

**С.М.Судариков**  
**Гидрогеохимия**

**Гидрогеохимические  
классификации**

# Классификация по минерализации

**1 г/кг = 1000 мг/кг = 1000 ppm = 0,1 % = 1 ‰  
0; г/кг = г/дм<sup>3</sup> (л)/ρ**

- < 1 г/ дм<sup>3</sup> – пресные воды (зона А)
- 1-35 г/ дм<sup>3</sup> – соленые воды (зона Б)
- 35-650 г/ дм<sup>3</sup> – рассолы (зона В)

## Классификации по преобладающим ионам

С.А.Щукарев, А.А.Бродский. Н.И.Толстихин,  
К.Е.Питьева

- Классификация О.А.Алекина

классы C,S,Cl; группы Ca,Mg,Na

ТИПЫ (с дополнениями Е.В.Посохова)

Истоки классификации :

карбонатные равновесия в  
речных водах.

## Классификация В.А.Сулина (по характерным солям)

- гидрокарбонатно-натриевый тип
- сульфатно-натриевый тип
- хлор-магниевый тип
- хлор-кальциевый тип
- Генетические истоки классификации В. А.Сулина. Наблюдения на нефтяных месторождениях Кавказа, Вост. Сибири

# Классификация Н.С. Курнакова-М.Г.Валяшко

Карбонатный, сульфатный, хлоридный  
типы природных вод.

Истоки. Исследования формирования  
соляных месторождений, проводившиеся  
в тридцатые годы.

<b>В.А.Сулин, 1946</b>	<b>О.А.Алекин, 1946</b>	<b>Н.С.Курнаков -М.Г.Валяшко 1932</b>	<b>Н.И.Толсти- хин, 1935</b>
<b>Гидро- карбонат- но- натриевый</b>	<b>I</b>	<b>карбонат- ный</b>	<b>содовый</b>
<b>сульфатно- натриевый</b>	<b>II</b>	<b>суль-</b>	<b>Мирабилит о-вый</b>
<b>хлор- магниевый</b>	<b>IIIa</b>	<b>фатный</b>	<b>океанский</b>
<b>хлор- кальцие- вый</b>	<b>IIIb</b>	<b>хлоридный</b>	<b>с CaCl<sub>2</sub></b>
	<b>IV</b>		<b>кислый</b>

# Кислород (O<sub>2</sub>)

- Объемная доля кислорода в воздухе составляет 20,9 %. Растворимость кислорода (при 0 °С и парциальном давлении 0,1 МПа) 49,2 мл/л, или 70,3 мг/л (34 мл/л). В равновесии с воздухом может находиться  $70,3 \cdot 0,209 = 14,7$  мг/л кислорода.
- Близкие к этому значения содержания кислорода и характерны для поверхностных и грунтовых вод. Главный источник растворенного в воде кислорода – воздух.

В недрах кислород расходуется на окисление органич. веществ, Fe, сульфидов.

- Участие аэробных бактерий приводит к появлению в подземных водах биогенного  $\text{CO}_2$
- Выпадают в осадок оксиды и гидроксиды Fe, цементирующие горные породы.
- Формируются зоны окисления и вторичного обогащения на сульфидных месторождениях.
- В результате кислород быстро расходуется и на глубинах первых сотен метров его содержание обычно не превышает



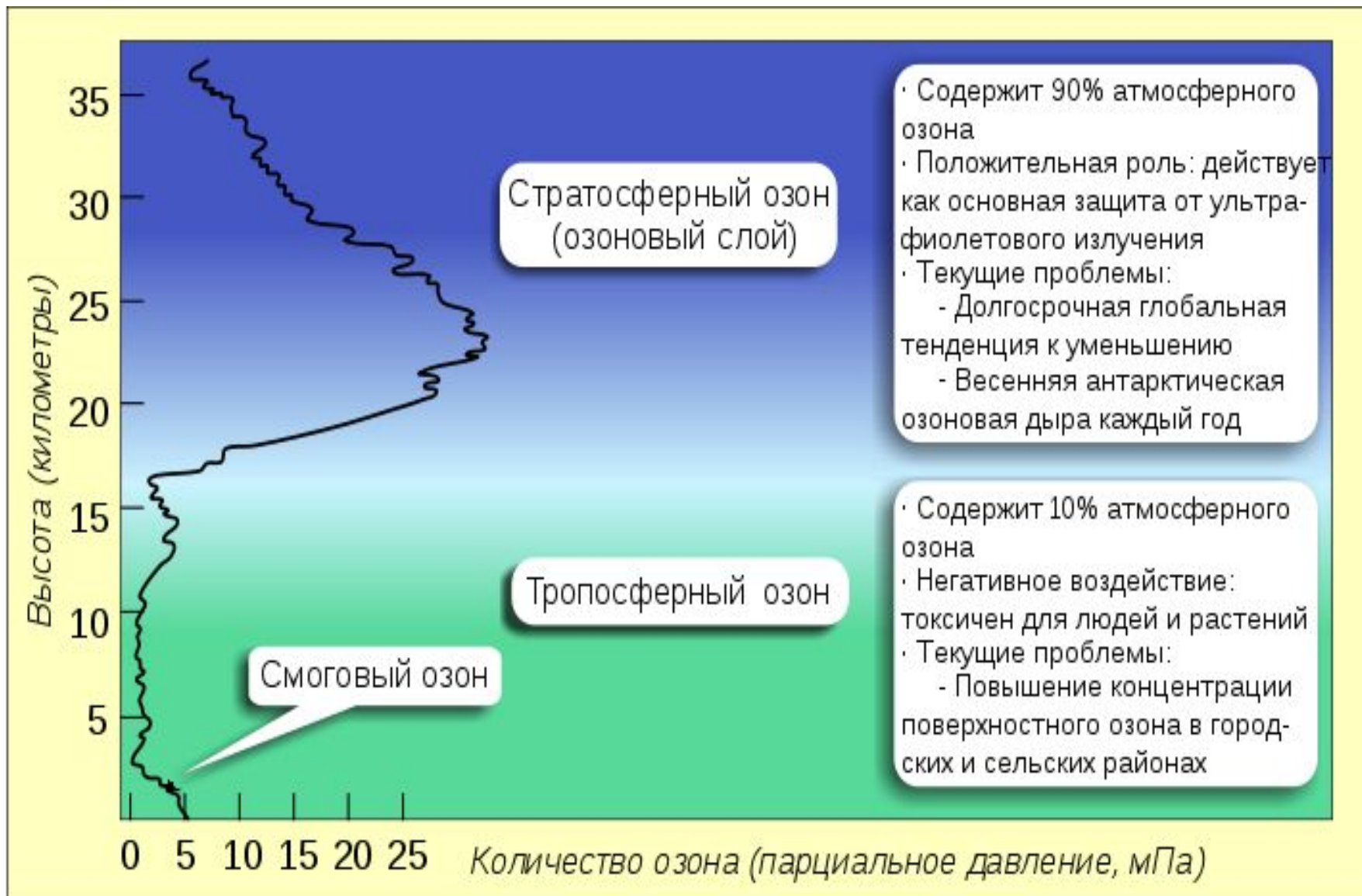
# Озон ( $O_3$ ) (от др-греч ὄζω — пахну)

- Впервые озон обнаружил в 1785 г. голландский физик М. ван Марум по характерному запаху и окислительным свойствам, которые приобретает воздух после пропускания через него электрических искр. Термин *озон* предложен немецким химиком Х.Ф. Шёнбейном в 1840 г., вошёл в словари в конце XIX века.

# Распределение озона

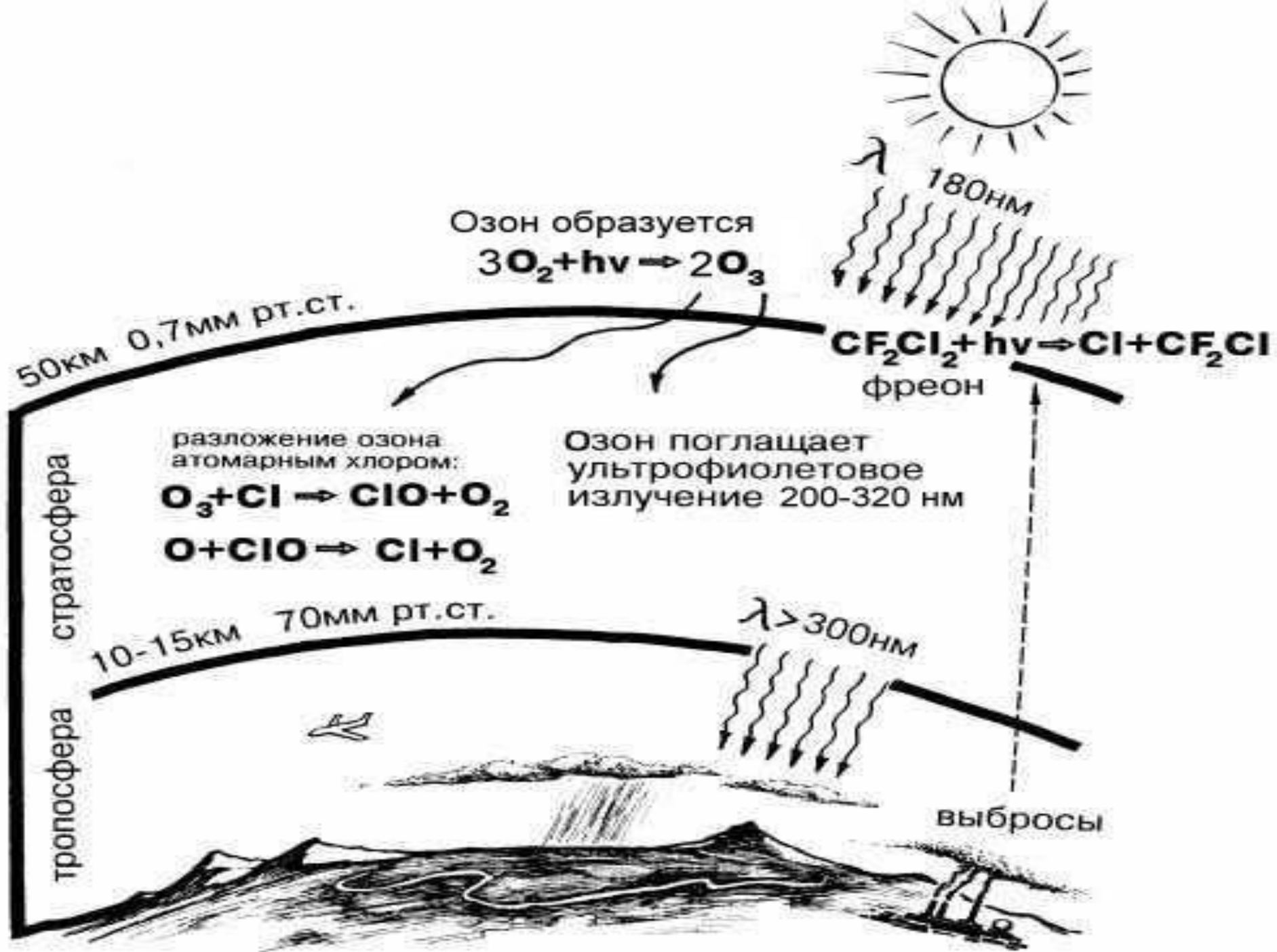
- В воздухе на поверхности Земли  $1 \cdot 10^{12}$  см<sup>-3</sup> (молекул в куб.см газа).
- На высоте 15-25 км в 3 раза больше.
- В полярных широтах до  $5 \cdot 10^{12}$  .
- Это и есть озоновый слой, сформировавшийся в силуре, когда количество кислорода в атмосфере достигло около 10 % от современного.

# Распределение озона



# Образование

- Озон образуется под действием ультрафиолетовых лучей с длиной волны менее 180 нм. УФ-свет с большей длиной волны (около 320 нм), наоборот, способствует разложению озона. Поверхности Земли достигают только те ультрафиолетовые лучи, которые не опасны для живых организмов.



50км 0,7мм рт.ст.

Озон образуется  
 $3\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{O}_3$

$\lambda$   
180нм

$\text{CF}_2\text{Cl}_2 + h\nu \rightarrow \text{Cl} + \text{CF}_2\text{Cl}$   
фреон

разложение озона  
атомарным хлором:  
 $\text{O}_3 + \text{Cl} \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$   
 $\text{O} + \text{ClO} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$

Озон поглощает  
ультрофиолетовое  
излучение 200-320 нм

10-15км 70мм рт.ст.

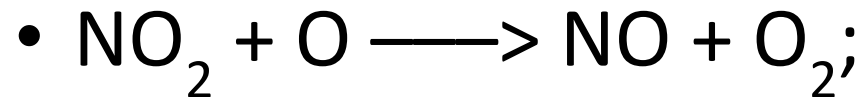
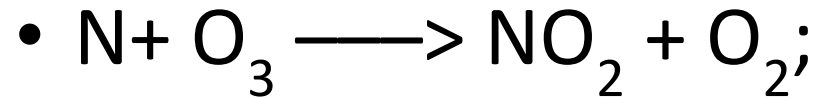
$\lambda > 300\text{нм}$

выбросы

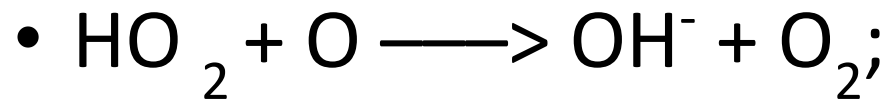
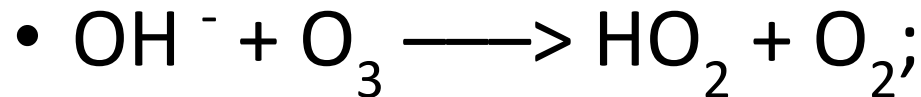
стратосфера  
тропосфера

# Причины разрушения озонового слоя:

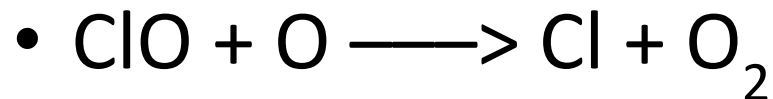
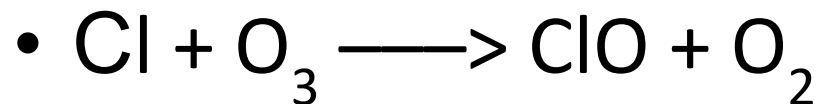
- самолеты, ядерные взрывы:



- подъем крупных ракет:



- фреоны: F-11 –  $CCl_3F$ ; F-12 –  $CCl_2F_2$  и др.



# Углекислый газ (CO<sub>2</sub>)

- В воздухе: начало века – 0,030 %; семидесятые годы 0,033, теперь около 0,04. То есть, содержание углекислого газа в воздухе невелико.
- Растворимость CO<sub>2</sub> довольно высокая. При 0 °С и давлении 0,1 МПа составляет 1713 мл/л, или 3350 мг/л. Однако, количество углекислого газа в воде, находящегося в равновесии с воздухом, составит  $3350 \cdot 0,00033 = 1,1$  мг/л. Воды, находящиеся в соприкосновении с атмосферой содержат относительно мало

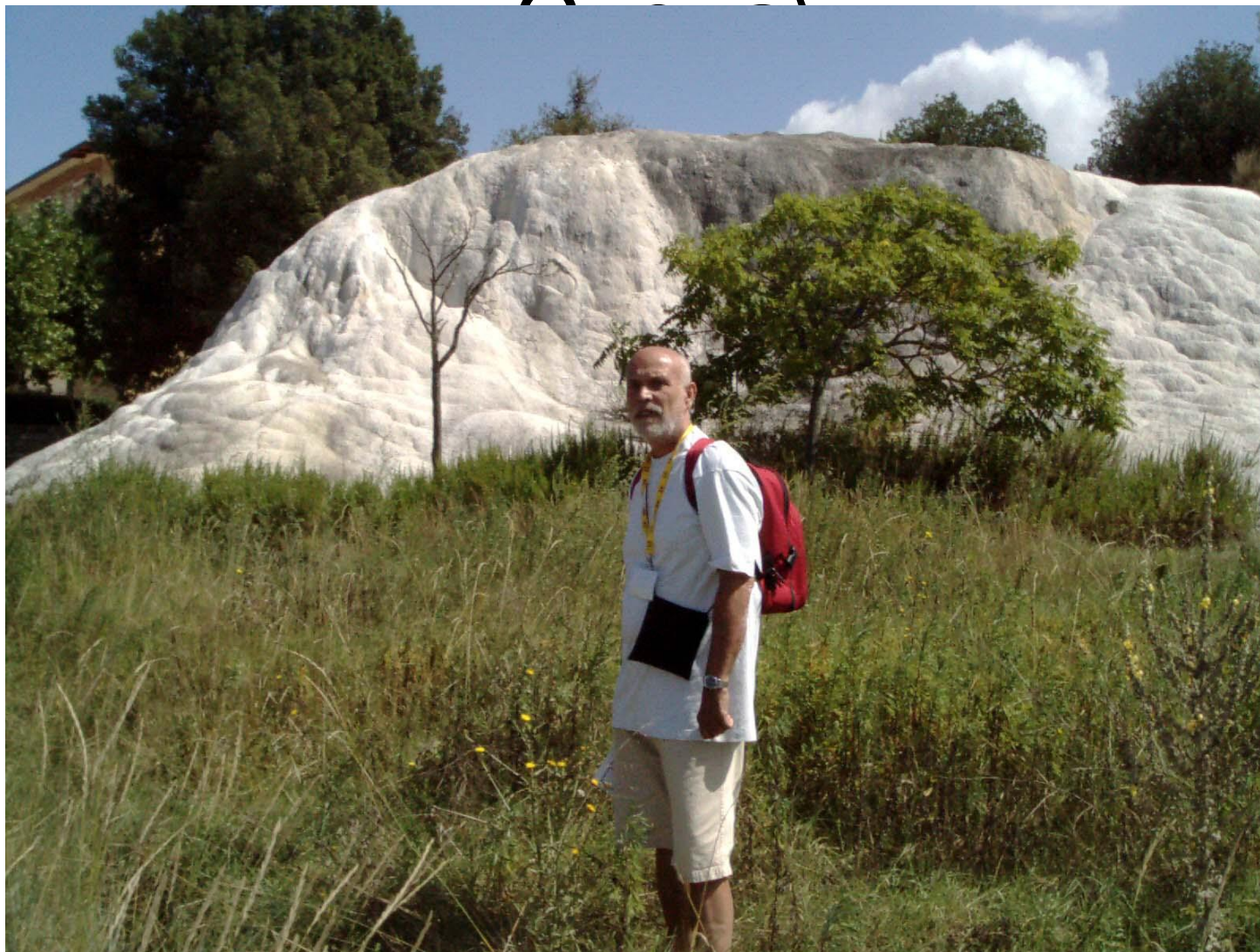
- Подземные воды содержат значительно большее количество углекислого газа. Является обязательным компонентом большинства природных вод.
- Процессы окисления органического вещества, сульфатредукции, продуцируют углекислый газ, содержание которого в почвенном воздухе составляет обычно десятые доли процента и даже первые проценты.
- Соответственно увеличивается и содержание углекислого газа в грунтовых водах, составляющее обычно от 20–30 до 200–300 мг/л



Другим мощным источником  $\text{CO}_2$  в недрах являются процессы термального метаморфизма горных пород

- На всех стадиях термального метаморфизма происходят физико-химические процессы, продуцирующие  $\text{CO}_2$  при температурах от 100 до 800–1100 °С и давлениях от 100–200 до 1000–1500 МПа.
- Выделяющийся газ поднимается по зонам тектонических нарушений и, смешиваясь с подземными водами различного генезиса, формирует широкую гамму углекислых вод, разного химического состава.

видеомощности  $\text{CO}_2$  в долине  
тектонического нарушения создает  
травертиновый хребет (вблизи г.



**Травертин** - (синоним — известковый туф) — легкая пористая (ячеистая) порода, образовавшаяся в результате осаждения карбоната кальция из горячих или холодных углекислых источников.





Концентрация углекислого газа в таких водах зависит от его парциального давления и температуры и обычно составляет 1–3 г/л, в редких случаях достигает 15–20 г/л.



# $\text{CO}_2$ скапливается в понижениях рельефа



# Аргон (Ar)

- Является постоянной составляющей газового состава природных вод. Содержание аргона в воздухе по объему составляет 0,93 %. Растворимость аргона при 0 °С и давлении 0,1 МПа составляет 57,8 мл/л, или 107,8 мг/л
- Вода, находящаяся в равновесии с воздухом, содержит около 0,96 мг/л аргона.
- Соотношения, изотопов аргона, в воздухе:  
 $^{36}\text{Ar}; ^{38}\text{Ar}; ^{40}\text{Ar} : 0,337; 0,063; 99,600 \%$ .  $^{40}\text{Ar} / ^{36}\text{Ar} = 295,6$ .



Поскольку Ar как благородный газ не вступает в реакции с горными породами, его содержание в воздухе служит показателем доли атмосферного газа в природных водах

- $^{40}\text{Ar}$  радиог. =  $\sum ^{40}\text{Ar} - ^{40}\text{Ar}$  возд.
- Содержание радиогенного аргона в источниках Камчатки в 1/3 проб 3-10%.  
Нефтяные газы Ферганы – 100-120 ppm.  
Источники накопления радиогенного аргона – мантия, радиоактивный распад.
- Использование – индикатор воздушной составляющей ( $\text{Ar}/\text{N}_2$ ;  $\text{He}/\text{Ar}$ ) Изменение соотношения изотопов аргона в воде используется при прогнозе землетрясений.

# Гелий (He).

- Это один из самых распространенных во Вселенной газов, составляющий 23 % от общей массы звезд, планетарных туманностей и межзвездного газа. На Земле распространенность гелия ниже на 10 порядков. Содержание гелия в воздухе невелико и объемная доля составляет  $5,24 \cdot 10^{-4} \%$  ( $\sim 0,0005 \%$ ).
- Растворимость гелия при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении  $0,1 \text{ МПа}$   $9,7 \text{ мл/л}$ , или  $1,73 \text{ мг/л}$ . В нормальных условиях  $7 \text{ мг/л}$ . Относительно малая распространенность гелия на Земле объясняется его диссипацией, в особенности в начальный период формирования нашей планеты.



# Гелий как индикатор возраста и генезиса воды

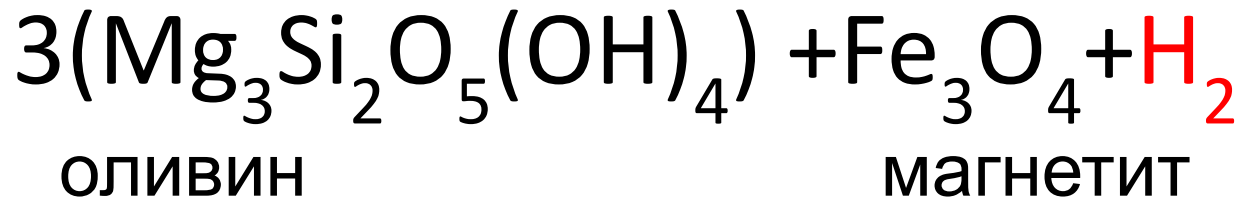
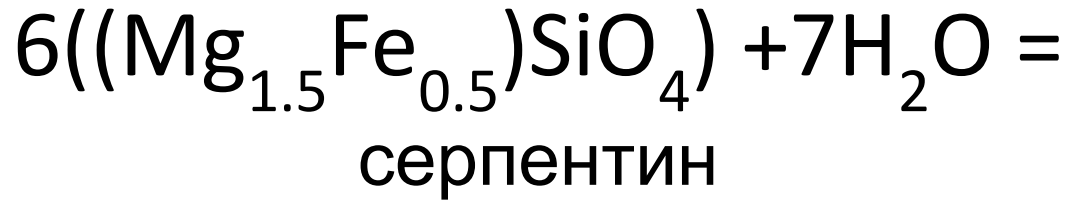
- $\text{He}/\text{Ar}$  для воздуха около 0,0005. Накопление – радиоактивный распад калийсодержащих минералов.
- Отсюда гелий-аргоновый метод определения возраста подземных вод. Для "древних" вод содержание гелия может достигать первых процентов.
- Много "помех", затрудняющих использование гелий-аргонового метода, связанных с другими источниками поступления гелия. На урановых м-иях содержание гелия может быть очень высоким. Золото-урановое месторождение Витватерсранд (Ю.Африка) – 13,5 %.

- Гелий имеет два стабильных изотопа –  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$ , причем содержание тяжелого изотопа всегда на несколько порядков выше.
- Для первичного (мантийного) гелия отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  составляет примерно  $10^{-4}$ .
- Гелий, образующийся в результате радиоактивного распада урана и тория в литосфере (коровый), характеризуется  $^3\text{He}/^4\text{He} = 10^{-8}$ .
- Отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  для природных вод находятся в промежутке между этими значениями и являются генетическим признаком, помогающим исследовать происхождение тех или иных их разновидностей.

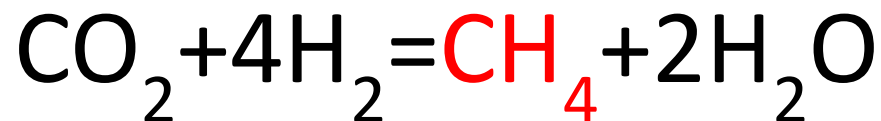
# Водород (H<sub>2</sub>)

- Водород – самый распространенный элемент Вселенной. В земных условиях водород распространен прежде всего в виде соединения с кислородом – воды, а газ H<sub>2</sub> присутствует только на значительных глубинах. В воздухе 10<sup>-4</sup> %.
- Растворимость водорода близка к растворимости азота и составляет при 0 °С и давлении 0,1 МПа 21,5 мл/л (1,9 мг/л).
- Водород может продуцироваться в недрах Земли в восстановительной обстановке. Значительные содержания водорода могут встречаться в водах современных океанических рифтов. Здесь под влиянием мантийных расплавов могут формироваться парогидротермы, в газовом составе которых объемные содержания водорода могут достигать нескольких десятков процентов.
- Установлено, что под влиянием процессов серпентинизации ультраосновных (мантийных) пород в гидротермальных системах Срединно-Атлантического хребта продуцируется водород и метан.

Влияние процессов серпентинизации ультрабазитов на формирование состава флюидов прослеживается по реакции (Charlou et al., 2002; Леин и др., 2003):



с последующим образованием  $\text{CH}_4$  при взаимодействии генерируемого водорода и растворенного в морской воде диоксида углерода



- Наиболее яркие проявления таких вод описаны для современной рифтовой зоны Исландии ("водородные" термы, до 32 % водорода).
- Газовые включения в минералах:
- Верхнекамское калийное месторождение, карналлит: 19 % водорода, 31,6 % метана.
- Алмазы Якутии: 22 % водорода, 64,6 % метана.