тропша

- Реакция смеси CO + H₂ при T=150-500°C приводит к образованию многих органических соединений, включая аминокислоты:
- $n\text{CO} + (2n+1)\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n\text{H}_2\text{O}$
- $20\text{CO} + 41\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_{20}\text{H}_{42} + 20\text{H}_2\text{O}$
- Эти реакции с заметной скоростью протекают лишь в присутствии катализаторов (Ni, Al или глинистых минералов). В качестве таких эффективных катализаторов на последних стадиях остывания Солнечной туманности могли быть продукты гидратации ранее выделившихся силикатов.

**Органические соединения
были синтезированы на
поверхности минеральных
зерен (хондр), которые
затем вошли в состав
углистых хондритов.**



**Под микроскопом замечено:
органические вещества метеоритов
присутствуют в виде округленных
флюоресцирующих частиц диаметром 1-3 мкм,
в центре которых найдены ядрышки магнетита
или гидратированного силиката.**



- Тщательные исследования в 60-х годов XX века выявили абиогенное происхождение этих органических соединений, возникших в условиях Космоса.



- Возникшие в космических условиях органические вещества вошли в состав многих твердых тел.
-
- В метеоритах и их родоначальных телах – астероидах – химическая эволюция оказалась замороженной.
- **По многочисленным данным, органические вещества космического происхождения попали на растущую Землю на последних стадиях ее аккумуляции совместно с материалом углистых хондритов (составляют 40% массы Земли).**
- Именно на Земле реализовались возможности их биологической эволюции.



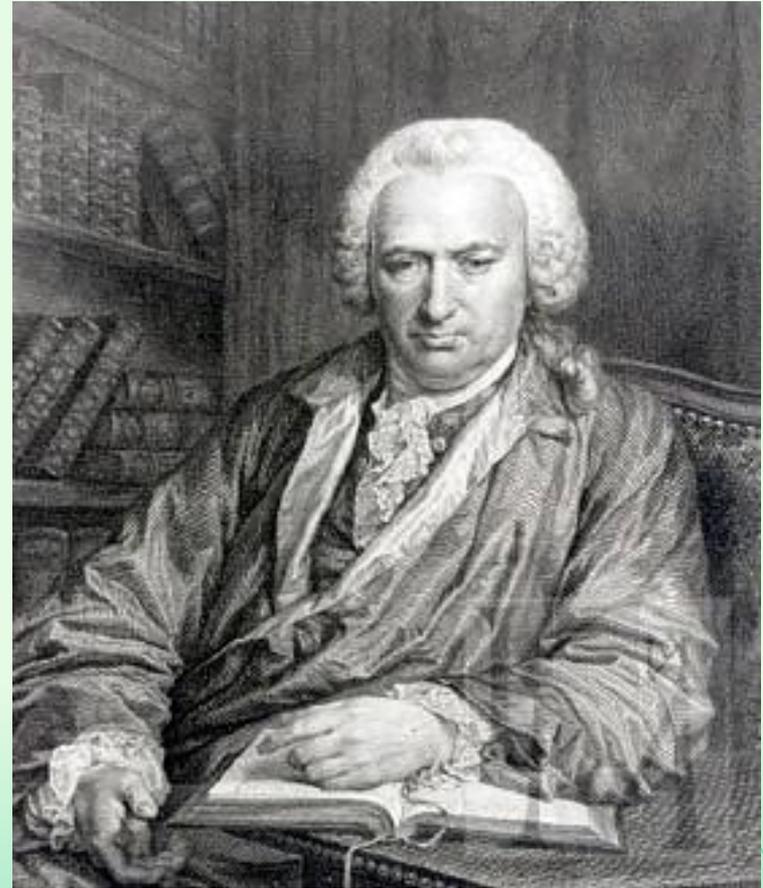
Остается неясным вопрос, насколько далеко продвинулась химическая эволюция органического вещества в космических условиях

Возможны два пути решения этой проблемы:

- либо химическая эволюция, начавшись в космических условиях, продолжалась в условиях Земли и в относительно короткие сроки привела к возникновению примитивных живых организмов;
- либо образование первых сложных молекул ДНК, лежащих в основе наследственности, произошло в космических условиях, а полная реализация возможностей ДНК наступила в первых водоемах нашей планеты, содержащих растворенное органическое вещество, здесь появились саморазвивающиеся высокомолекулярные соединения, и был создан генетический код.

«ЭВОЛЮЦИЯ» происходит от латинского **«evolutio»** - развертывание; постепенный, закономерный переход из одного состояния в другое.

Термин **«ЭВОЛЮЦИЯ»** впервые ввел в 1762 г. швейцарский натуралист и философ **Шарль Бонне (1720 –1793)**



- Многие биологи-эволюционисты пришли к выводу, что «органическая эволюция — это, прежде всего эволюция биосферы, в которую каждый вид вносит свой специфический вклад» (Wahlert, 1978).
-
- Учение об эволюции биосферы и составляющих ее биогеоценозов в будущей эволюционной теории должно «занимать не меньший объем, чем сегодня занимает учение о микроэволюции» (Яблоков, Юсуфов, 1981)
- Эволюция - это необратимое и, в известной мере, направленное историческое развитие живой природы во времени, сопровождающееся изменением генетического состава популяций, возрастанием разнообразия организмов, формированием адаптации, образованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и биосферы в целом (Колчинский, 1990).

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОСФЕР

- Эволюция биосферы трактуется как возникновение под воздействием органической эволюции необратимых изменений в химическом составе ее компонентов и процессах миграции атомов (Колчинский, 1990).
- Многие биологи-эволюционисты пришли к выводу, что «органическая эволюция — это, прежде всего эволюция биосферы, в которую каждый вид вносит свой специфический вклад» (Wahlert, 1978).
- Речь идет о преобразовании газового состава атмосферы, химических свойств гидросферы и осадочных пород литосферы, почвообразования и т.д. под воздействием органической эволюции.

ЭВОЛЮЦИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

1. Первоначальную атмосферу Земли

составляли главные газы протопланетного облака: H_2 – 93%, He – 6-7%, полученные от Солнечной галактики.

Содержание неона – пренебрежимо мало.

Эти газы были потеряны в космическое пространство (диссипация).



В большинстве работ предполагается, что:

- масса первичной атмосферы была очень незначительна,
- механизмы, приводящие к потере атмосферы, преобладали над сравнительно слабыми источниками газов.
- первичная атмосфера была полностью рассеяна до возникновения вторичной атмосферы Земли.

ОБРАЗОВАНИЕ НОВОЙ – ВТОРИЧНОЙ – АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

- происходило за счет новых газов, которые выделялись из недр Земли в результате вулканической деятельности
- выделение газов увеличивалось по мере разогрева планеты
- **2. Стадия начала вулканической активности Земли и ее разогрева:**
- ранняя вторичная атмосфера Земли состояла, главным образом, из паров **H₂O** и **CO₂**, небольшое количество **N₂**, а также **H₂**, количество которого определялось балансом между его поступлением при вулканической активности и потерей молекул в процессе диссипации.

3. Переходная стадия

- **поверхность Земли имела $T \geq 100^{\circ}\text{C}$,**
 - атмосфера в эту стадию соответствовала по составу вулканическим газам: 90-98% - H_2O ,
 - 2-10% остальные газы: главный компонент был CO_2 , а в виде примесей – H_2 , CO , H_2S , N_2 , CH_4 .

- **поверхность Земли при оптимальном разогреве имела $T \leq 100^{\circ}\text{C}$**
 - происходила конденсация паров воды, приводящая к накоплению океанов на поверхности Земли.
 - переход значительной части паров H_2O из атмосферы в жидкую фазу привел к доминированию в составе атмосферы CO_2 .
 - формирование углекислотной атмосферы сопровождалось накоплением в ней химически инертного азота.

4. Современная (биогенная) стадия

Центральным событием в истории биосферы считается:

- постепенное развитие фотосинтеза
- изменение химического состава атмосферы за счет потребления CO_2 и выделения O_2
- переход от первоначально восстановительной атмосферы к кислородной и коренное изменение геохимической обстановки на Земле
- главными компонентами стали N_2 и O_2



ПРИНЯТАЯ НА СЕГОДНЯ КАЧЕСТВЕННАЯ КАРТИНА ЭВОЛЮЦИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

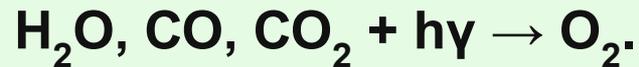
В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ ПОДРАЗДЕЛЯЕТСЯ НА 4 СТАДИИ:

Стадии эволюции	Основные газы	Газы с низкой концентрацией
Первоначальная низкотемпературная стадия эволюции атмосферы Земли	H_2, He, Ne Начало докембрия. Газы протопланетного облака, полученные от Солнечной системы в период образования протопланеты. Диссипация. Восстановительный этап.	$N_2, CO, Ar \dots$
Стадия начала вулканической активности Земли и ее разогрева, $T \geq 100^\circ C$	H_2O, CO_2 Вулканические газы, 90-98%, H_2O , 2-10% CO_2 Бескислородный этап	$N_2, H_2, CO, CH_4, H_2S, Ar \dots$
Переходная стадия $T \leq 100^\circ C$	CO_2, N_2 Бескислородный этап, пары H_2O конденсируются, накопление океанической воды	$H_2O, O_2, CH_4, Ar \dots$
Современная (биогенная) стадия	N_2, O_2 Кислородный этап (начало ~ 2-2,3 млрд. лет назад)	$CO_2, Ar \dots$, др.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ ПЛАНЕТЫ

□ КИСЛОРОД (O₂)

1) **Абионенный источник** O₂ - фоторазложение в верхних слоях атмосферы:



□ Эти малые количества O₂ быстро расходовались на окисление других газов.

2) **Биогенный источник - фотосинтезирующая деятельность** растений в верхних горизонтах океана на глубине фотического слоя обеспечила накопление свободного O₂ :



□ Количество свободного O₂ кислорода в атмосфере стало возрастать, но масса O₂ в атмосфере была незначительной (он расходовался почти целиком на окисление органических и минеральных веществ, включая недоокисленные газы, поступающий в атмосферу из недр Земли).

ГИПОТЕЗА БЕРКНЕРА И МАРШАЛЛА (1064-1965).

получила дальнейшее развитие в трудах Баринова (1972), Будыко (1975, 1977, 1984 и др.) и Добродеева (1975)

- На основе данных эволюционной палеонтологии выделен ряд переломных моментов в истории атмосферы, оказавших огромное воздействие на эволюцию жизни.
- В течение долгого времени существования биосферы насыщение ее атмосферы O_2 шло очень медленно, точка Пастера (1% O_2 от его современного содержания) была достигнута лишь к началу фанерозоя.
- Вторая критическая точка (дополнительное число Пастера – 10%) в накоплении O_2 достигнута в конце силура, что дало возможность жизни выйти на сушу.
- В карбоне содержание O_2 было максимальным (в 2-3 больше современного). Затем произошло резкое его снижение.
- И лишь в мезозое устанавливаются концентрации, близкие к современным.
- Предполагается, что рост концентрации свободного O_2 в атмосфере вел к освоению новых регионов биосферы и к бурной адаптивной радиации жизни, к биогенной регуляции климата путем воздействия растительности на газовый состав атмосферы.

ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ БИОСФЕРЫ

- Возрастающая концентрация O_2 резко расширило пространственные границы биосферы и обеспечила захват жизнью новых экологических зон.
- Превращение же дыхания в главный способ окисления органических соединений **повысило эффективность энергетических процессов в организмах, общую активность их жизнедеятельности**, а тем самым и общую интенсивность биогеохимических и энергетических процессов в биосфере.
- Следствием такого хода событий, приведших к азотно-кислородной атмосфере, стало **образование озонового слоя планеты**, который рассматривался Вернадским как один из адаптационных механизмов биосферы.

РОЛЬ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УЧЕНЫХ В ИЗУЧЕНИИ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ

- Советские ученые внесли существенный вклад в изучение основных тенденции в преобразовании газового состава атмосферы.
- Результаты многолетних исследований эволюции атмосферы подтвердили в целом идеи Вернадского о биогенном происхождении основных компонентов биосферы и о регуляции ее газового состава жизнедеятельностью организмов.
- Сформулирована мысль о тесной взаимосвязи процессов преобразования газового состава атмосферы, климата и эволюции органического мира.
- Остается неясным количественное соотношение биогенного и абиогенного кислорода в современной атмосфере.

ВЫВОДЫ

- Земля сравнительно быстро потеряла свою первичную оболочку (H_2 , He) в силу высокой летучести составляющих ее газов.
- Вторичная атмосфера формировалась за счет дегазации недр по мере разогрева планеты

Состав вторичной атмосферы сильно менялся во времени:

- восстановительный этап (H_2O , $CO_2 \rightarrow CO_2$, N_2) ;
- кислородный этап (N_2 , O_2) относится ко времени 2 -2,3 млрд. лет назад.

Уникальность эволюции атмосферы Земли в течение млрд. лет состоит в следующем:

- 1). В создании механизмов изъятия CO_2 из атмосферы на границе с жидким Мировым океаном с образованием карбонатных отложений.
- 2). В изъятии CO_2 из атмосферы фотосинтезирующими организмами.

