

Тема 4.  
ГЕОХИМИЯ  
ГИДРОСФЕРЫ.

Часть 1



*Гидросфера* — водная оболочка, состоящая из природных вод. Включает в себя воды океанов, морей, рек, подземные воды, насыщающие горные породы, льды и снега полярных и высокогорных областей, а также атмосферную воду и воду, содержащуюся в живых организмах, т. е. всю химически не связанную воду вне зависимости от её состояния: жидкую, твёрдую, газообразную.

- Общий объём воды на планете — около 1,39 млрд км<sup>3</sup>
- Масса гидросферы — примерно  $1,46 \cdot 10^{21}$  кг. Это в 275 раз больше массы атмосферы, но лишь 1/4000 от массы всей планеты

# Структура и состав гидросферы

Основная масса воды гидросферы сосредоточена в морях и океанах (71 % земной поверхности).

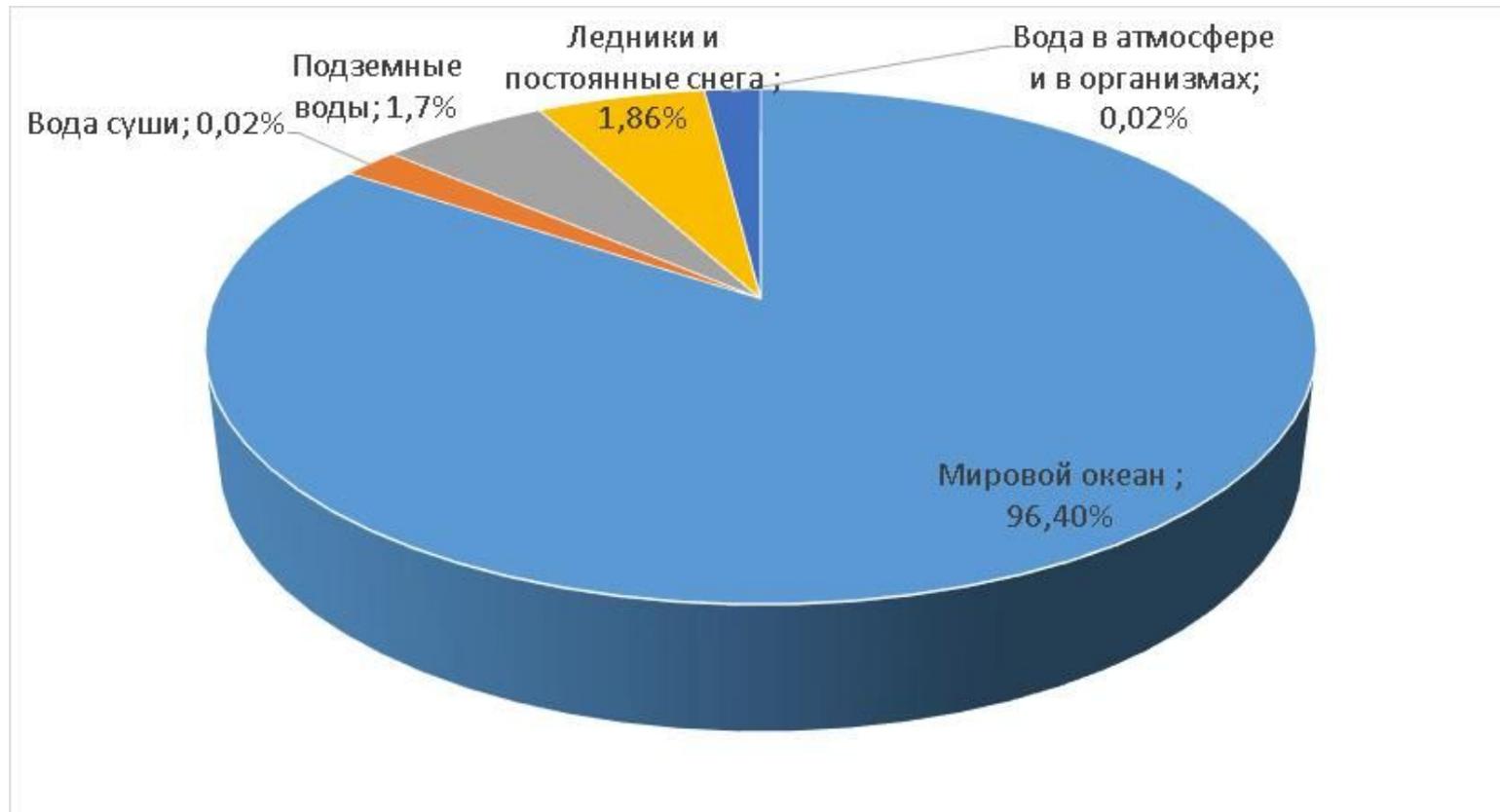
Моря и океаны – 96,4% объёма гидросферы,

льды и снега полярных областей - 1,86 %,

подземные воды - 1,7 %,

поверхностные воды суши (реки, озера, болота) - около 0,02%

вода в атмосфере и живых организмах - около 0,02%



Поверхностные воды, занимая сравнительно малую долю в общей массе гидросферы, играют важнейшую роль, как в развитии биосферы, так и в хозяйственной деятельности человека, являясь основным источником водоснабжения, орошения и обводнения.



# Содержание воды в организме человека в % к массе тела



# Функции воды в жизни живых организмах



## *Значение гидросферы для биосферы:*

1. Вода – необходимое условие существования живых организмов.
2. Является средой обитания для большого числа живых организмов.
3. Влияет на атмосферные процессы (нагревание и охлаждение воздуха, насыщение его влагой).
4. Участвует в круговороте веществ

*Водная среда содержит большинство химических элементов в наиболее доступной для организмов форме – в ионных растворах.*

# Химический состав вод Мирового океана

Химический состав вод современного океана сложился в результате продолжительной деятельности живых организмов. Первичный океан образовался благодаря тем же процессам дегазации твердого вещества планеты, которые привели к возникновению газовой оболочки Земли. Таким образом, химические составы атмосферы и гидросферы тесно связаны, и их эволюция проходила также взаимосвязано.



Таблица 5.1. Содержание химических элементов (мас. доля, %) в земной коре, почвах, морской воде, растениях, животных (по А. П. Виноградову)

Элемент	Земная кора	Почвы	Морская вода	Растения	Животные
O	49,4	49,0	85,82	70,0	62,4
Si	27,6	33,0	$5 \cdot 10^{-5}$	0,15	$1 \cdot 10^{-5}$
Al	7,45	7,12	$1 \cdot 10^{-6}$	0,02	$1 \cdot 10^{-6}$
Fe	5,0	3,8	$5 \cdot 10^{-6}$	0,02	0,01
C	0,15	2,0	0,002	18	21
Ca	3,5	1,37	0,04	0,3	1,9
K	2,5	1,36	0,038	0,3	0,27
Na	2,6	0,63	1,06	0,02	0,1
Mg	2,0	0,6	0,14	0,07	0,03
Ti	0,6	0,46	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$
N	0,02	0,1	$1 \cdot 10^{-5}$	0,3	3,1
H	1,0	—	10,72	10	9,7
P	0,08	0,08	$5 \cdot 10^{-6}$	0,07	0,95
S	0,05	0,05	0,09	0,05	0,16
Mn	0,09	0,085	$4 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Zr	0,04	0,62	—	$5 \cdot 10^{-4}$	—
Sr	0,04	0,03	$1 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ba	0,04	0,04	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
Ce	0,02	0,02	$1 \cdot 10^{-7}$	—	$1 \cdot 10^{-6}$
Cr	0,02	0,019	—	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
F	0,027	0,02	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$
V	0,03	0,01	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Cl	0,048	0,01	1,89	$10^{-2}$	0,08
Rb	0,03	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-5}$
Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ni	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Cu	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Co	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$
Li	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$10^{-4}$
Pb	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
B	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
I	$3 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-4}$
Mo	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
As	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
Br	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-3}$	—	$1 \cdot 10^{-4}$
Cd	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	—	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Th	$1 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$
W	—	$1 \cdot 10^{-4}$	—	—	—
U	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7}$	—	$1 \cdot 10^{-6}$
Se	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	—
Bi	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	—	$2 \cdot 10^{-6}$
Hg	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$10^{-7}$	$10^{-6} - 10^{-7}$
Ag	$1 \cdot 10^{-5}$	—	$10^{-9}$	—	$3 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-6}$
Au	$5 \cdot 10^{-7}$	—	$4 \cdot 10^{-10}$	—	$1 \cdot 10^{-7}$
Ra	$2 \cdot 10^{-10}$	$8 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-14}$	$10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-12}$

В целом в гидросфере наблюдаются иные, чем в литосфере количественные соотношения элементов. Следует отметить очень низкие содержания в гидросфере таких характерных для литосферы элементов, как Fe (0.000001%), Al (0.000001%), кремний (0.0003%), что связано с крайне низкой растворимостью их соединений в условиях гидросферы.

## Соленость Мирового океана

Среди разнообразных форм химических элементов в гидросфере наиболее типичными являются простые и сложные ионы и молекулы, находящиеся в состоянии сильно разбавленных растворов. Также распространены ионы, которые сорбционно связаны с частицами коллоидных и субколлоидных размеров, присутствующими в морской воде в виде тонкой взвеси.

Общее количество растворенных соединений в морской воде, называемое **соленостью**.

Соленость морской воды измеряют в граммах растворенных солей в килограмме раствора (г/кг), что соответствует единицам измерения солености в промиллях (‰)

Нормальные пределы изменения солености мирового океана – **33,0 - 37,0 ‰**.

Для Мирового океана принято среднее значение солености, равное **35 ‰**.

*Наименее солёной является вода Финского залива и северной части Ботнического залива, входящих в акваторию Балтийского моря. Наиболее солёной является вода Красного моря и восточная часть Средиземного моря. Солёные озёра, такие как Мертвое море, могут иметь значительно больший уровень содержания солей.*

# Геохимическая особенность Мирового океана

Современный солевой состав морской воды удалось достаточно точно определить после обработки результатов кругосветной британской экспедиции на корвете «Челленджер» (1872—1876 гг.). Тщательный химический анализ 77 проб морской воды, взятых в разных районах Мирового океана, привел к интересным выводам, из которых наиболее важный — *о постоянстве солевого состава*. Оказалось, что в пробах морской воды разной солености взаимные количественные соотношения основных ионов всегда остаются неизменными.



Океаническая вода характеризуется геохимической особенностью, которая заключается в том, что **соотношение главных элементов остается всегда постоянным независимо от колебаний солености, т.е. солевой состав океана представляет собой своего рода геохимическую константу.**

Большинство солей присутствуют в морской воде в виде ионов, незначительная часть соединений находится в коллоидной или суспензионной форме. К главным ионам принято относить такие, концентрация которых в морской воде превышает 0,001%, а именно: **анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{F}^-$**  и **катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Sr}^{2+}$ .**



# Количественное содержание главных ионов в морской воде

## Катионы (+)

## Анионы (-)

название	г/кг	название	г/кг
Натрий	10,764	Хлориды	19,353
Магний	1,297	Сульфаты	2,701
Кальций	0,408	Гидрокарбонаты	0,143
Калий	0,387	Бромиды	0,066
Стронций	0,0079	Борная кислота	0,026
		Фториды	0,001

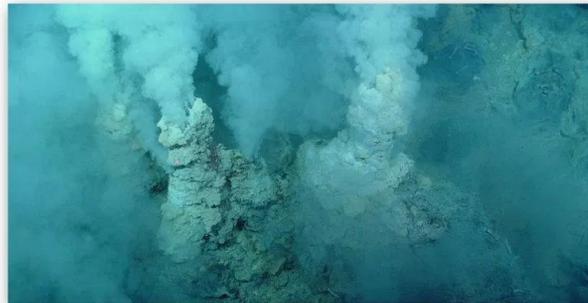
*Химический состав морской воды близок к составу крови:*

Химические элементы и их соединения	Морская вода (%)	Сыворотка крови (%)
Натрий (Na)	30,5	39,0
Магний (Mg)	3,8	0,5
Кальций (Ca)	1,2	1,0
Калий (K)	1,8	2,6
Хлор (Cl)	55,2	45,0
Кислород (O)	5,6	9,9
Другие элементы и соединения	1,9	2

# *Почему морская вода соленая?*

Факторы, влияющие на формирование солевого состава мирового океана:

1. Реки и осадки внесли соли в моря и океаны, соли накапливались в воде; процессы испарения увеличили концентрацию солей.
2. Гидротермальные процессы. Гидротермальные вентиляционные отверстия - представляют собой места, где морская вода просочилась в породы земной коры, стала более горячей и поступает обратно в океан. Вместе с ней поступает большое количество растворенных минералов.
3. Извержение вулканов под водой



*Как происходит поддержание постоянной концентрации солей в Мировом океане? Почему концентрация солей не увеличивается?*

Механизмы поддержания определенной концентрации химических соединений в Мировом океане

Считается, что преобладает следующие процессы:

- осаждение в результате механического опускания частиц,*
- сорбция,*
- биогенная аккумуляция.*

*Исключительно важную роль в формировании солевого баланса океана играют биогенные процессы.* Только в результате фотосинтеза в океане ежегодно образуется  $10^{17}$  г биомассы планктона. В процессе фотосинтеза поверхностные слои воды обогащаются кислородом и обедняются углекислотой. Организмы, населяющие верхние слои океана, извлекают Si, Ca, Mg, K, Br, I, P, N, V, Zn, Cu, Co, Ni и др. В области проникновения солнечного света свободные фосфаты и нитраты в морской воде практически отсутствуют. Отмирая, опускаясь на дно и разлагаясь, биогенные продукты обогащают конкреции дна Cu, Zn, Ni, Co, Mo, As, Tl, Pb и др. Содержание фосфатов и нитратов определяется также сезонными колебаниями. Зимой их больше, а весной и летом с ростом биологической активности планктона содержание их в морской воде резко падает. Подобно фосфатам и нитратам биосфера извлекает из морской воды огромные массы CaO и SiO<sub>2</sub>, идущее на построение скелетов и раковин диатомей, глобигерин, радиолярий, моллюсков и других морских организмов.

## Газовый состав Мирового океана

В биогеохимических процессах, протекающих в гидросфере, заметную роль играют некоторые газы.

В гидросфере растворены газы, поступающие из атмосферы (хотя и в иных пропорциях, чем в воздухе), а также с атмосферными осадками, при вулканических подводных извержениях и в ходе биохимических, биологических и физико-химических процессов (фотосинтез, дыхание, разложение органических веществ, радиоактивный распад и др.).

*Растворимость газов в морской воде уменьшается с повышением температуры и увеличением солености.*

В мировом океане растворены следующие газы:

**1. Азот.** Больше всего в морской воде растворено азота, который, в силу своей инертной природы не участвует в биологических процессах, т.е. не имеет существенного влияния на жизнь и химические процессы в океане. Его усваивают только азотофиксирующие бактерии, способные переводить свободный азот в его соединения. Поэтому по сравнению с другими газами концентрация азота (от 10 до 15 мл/л)

**2. Кислород** — химически активный компонент морских вод. По характеру распределения кислорода в воде можно судить об их происхождении и протекающих в них химических и физических процессах.

Концентрация кислорода в поверхностных слоях океана обычно колеблется от 5 до 9 мл/л.

Поступление кислорода в глубинные океанические слои зависит от скорости его потребления, от перемешивания вод и переноса их течениями. Растворенный в воде кислород для нашей планеты почти так же важен, как и свободный атмосферный.

## ***Функции кислорода в воде:***

- необходим для дыхания живых организмов (рыбы, водоросли);
- участвует в ряде физико-химических процессов (например, при окислении различных веществ моря, главным образом органического детрита).

Из 223,6 млрд т кислорода, поступающего в океан за год, 220 млрд т (98,4%) создается в результате жизнедеятельности растений и 3,6 млрд т (1,6%) поступает из атмосферы.

**3. Оксид углерода (IV) ( $\text{CO}_2$ )** содержится в морской воде в незначительных концентрациях (не более 0,5 мл/л), но играет важную роль.

***Функции углекислого газа:***

- является источником углерода, необходимого для построения живой клетки, то есть определяет наличие в океане органической жизни.
- баланс углекислого газа в мировом океане и в атмосфере влияет на климат Земли.

В морской воде  $\text{CO}_2$  распространен в свободном виде, но часть его (около 1 %) связана с водой в виде ***угольной кислоты***.

Растворимость  $\text{CO}_2$  в океане в сотни раз превышает растворимость кислорода.

С глубиной концентрация  $\text{CO}_2$  увеличивается, так как уменьшается его потребление при отсутствии фотосинтеза и увеличивается поступление оксида углерода (IV) при разложении органических остатков, особенно в слое кислородного минимума.

**4. Другие газы.** В морской воде также содержатся **аргон, водород, гелий**. В тех районах Мирового океана, где отсутствует кислород, в воде образуется **сероводород** (в атмосфере этот газ в нормальных условиях отсутствует). Он образуется в анаэробной среде, создающейся в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий при недостатке или отсутствии кислорода, например в Черном море на глубинах 150-200 м и более.