

# Тема 18. Геохимия гидросферы

# Вода – важнейший для человечества природный ресурс

Вид природного ресурса	Мировое потребление, млрд. т/год
Вода	5000
Горючие полезные ископаемые, суммарно	14
Железо	3,3
Древесина	1,8
Цемент	4
Продукты питания (оценочно)	6

# Строение гидросферы

Часть гидросферы	Объем воды, млн. куб. км	Доля в мировых запасах, %
Мировой океан	1335	92,23
Подземные воды	90	6,13
Ледники	24	1,63
Озера и реки	0,2	0,014
Вода в атмосфере	0,013	0,0009
Всего:	1469	

# Строение гидросферы (с позиций водопотребления)

Часть гидросферы	Объем воды, млн. куб. км		Доля в мировых запасах пресной воды, %
	соленая	пресная	
Мировой океан	1335		
Подземные воды	80	10,5	30,3
Ледники		24	69.3
Озера	0,2	0,12	0.35
Реки		0,002	<b>0,006</b>
Вода в атмосфере		0,013	0.04
Всего:	1415	34,6	

Мировое водопотребление, в год

0,005



Принцип В.И.Вернадского  
 Единство природных вод  
 обеспечивается обменом  
 веществом между частями  
 гидросферы.

## **Свойства воды, определяющие ее роль в геохимических процессах**

1. Вода – прекрасный растворитель для веществ с ионным типом связи.
2. Вода – хороший переносчик вещества и энергии, за счет небольшой вязкости она обеспечивает транспорт вещества, как конвективный, так и диффузионный.
3. Водная среда ускоряет протекание химических реакций.

Состав природных вод варьирует в широких пределах: по суммарной минерализации от 20 мг/кг до более 400 г/кг.

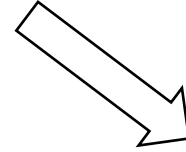
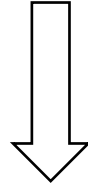
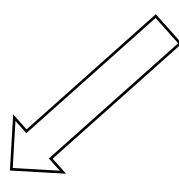
При этом основные растворенные компоненты – это **Na, K, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl**. Доля остальных компонентов обычно менее 1 % отн.

## Ограничения разнообразия составов природных вод – принципы М.Г.Валяшко.

1. Все главные растворенные элементы природных вод – главные элементы Земной коры (Na, K, Ca, Mg, -  $n$  %, C, S, Cl –  $0.0n$  %).
2. Накопление элементов в природных водах ограничено растворимостью их соединений с главными элементами Земной коры. (Поэтому Si, Al, Fe, Ti, Mn почти никогда не бывают главными в природных водах из-за низкой растворимости оксидов, силикатов, алюмосиликатов и др.)



# Формы нахождения элементов в природных водах



растворенные

коллоидные

взвешенные

Растворенная форма миграции в речных водах – преобладающая только у 7 химических элементов - Na, Ca, S, F, Cl, Br, I. В морской воде и подземных водах растворенная форма преобладает у всех макроэлементов и некоторых микроэлементов (7 приведенных выше + K, Sr, Li, C, и др.).

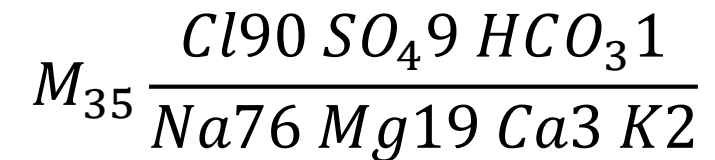
Многие микроэлементы переносятся во взвешенной форме не в собственных соединениях, а сорбированные на минеральных частицах главных элементов. Для коллоидных форм характерно большая доля природных органических веществ.

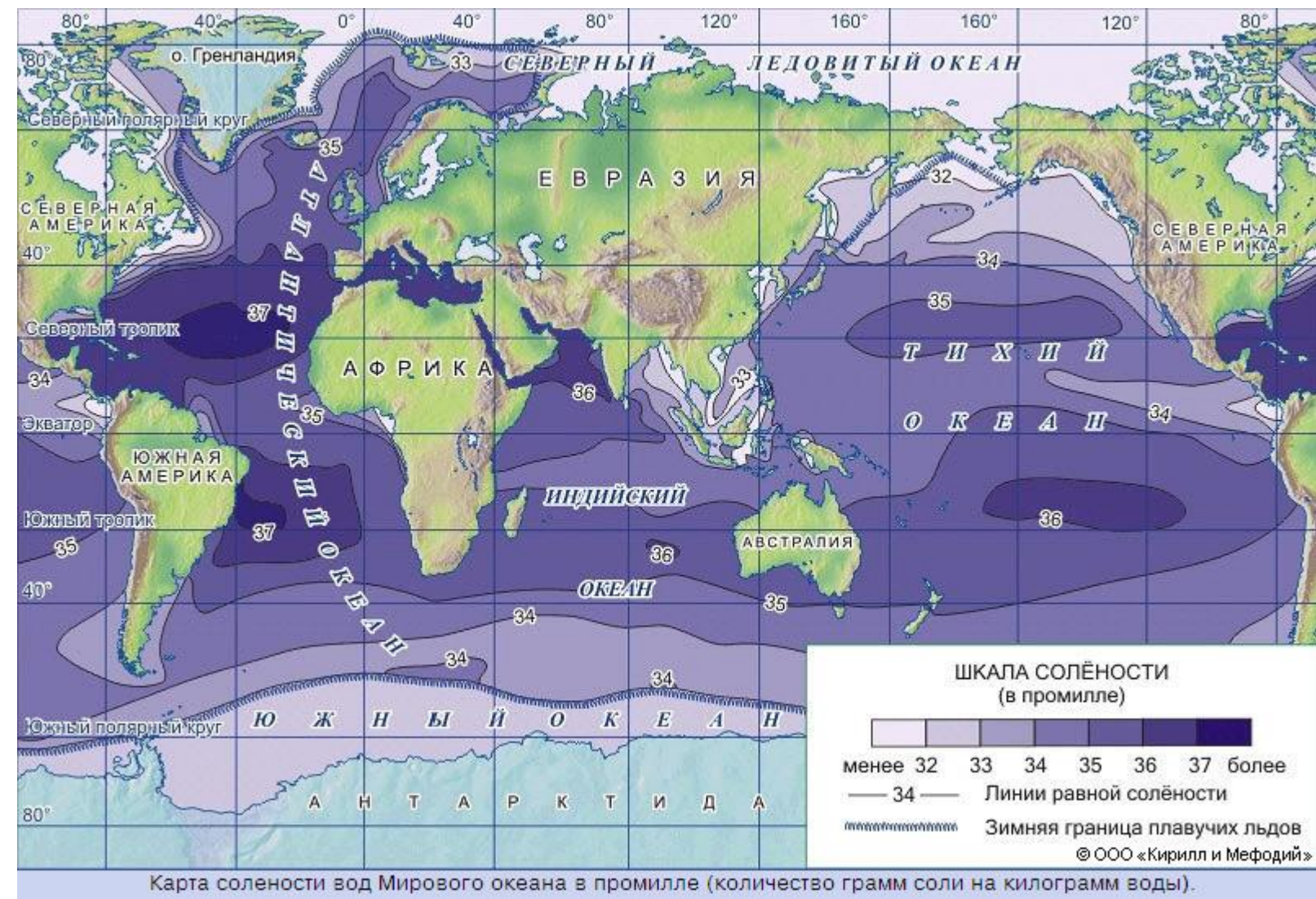
# Геохимия океана

Средний состав морской воды  
при  $S = 35\text{‰}$

Анионы		Катионы	
$\text{Cl}^-$	19.353	$\text{Na}^+$	10.76
$\text{SO}_4^{2-}$	2.712	$\text{Mg}^{2+}$	1.296
$\text{HCO}_3^-$	0.141	$\text{Ca}^{2+}$	0.712
$\text{Br}^-$	0.067	$\text{K}^+$	0.399
B	0.027	$\text{Sr}^{2+}$	0.008
$\text{F}^-$	0.001		

Формула Курлова для воды океана:





Карта солёности вод Мирового океана в промилле (количество грамм соли на килограмм воды).

Солёность поверхностного слоя воды Мирового океана подчиняется климатической и циркумконтинентальной зональности

# Геохимия океана

Средний состав морской воды  
при  $S = 35\text{‰}$

Анионы		Катионы	
Cl <sup>-</sup>	19.353	Na <sup>+</sup>	10.76
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.712	Mg <sup>2+</sup>	1.296
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.141	Ca <sup>2+</sup>	0.712
Br <sup>-</sup>	0.067	K <sup>+</sup>	0.399
B	0.027	Sr <sup>2+</sup>	0.008
F <sup>-</sup>	0.001		

Постоянство состава воды  
океана («закон Марсета»):

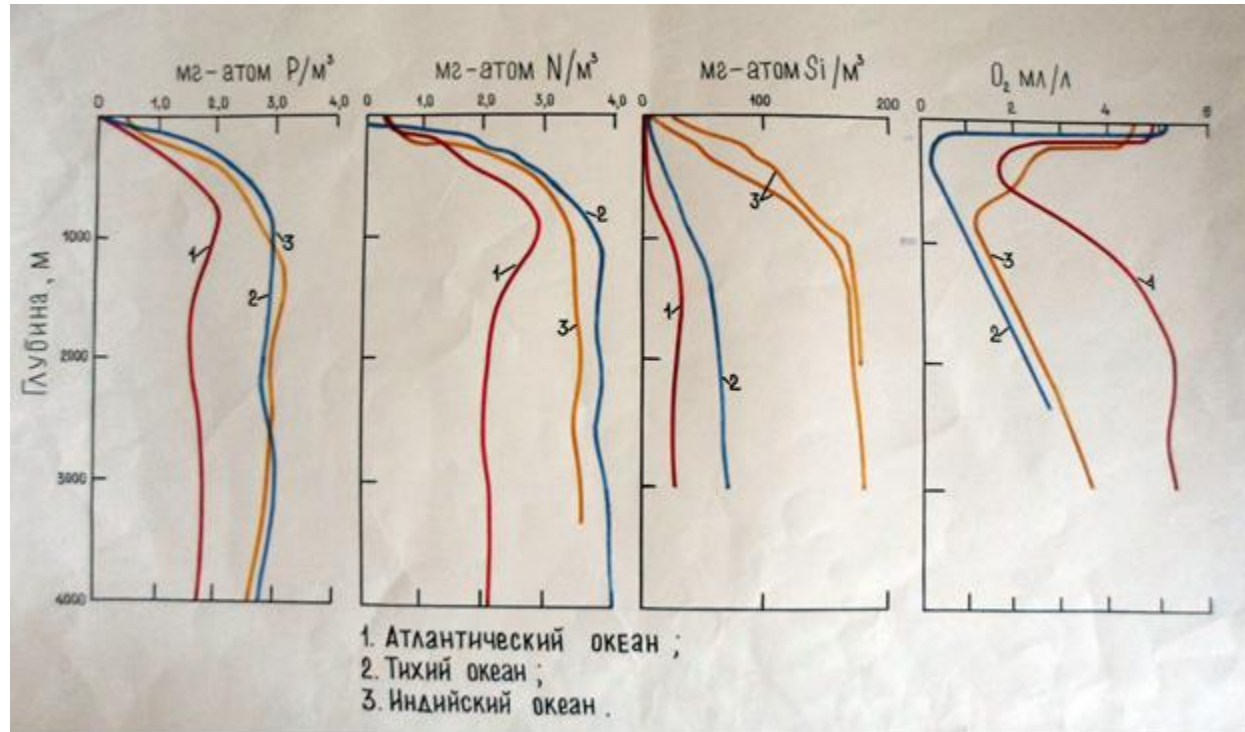
Отношения макрокомпонентов  
морской воды постоянны.

$$\text{Na/Cl} = 0.5560 \pm 0.0001$$

Причина постоянства – огромная  
масса океана.

При способности к быстрому  
перемешиванию ( $\tau \sim 35$  тыс. лет) и  
большом времени пребывания  
макроионов ( $\tau \sim 1-100$  млн. лет) состав  
океана успевает выравняться.

По микрокомпонентам постоянства состава морской воды нет из-за биологических процессов, а также гидролиза и сорбции.



Развитие планктона в фотическом слое приводит к «выеданию» минеральных форм биогенных элементов и продукции кислорода и органического вещества.

При погружении вглубь органических остатков они подвергаются деструкции морскими организмами, и биогенные элементы высвобождаются в воду.

Этот «биологический насос» захватывает многие микроэлементы благодаря высоким сорбционным свойствам органических взвесей.

В результате неравномерное распределение в толще воды характерно для многих микроэлементов.

# Эволюция состава океана во времени

Проблема источников информации.

1. Состав поровых вод океанских осадков.
2. Состав флюидных включений в ангидрите и галите древних солеродных бассейнов с морским питанием.
3. Изотопные отношения C, O, S, Sr, Ca, Cl, B и др. элементов в осадках морского генезиса.
4. Балансовые модели геохимических циклов.

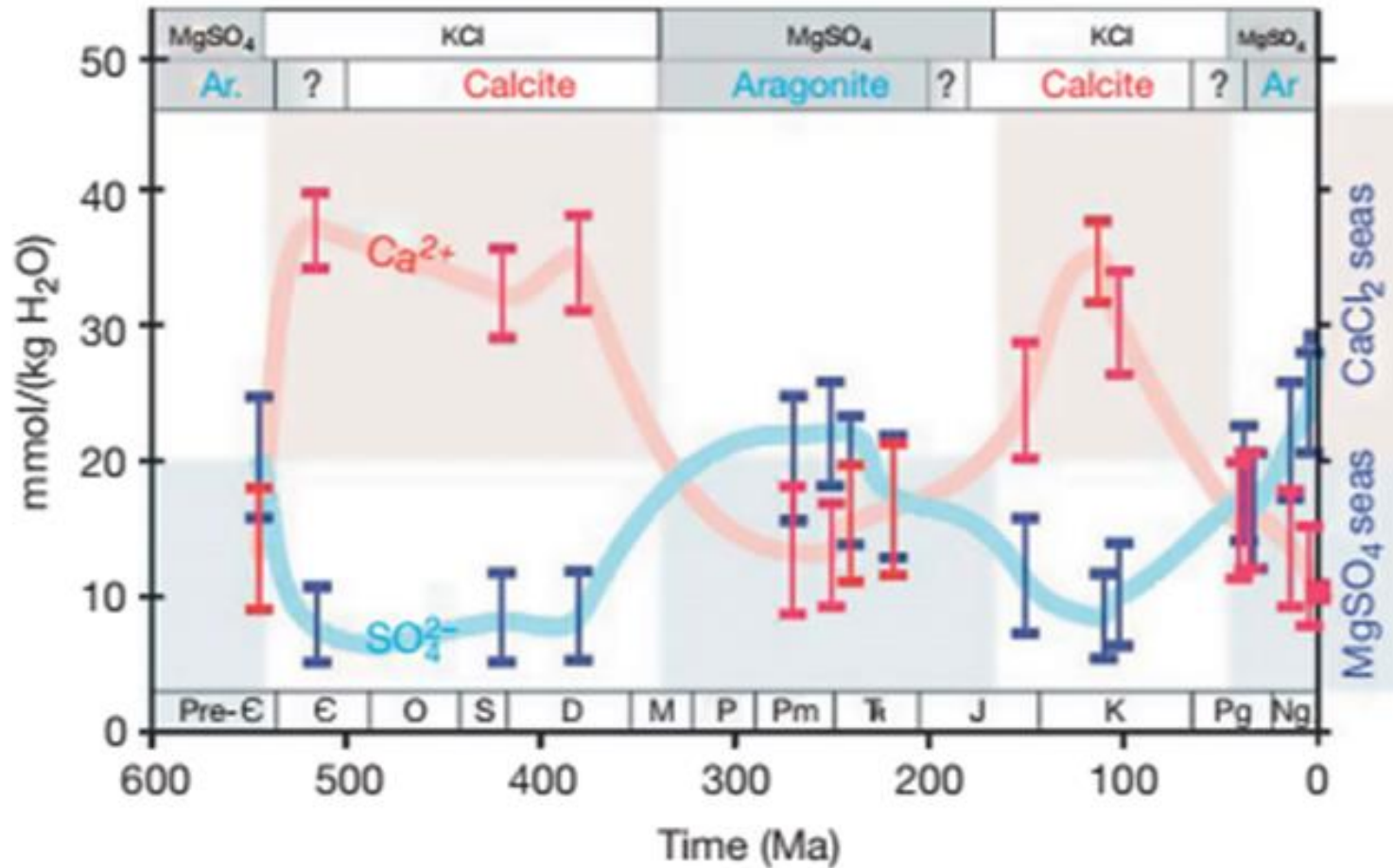
# Состав поровых вод океанских осадков

В пелагической части Тихого океана поровые воды кайнозойских карбонатных отложений не отличаются от современной воды океана по соотношениям всех макрокомпонентов.

В прибрежных терригенных и в вулканогенных осадках поровые воды отличаются по катионному составу, щелочности и сульфатам от современной воды вследствие диагенетических и катагенетических изменений, и поэтому не могут служить индикатором для реконструкции состава океана.

Содержания Cl и Br в любых осадках не отличаются от современной морской воды в отложениях вплоть до верхнеюрских. Более древних отложений при бурении в океане не найдено!

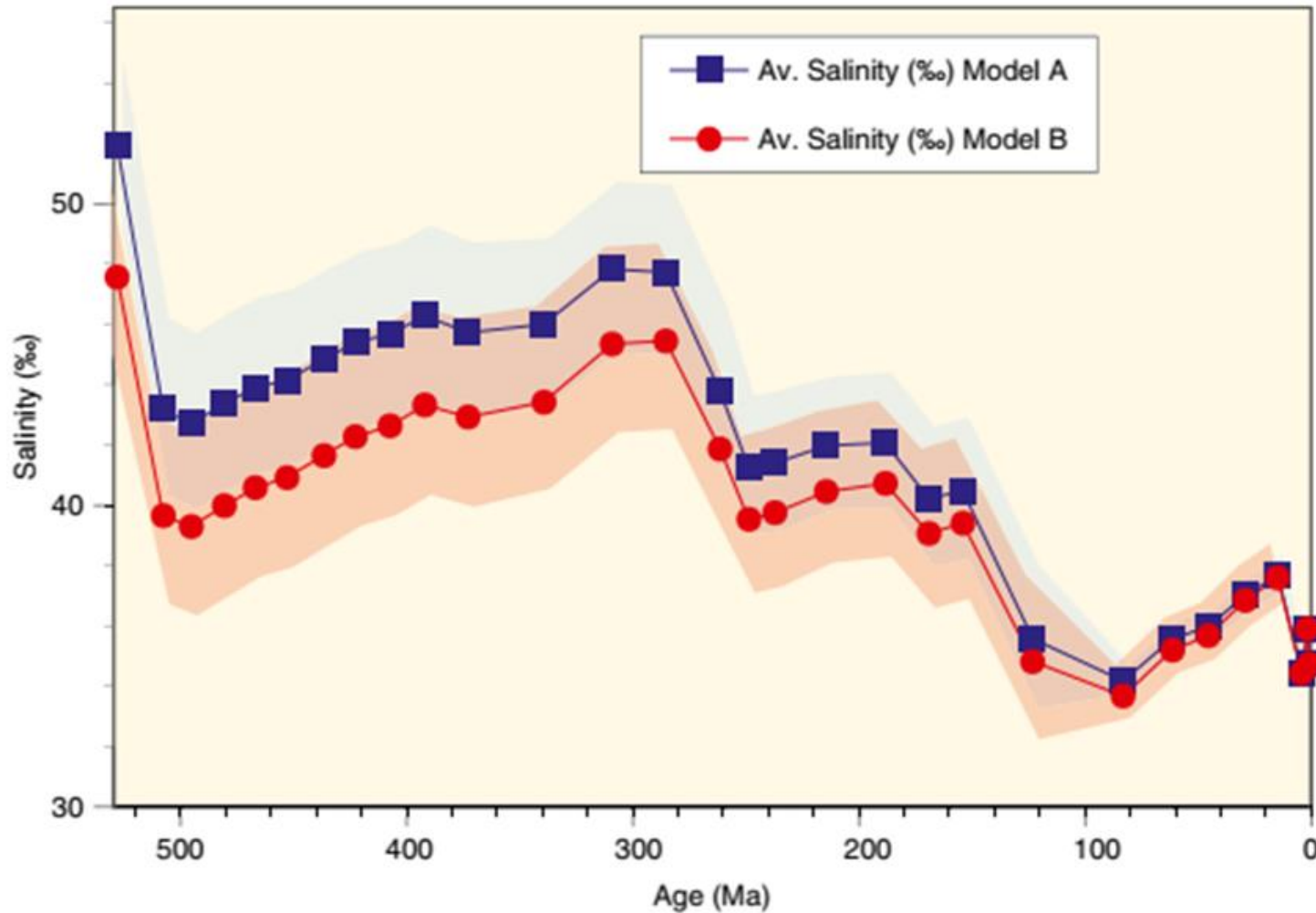
# Реконструкция эволюции состава океана по галогенным отложениям



Вариации соотношения Ca<sup>2+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в воде океана в фанерозое, реконструированные по составу флюидных включений в галите соляных месторождений морского генезиса. Океан становился хлор-кальциевым в палеозое и верхнем мезозое (?).

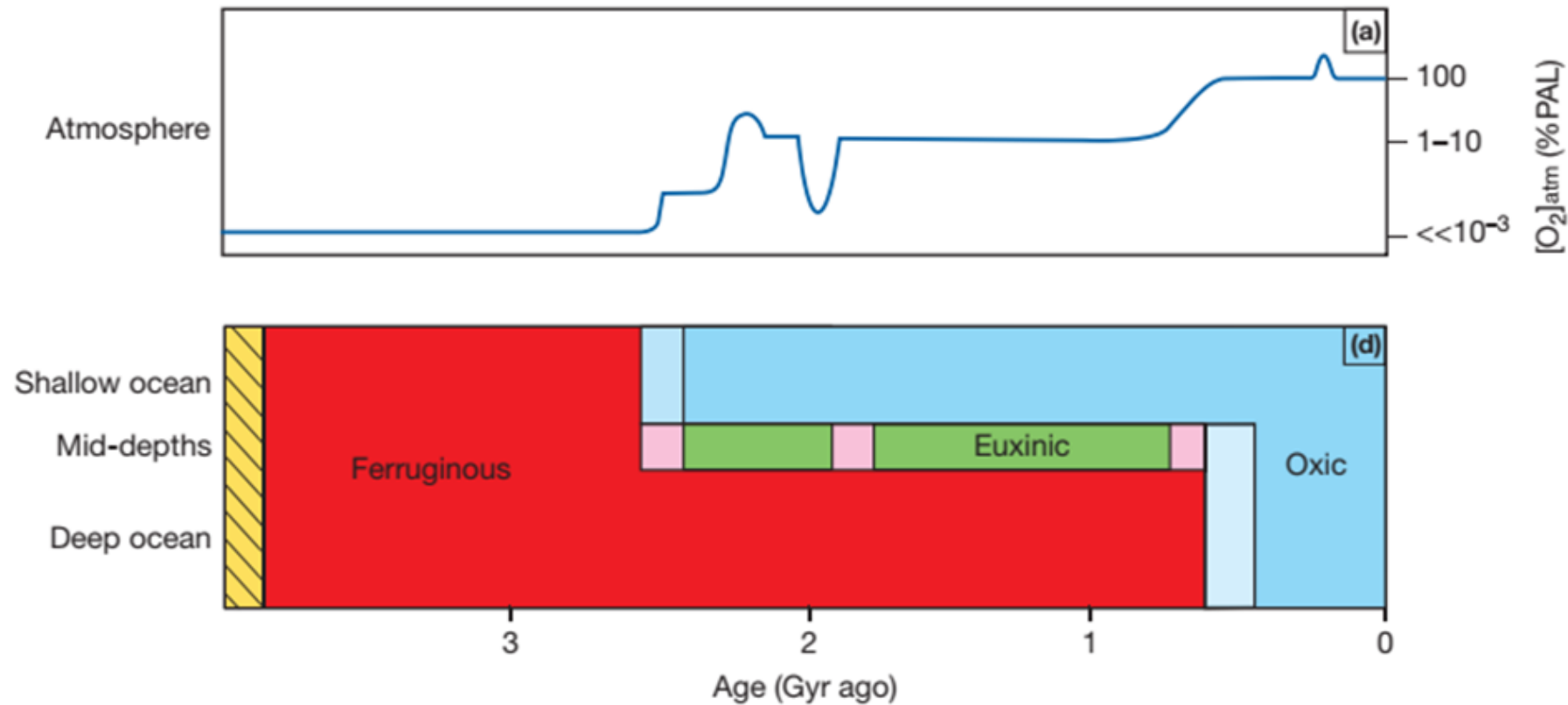


# Оценка эволюции состава океана во времени с помощью балансовых моделей



Модельная реконструкция солёности мирового океана в фанерозое. По (Hay et al., 2006).

# Гипотезы о дофанерозойской эволюции океана



Взаимосвязь эволюции атмосферы и океана.  
(По Lowenstein et al., 2014)

# Поверхностные воды суши

Атмосферные осадки:  $M0.029 \frac{SO_4 36 HCO_3 35 Cl 26 NO_3 2}{Ca 40 Na 33 Mg 14 K 4 NH_4 9}$

Среднемировой состав рек:

$M0.099 \frac{HCO_3 65 SO_4 18 Cl 17}{Ca 55 Mg 22 Na 20 K 3}$

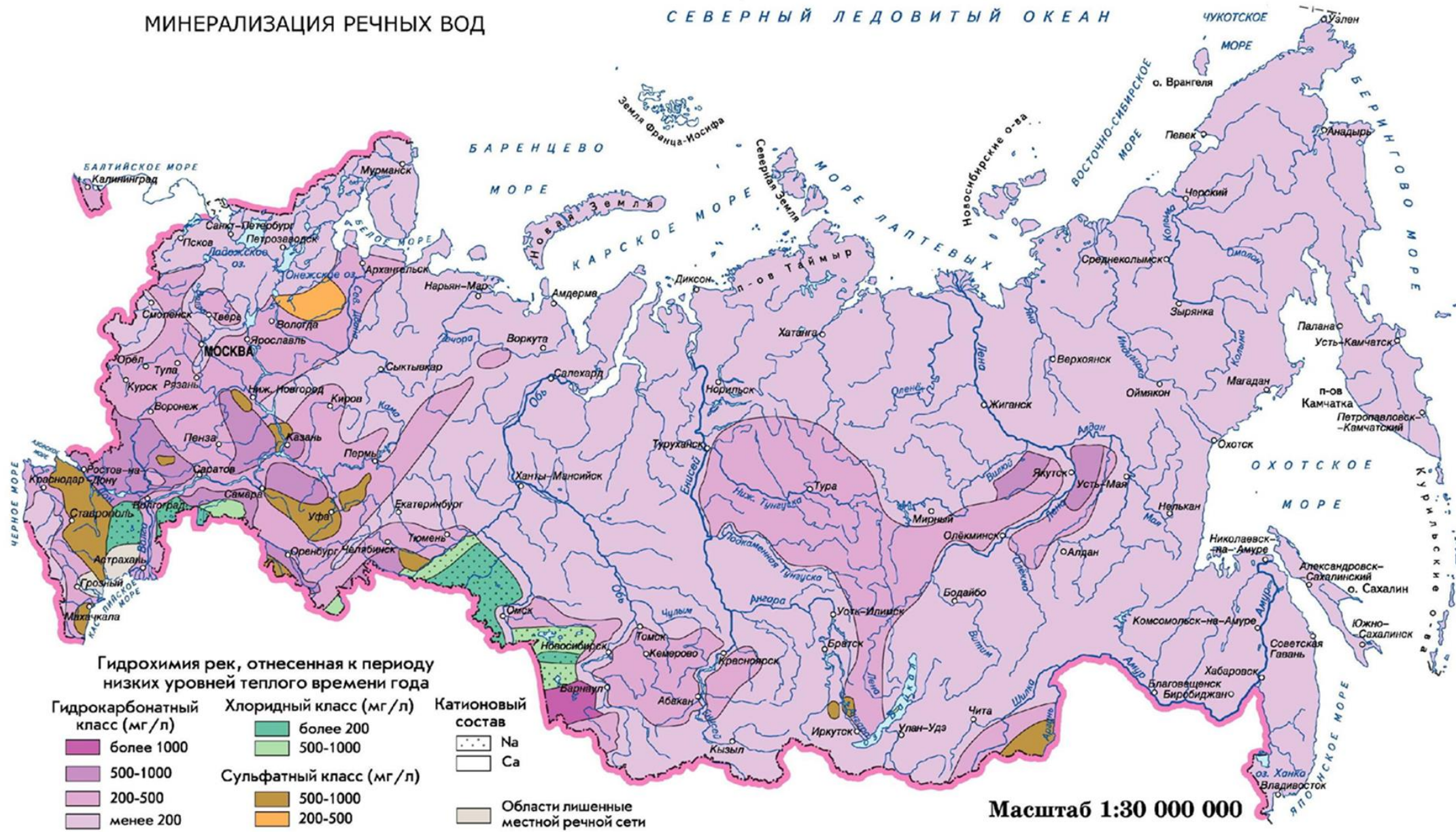
Грунтовые воды:

$M0.24 \frac{HCO_3 81 Cl 9 SO_4 9 NO_3 1}{Ca 46 Mg 36 Na 20 K 2}$

Для поверхностных вод суши характерны низкие минерализации и климатическая зональность минерализации и химического состава.

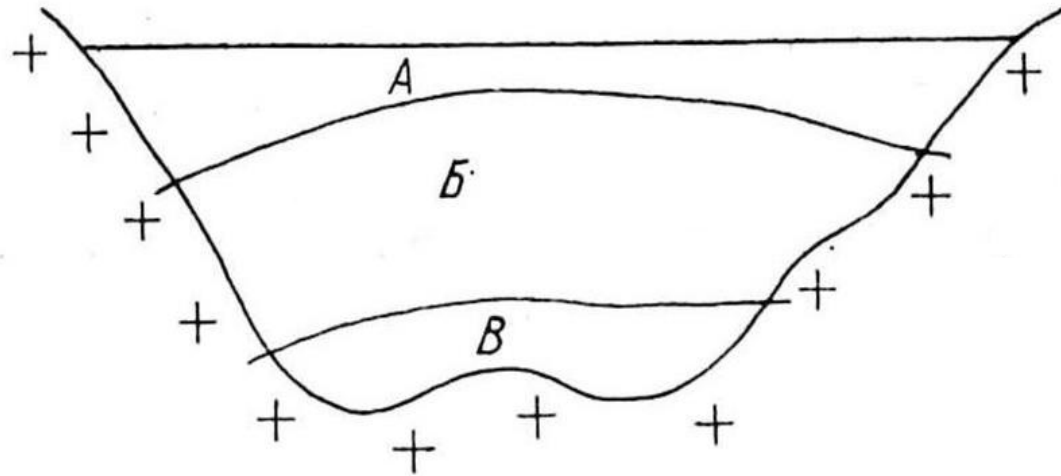
# Климатическая зональность речных вод

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ РЕЧНЫХ ВОД



# Подземные воды

## Прямая гидрохимическая зональность

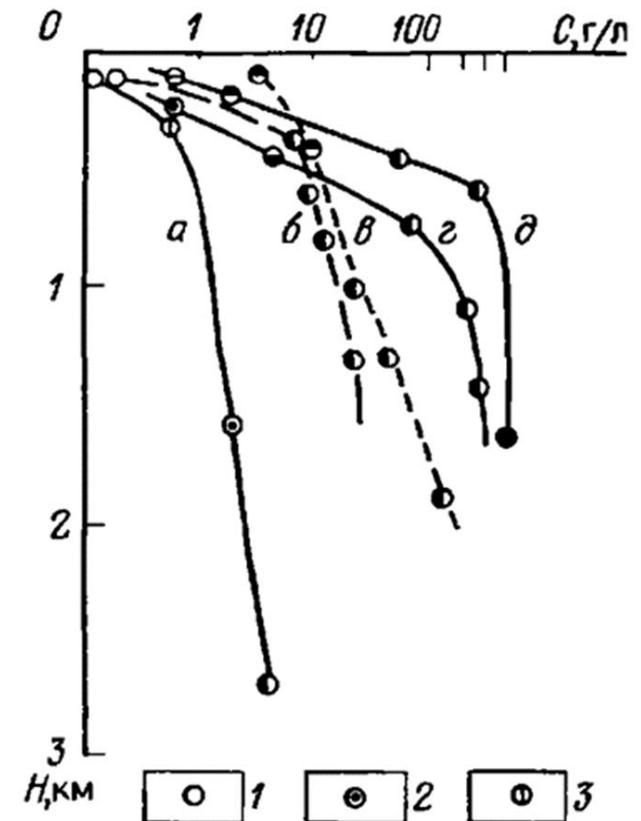


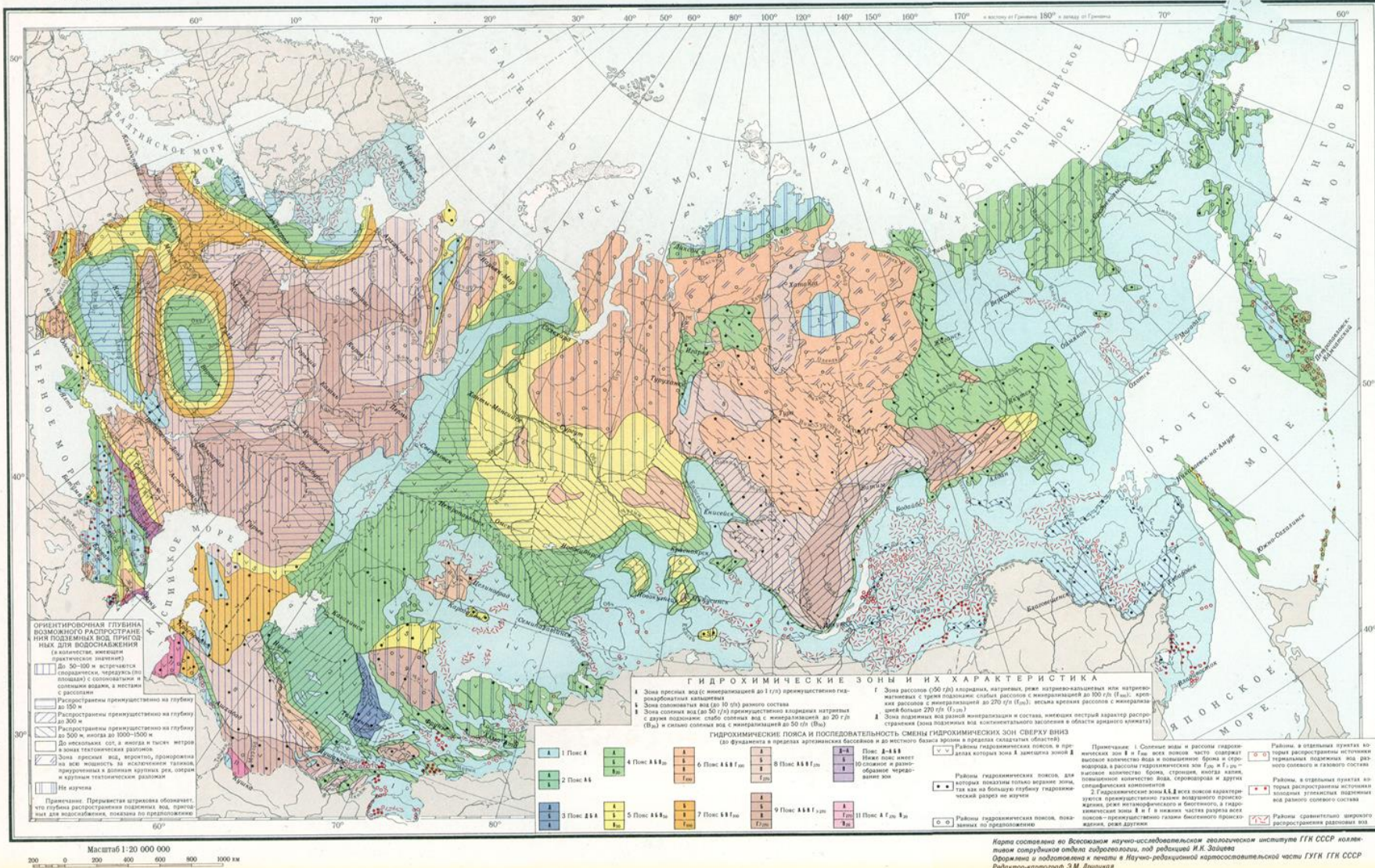
Принципиальная схема гидрогеохимической зональности гидрогеологических бассейнов.  
А – пресные воды, Б – соленые воды, В - рассолы

Проявления гидрохимической зональности в различных артезианских бассейнах.

а – Байкальский; б – Западно-Сибирский; в – Каракумский; г - Московский; д – Ангаро-Ленский

**С глубиной в Земной коре минерализация подземных вод возрастает.**

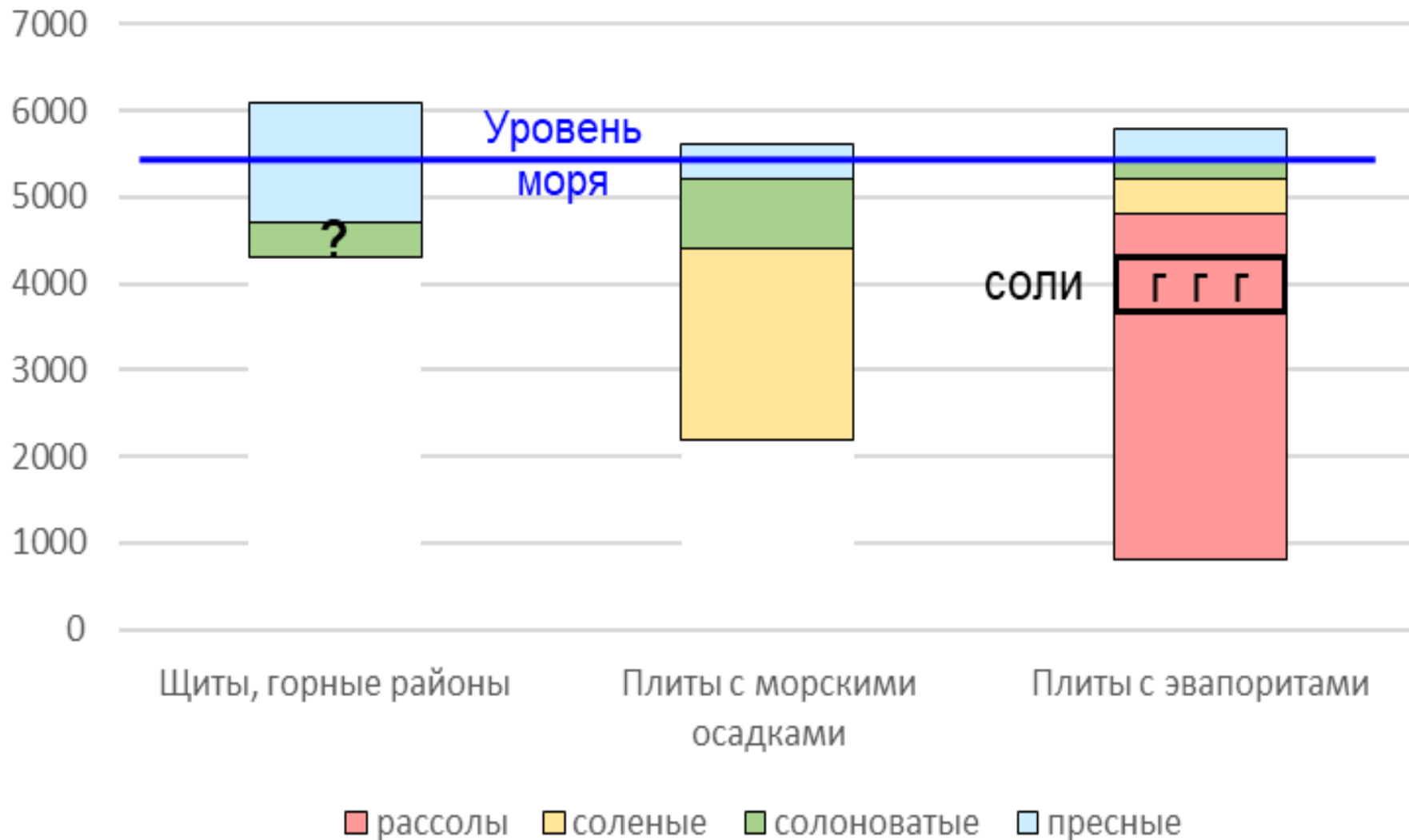




# Химический состав подземных вод

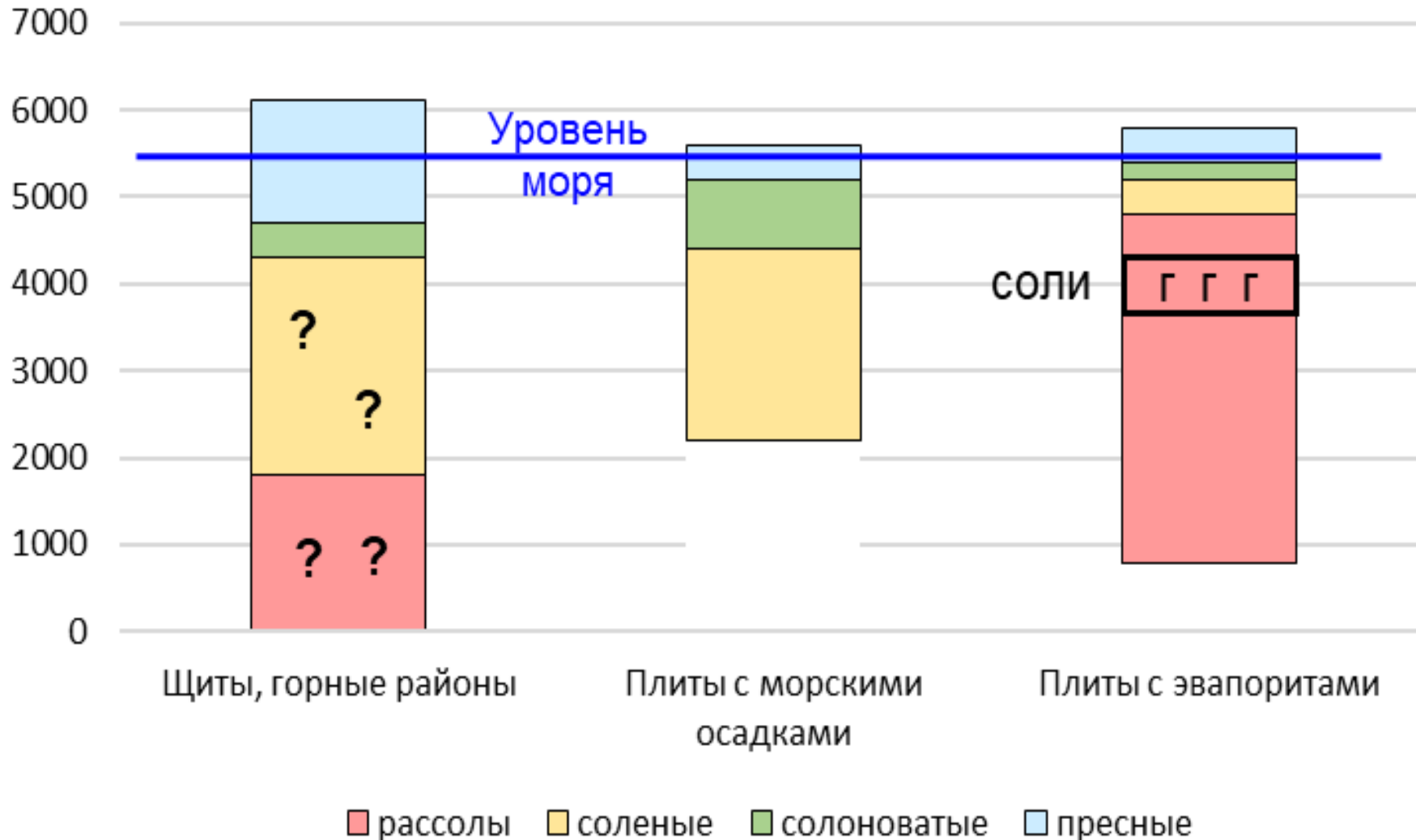
На карте цветом показана минерализация подземных вод самого нижнего водоносного горизонта в осадочном чехле (для гидрогеологических массивов – минерализация трещинных вод)

# Типы гидрохимического разреза



Типы гидрохимического разреза и связь с геологическим развитием региона.

## Типы гидрохимического разреза



Типы гидрохимического разреза и связь с геологическим развитием региона (с учетом результатов бурения Кольской сверхглубокой скважины).



# Происхождение гидросферы

# Время появления гидросферы

Метаморфические комплексы Гренландии (3.8 млрд. лет) содержат в своем составе метаосадочные породы – доказательства протекания осадочных процессов с участием природных вод.

Хадейские «детритные» цирконы - обнаружены зерна цирконов с возрастaми до 4.2 млрд. лет (единичные находки – до 4.32 млрд. лет) с утяжеленным изотопным составом кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$  до +8 ‰). Это признак того, что в состав протолита материнских (для циркона) пород входили осадки, прореагировавшие с холодной водой, т.е. признак существования гидросферы к этому времени.

Таким образом, зарождение гидросферы уходит в начальный период истории Земли (от которого не сохранилось геологической информации).

## Космогенная (протопланетная) гипотеза – **ныне отвергнута:**

Гидросфера и атмосфера образуются путем конденсации летучих компонентов протопланетного облака на поверхности растущей планеты.

*Противоречие фактическим данным:* благородные газы с «солнечной» сигнатурой (изотопной и элементной) присутствуют в атмосфере в очень малых количествах (менее 0,001 %).

# Классическая концепция: Гидросфера - результат постепенной дегазации мантии Земли.

- А. При дифференциации мантии вода ведет себя как *некогерентный* компонент – накапливается в расплаве.
- Б. При затвердевании внедрившегося в кору базальтового расплава вода и другие летучие компоненты ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}$ , и др.) отделяются в виде вулканических газов (эффузивный вариант) или магматогенных флюидов (интрузивный вариант) и питают гидросферу.

Механизмы процессов ясны в теоретическом отношении, воспроизведены экспериментально, и согласуются с наблюдательным геологическим материалом.

Нет фактических геологических данных, противоречащих классической концепции.

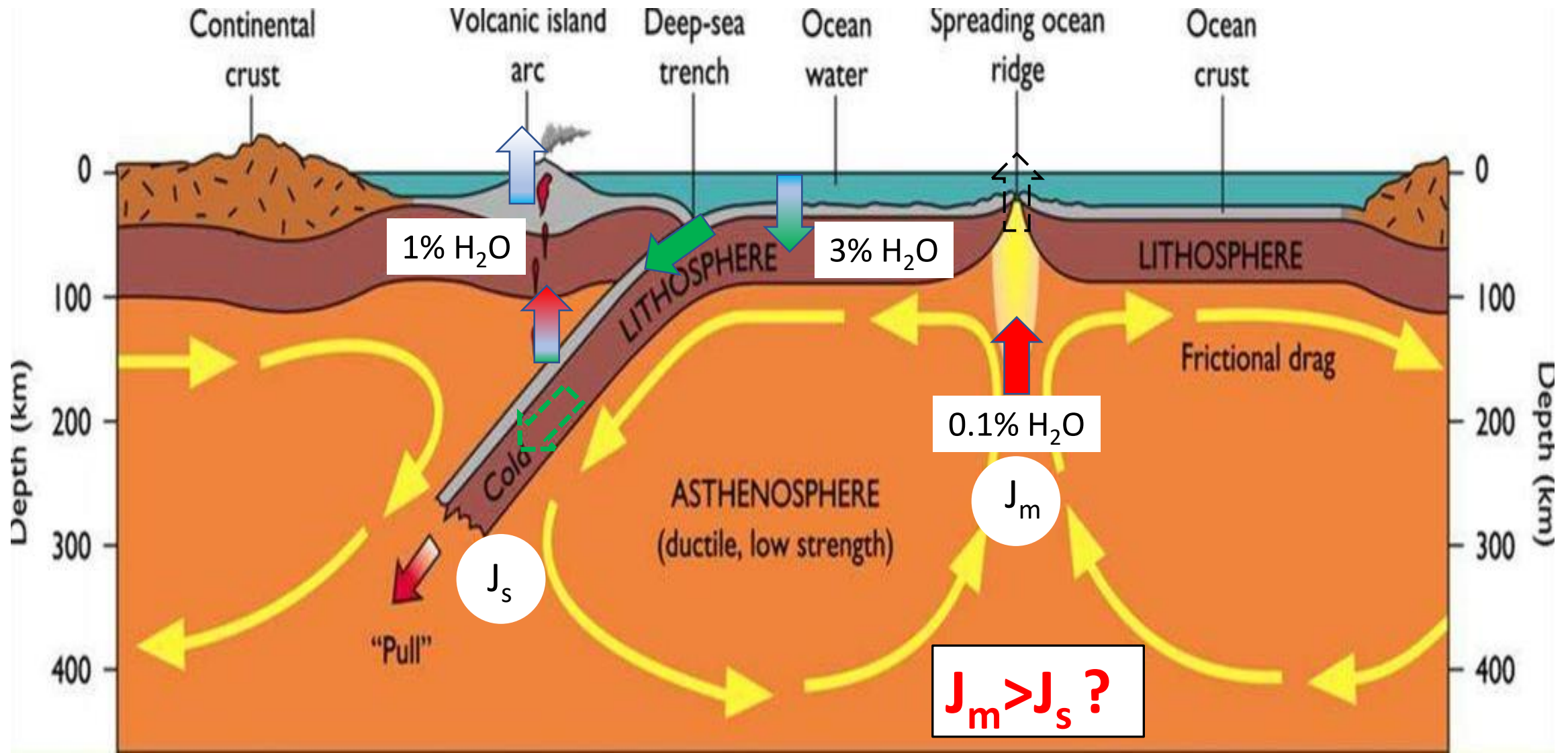
# Нерешенная проблема «ювенильного флюида»

**Ювенильные воды** — глубинные воды, своим происхождением связаны с процессом охлаждения магматических очагов. Они образуются из кислорода и водорода, выделяющихся из магмы, и **впервые** вступают в круговорот воды в природе.

(Википедия)

По имеющимся изотопным данным, ювенильные воды в природе не зафиксированы.

# Обмен водой между мантией и внешними оболочками Земли в тектонике литосферных плит



# Кометная гипотеза происхождения гидросферы

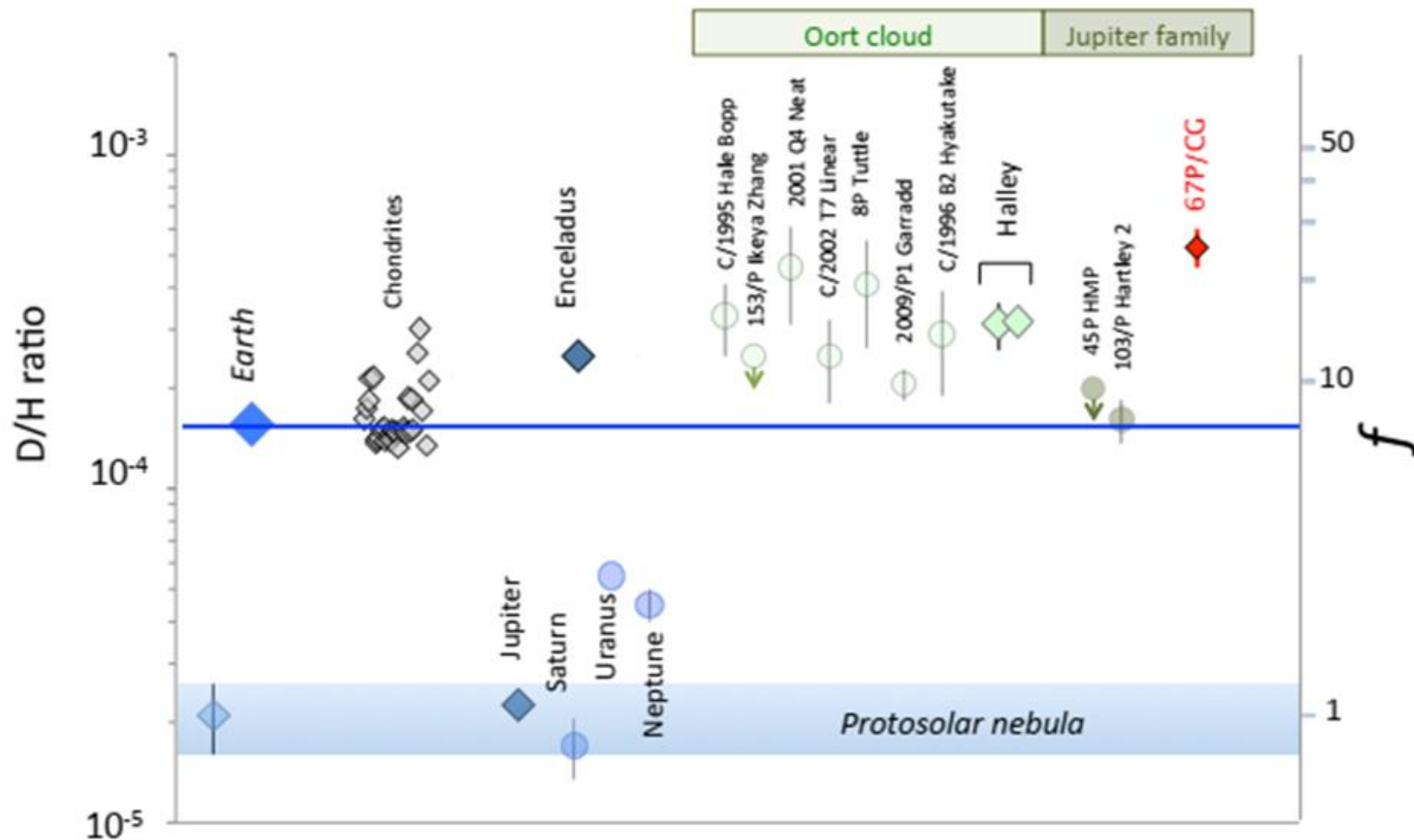
Если принять импактную гипотезу происхождения Луны, при столкновении родительских тел ранее сформированные подвижные оболочки (атмосфера и гидросфера?) будут полностью потеряны. (Косвенное подтверждение – отсутствие космогенного компонента в атмосфере Земли.)

Откуда взять их снова – их вещество прилетит из космоса в виде комет!

Если принять гипотезу «поздней метеоритной бомбардировки», основанную на статистике метеоритных кратеров на Луне, время формирования атмосферы и гидросферы – более 3,8 млрд. лет назад.

**Нет никаких фактических геологических данных, подтверждающих эту гипотезу.**

# Аргумент против кометной гипотезы: Несоответствие изотопного состава водорода комет составу Мирового океана.



Изотопный состав водорода Мирового океана тяжелее протопланетного облака. Причина этого – диссипация водорода из атмосферы в космическое пространство, более эффективная для H, чем для D. Обратный процесс, который мог бы «облегчить» изотопный состав водорода, неизвестен. Поэтому «тяжелый» водород комет противоречит идее о космогенном происхождении Мирового океана.



