

# 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.

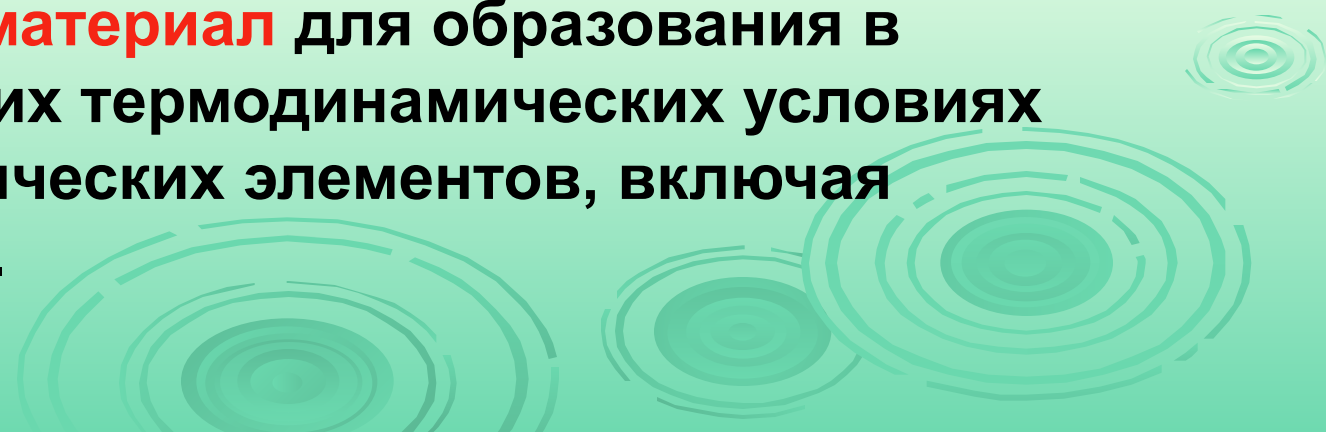
# Место планет Солнечной группы в Галактике (Млечный путь)

- ☐ 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

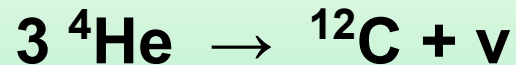
□ При температурах в десятки и сотни миллионов градусов из протонов и нейтронов синтезируются атомные ядра атомов различных масс.

□ 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  $\alpha$  - 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:

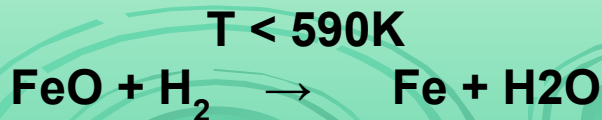
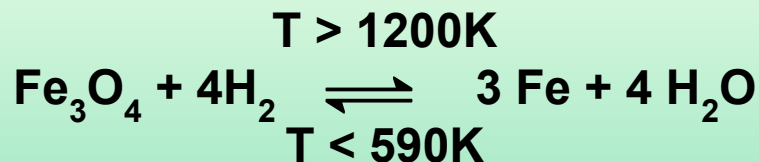
- по мере удаления от Солнца и остывания газа солнечного состава стали возникать примитивные химические соединения
- более удаленные планеты конденсировались быстрее и при более низких температурах
- под действием давления солнечных лучей самые легкие газовые компоненты первичного протопланетного облака 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:

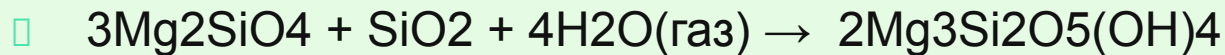
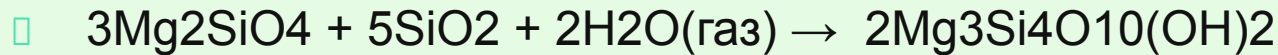
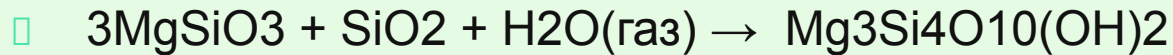
- в близких к Солнцу планетах содержится больше металлического железа, нежели в более отдаленных: Меркурий на 3/4 состоит из металлической фазы (Fe, Ni), Венера и Земля – на 1/3, а Марс – на 1/4 (железо находится уже в окисленном состоянии – в составе оксидов, силикатов)
- степень окисления железа в 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.

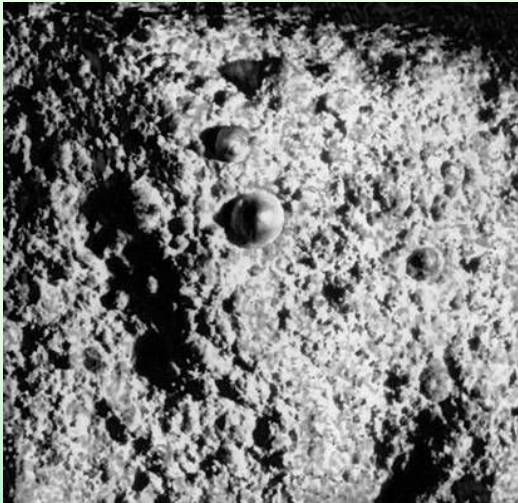
Их высокая адсорбционная способность, по-видимому, определила внедрение в планеты земной группы с помощью пылевой фазы летучих элементов и их соединений, воспрепятствовав их переносу в краевые части Солнечной системы.

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.

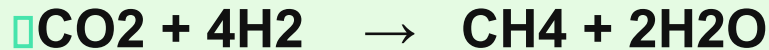
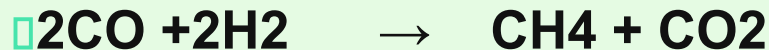
# ОСНОВНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ, ИДЕНТИФИЦИРОВАННЫЕ В МЕТЕОРИТАХ ТИПА УГЛИСТЫХ ХОНДРИТАХ

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

# ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ПУТИ СИНТЕЗА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

## Реакция Миллера-Юри

□ По мере охлаждения Солнечной туманности возникали простейшие соединения атомов наиболее распространенного элемента – водорода с углеродом



□ Из смеси  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ , паров  $\text{H}_2\text{O}$  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 + H<sub>2</sub> 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.**



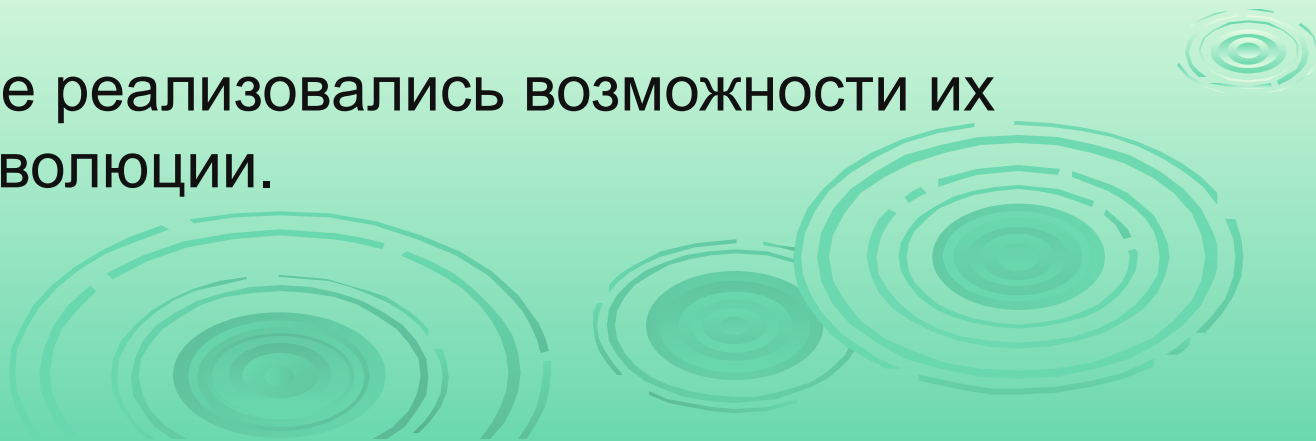
**Под микроскопом замечено:  
органические вещества метеоритов  
присутствуют в виде округленных  
флюоресцирующих частиц диаметром 1-3 мкм,  
в центре которых найдены ядрышки магнетита  
или гидратированного силиката.**



- 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 **H<sub>2</sub>O** и **CO<sub>2</sub>**, небольшое количество **N<sub>2</sub>**, а также **H<sub>2</sub>**, 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% -  $\text{H}_2\text{O}$ ,
  - 2-10% остальные газы: главный компонент был  $\text{CO}_2$ , а в виде примесей –  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ .
- **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  $\text{H}_2\text{O}$  из атмосферы в жидкую фазу привел к доминированию в составе атмосферы  $\text{CO}_2$ .
  - 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  $\text{CO}_2$  и выделения  $\text{O}_2$
- переход от первоначально восстановительной атмосферы к кислородной и коренное изменение геохимической обстановки на Земле
- главными компонентами стали  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$



# ПРИНЯТАЯ НА СЕГОДНЯ КАЧЕСТВЕННАЯ КАРТИНА ЭВОЛЮЦИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

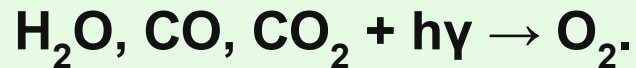
В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ ПОДРАЗДЕЛЯЕТСЯ НА 4 СТАДИИ:

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 (O<sub>2</sub>)

1) **Абионенный источник** O<sub>2</sub> - фоторазложение в верхних слоях атмосферы:



□ Эти малые количества O<sub>2</sub> быстро расходовались на окисление других газов.

2) **Биогенный источник - фотосинтезирующая деятельность** растений в верхних горизонтах океана на глубине фотического слоя обеспечила накопление свободного O<sub>2</sub> :



□ Количество свободного O<sub>2</sub> кислорода в атмосфере стало возрастать, но масса O<sub>2</sub> 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.

