

## ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОД ОКЕАНА

Температура, солёность, плотность, давление

### *Солёность вод Мирового океана, химический состав вод*

Солёность – один из основных параметров, от которых зависят скорость звука и поглощение звука в океане.

Пресная вода составляет всего около 2,5-3% от общего объема вод на Земле, причем 85-90% пресной воды – в виде льда. Облака – пресные. Вся вода в Мировом океане – солёная.

Вода – достаточно хороший растворитель, поэтому химический состав вод океана сложен. Тем не менее, морская вода это весьма слабый раствор (около 4%).

**Общая масса** веществ, растворенных в водах океана =  $4,92 \times 10^{19}$  кг.

Если испарить воду из океана, то толщина слоя соли, распределенного по площади океана, составит в среднем около 150 м.

Основные элементы, растворенные в воде океана, входят в число первых 38 элементов периодической системы.

Из всех элементов, растворенных в водах открытого океана, концентрация 11 элементов существенно выше, чем всех других. Эти 11 элементов называются элементами основного солевого состава океана, или макроэлементами.

Эти элементы присутствуют в морской воде, как правило, в виде ионов (в воде происходит химическая диссоциация молекул), и именно этим определяется электропроводность морской воды (дистиллированная вода ток не проводит).

**11 макроэлементов** (включая соединение серы с кислородом  $SO_4$ , т.к. сера присутствует в морской воде, в основном, в виде этого иона):

**Cl, B, Br, F, C,  $SO_4$ , Na, K, Ca, Mg, Sr.**

11 макроэлементов составляют 99, 9993% всей солевой массы в Мировом океане.

Самая распространенная соль в морской воде – **NaCl**, т.е. поваренная соль. Она составляет **около 85% всей солевой массы в водах океана**. (В разных источниках приведены несколько отличающиеся данные, зависящие от объектов усреднения).

Соленость вод океана измеряется в промилле ( $^{\circ}/_{\text{oo}}$ ) – тысячных долях, т.е. в граммах соли на килограмм воды. Соленость, например,  $35^{\circ}/_{\text{oo}}$  означает, что в 1 кг морской воды содержится 35 г соли. Точное определение солености довольно громоздко, оно включает в себя довольно много химических условий (см. литературу), но смысл остается.

**Закон постоянства соотношений (закон, или принцип Диттмара).** Одно из первых систематических исследований солевого состава и солености вод Мирового океана было выполнено во время первой в истории океанологической экспедиции на английском судне «Челленджер» (1872-76). Химик Уильям Диттмар взял в разных районах океана 77 проб воды и исследовал их химический состав. Отчет об экспедиции составлялся 15 лет, он включает в себя 50 томов, хранящихся ныне в Британской библиотеке в Лондоне.

В результате проведенного Диттмаром анализа проб воды были выявлены указанные 11 макроэлементов и установлен важный закон (1884, журнал “Nature”):

**Относительное содержание (отношение концентраций) 11 макроэлементов в водах открытого океана постоянно и не зависит от абсолютной величины солености.**

Этот закон получил название **закона постоянства соотношений** (иногда его называют также законом постоянства относительного солевого состава, или законом Диттмара). Он выполняется при значениях солености более 8-10 ‰.

Закон постоянства соотношений открывался минимум трижды, но дважды он был забыт: впервые его сформулировал и опубликовал англичанин Александр Марсет в 1829 году, затем в том же журнале (Philosophical Transactions of the Royal Society) в 1865 году его вторично опубликовал И.Г.Форхгаммер. И лишь с третьего захода (Диттмар) в 1884 году этот закон получил мировую известность в океанографии под именем Диттмара.

Закон постоянства соотношений свидетельствует о том, что Мировой океан представляет собой единую систему, в которой водные массы постоянно циркулируют, обеспечивая водообмен между разными частями океана.

Закон Диттмара позволяет в некоторых случаях высказать гипотезу о том, что некоторые ныне изолированные от океана крупные водоемы ранее являлись его частями, если состав солей в них близок к солевому составу Мирового океана (например, Каспий).

Из закона постоянства соотношений вытекает важное следствие: для определения общей солёности и абсолютных концентраций всех элементов основного солевого состава вод (макроэлементов) в данной точке океана достаточно измерить концентрацию всего одного макроэлемента, а концентрации остальных макроэлементов могут быть вычислены в соответствии с законом Диттмара. Это намного облегчило экспериментальное определение солёности вод океана. В качестве основного (опорного) элемента был выбран **хлор Cl**.

Существуют формулы, позволяющие определить величину суммарной солёности вод океана по содержанию хлора («хлорности»). К числу распространённых относится формула Кнудсена, Форха и Серенсена:

$S\text{‰} = 0,030 + 1,8050 \cdot \text{Cl } \text{‰}$ , где Cl ‰ – содержание хлора в ‰.

С 1963 года наибольшее распространение получила «формула ЮНЕСКО»:  $S\text{‰} = 1,80655 \cdot \text{Cl } \text{‰}$ .

Коэффициент, связывающий хлорность и общую солёность, получил название хлорного коэффициента.

Приведённые формулы пригодны для вод открытого океана. Для прибрежных областей и средиземных морей, где велика роль речного стока, надо использовать другие формулы или определять солёность с помощью полного химического анализа. Например, для Чёрного моря иногда пользуются формулой  $S = 0,184 + 1,795 \cdot \text{Cl}$ , для Балтики  $S = 0,115 + 1,805 \cdot \text{Cl}$ .

Уравнение распространения соли в воде - уравнение дивергентного типа:

$$\frac{\partial(\rho s)}{\partial t} + \text{div}(\rho s \vec{v} - \rho K \text{grad} s) = 0 ,$$

где  $s$  – солёность,  $\rho$  – плотность воды,  $\vec{v}$  – скорость,  $K$  – коэффициент диффузии соли.

Примечание. Выравнивание солёности в океане происходит довольно медленно по сравнению с выравниванием температуры, которое происходит быстрее примерно в 100 раз.

**Средняя солёность вод Мирового океана:  $s=34,7\text{‰}$ .**

Это значение можно рассматривать как одну из геофизических констант Земли.

**Диапазон изменения солёности в открытом океане: 31 – 38 ‰.**

Средняя солёность океанов:

Атлантический	35,3 ‰	max
Индийский	34,9 ‰	
Тихий	34,6 ‰	
Северный Ледовитый	31,4 ‰	min

Солёность весьма изменчива в зависимости от конкретных условий в выбранном районе океана и меняется с глубиной. На поверхности океана наибольшая солёность – в тропической зоне, особенно в Атлантике (Азорский максимум) – до 37,9‰ – вследствие преобладания испарения из-за солнечной погоды и сильных пассатных ветров. В экваториальной зоне океана солёность существенно меньше из-за мощной облачности (кучёвка до 17 км) и осадков – в Тихом океане 34,04‰. Ещё меньше солёность в Северном Ледовитом океане из-за стока мощных рек и большого количества осадков, а также малого испарения (холодный климат, ледовый покров).

В прибрежных районах и морях солёность может сильно меняться.

Солёность некоторых морей: Балтийское – до 20 ‰, Черное – 17-18 ‰, Белое – до 25 ‰, Красное море – до 313 ‰ в придонном слое. В Мертвом море (озеро) – 200 ‰ (человек не тонет).

Рекорд – 313‰ в придонном слое Красного моря.

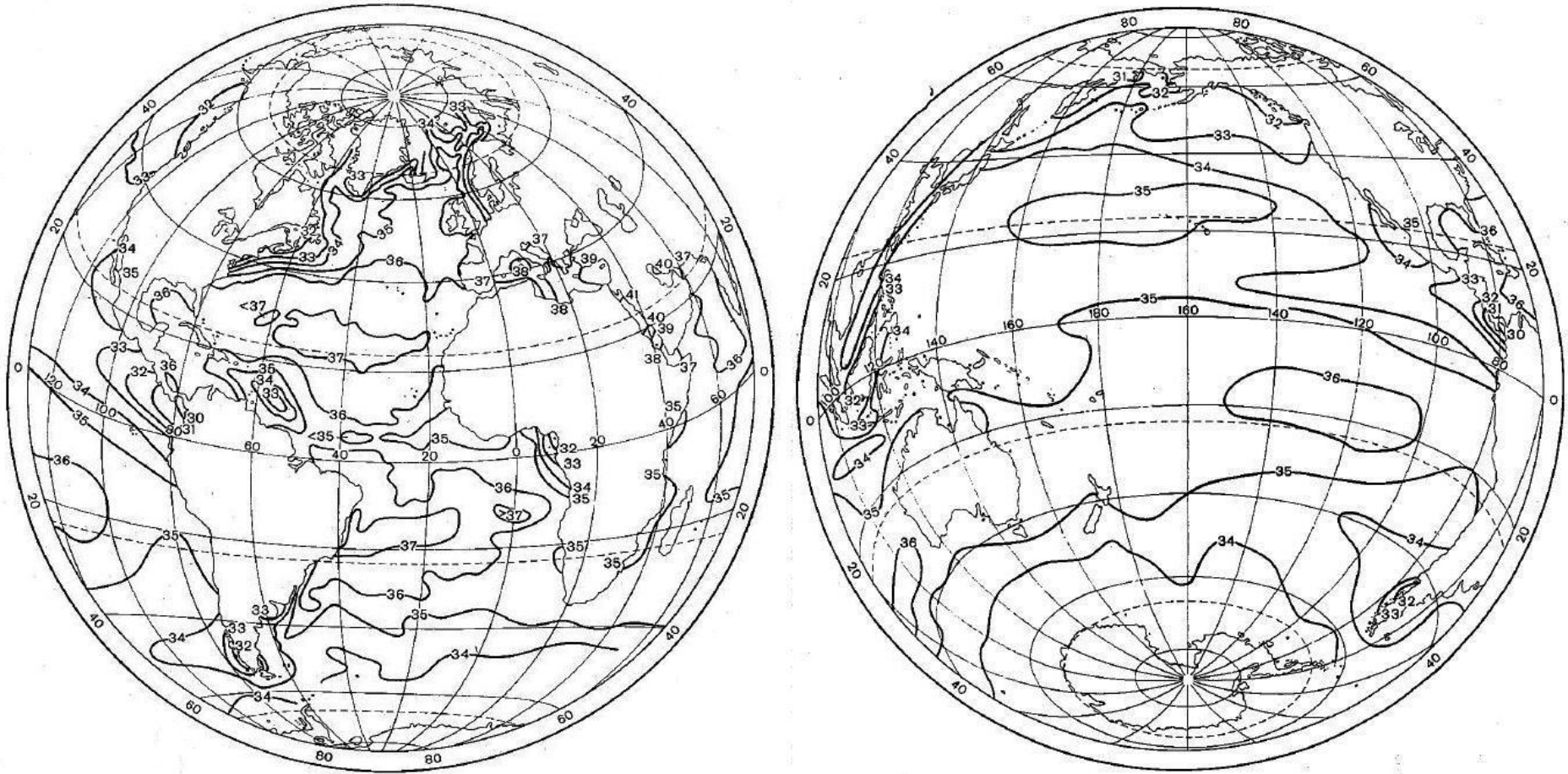


Рис. 96. Соленость поверхностного слоя Мирового океана (в ‰) летом (по Морскому атласу).

Классификация вод по солености:

до 0,5 ‰ – пресные

от 0,5 ‰ до 24,7 ‰ – солоноватые

от 24,7 ‰ до 50 ‰ – соленые

выше 50 ‰ – рассолы.

## Измерение солености в океане.

Соли в морской воде присутствуют в виде ионов, и именно это обуславливает электропроводность морской воды. Чем больше ионов солей, т.е. чем больше соленость, тем выше электропроводность воды. Следовательно, измерение электропроводности может дать сведения о солености. На этом основан **метод кондуктометрии** – экспериментальное определение солености путем измерения электропроводности морской воды. Благодаря методу кондуктометрии измерение солености может производиться быстро и относительно просто, поскольку химический анализ воды и определение концентрации даже одного из макроэлементов не требуется. Однако, метод кондуктометрии не столь прост, поскольку электропроводность зависит не только от солености, но и от температуры и давления в воде. Кроме того, происходит поляризация датчиков. Требуется высокая точность измерения электропроводности. Метод кондуктометрии хорошо работает лишь при достаточно большой солености (обычно более 15‰), при малых соленостях он приводит к большим ошибкам.

Обычно измерители солености входят в океанологические CTD-зонды (C – conductivity, T – temperature, D – depth), в которых имеются измерители температуры, давления (глубины) и электропроводности (солености).



*CTD-зонд CTD-75M фирмы Sea & Sun Technology (Германия).*

*Вес около 3,5 кг, высота около 65 см*

## Биогенные элементы в водах океана.

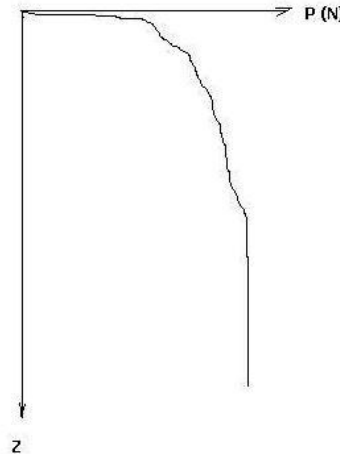
Для существования жизни в океане основное значение имеют биогенные элементы, которые принято делить на макробиогены (основные биогенные элементы) и микробиогены, которые нужны для некоторых форм жизни в океане, но не играют основной роли.

Макробиогены: N, P, C, Si, Co, K, Mg (NB! не все макробиогены относятся к основному солевому составу Мирового океана)

Микробиогены: Cu, Zn, Mo, Cl, Mn.

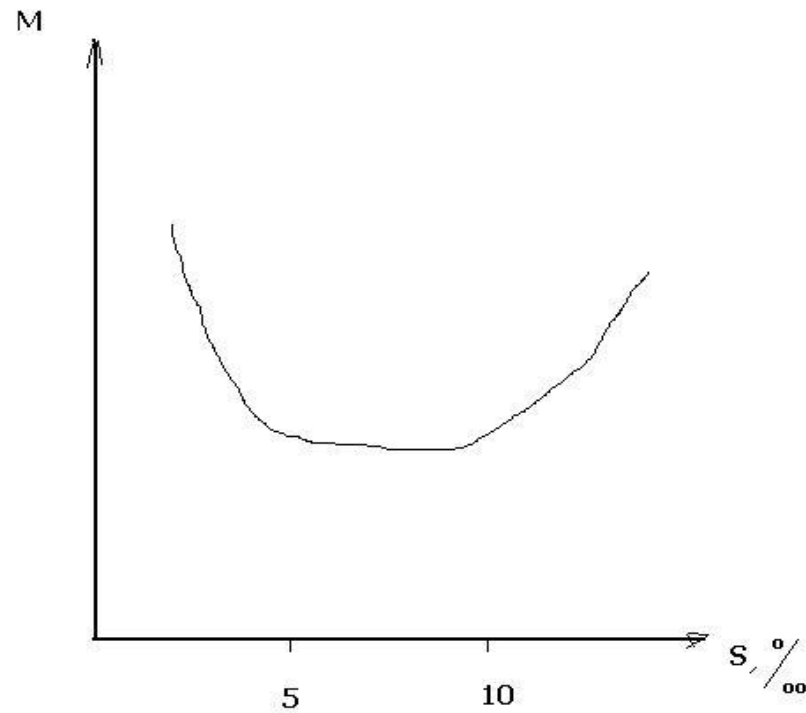
Кроме того, для жизни большое значение имеет кислород, растворенный в воде. Едва ли не все формы жизни в океане возникают только там, где есть растворенный кислород. В анаэробных зонах жизнь развита слабо.

Наиболее важные макробиогены, во многих случаях лимитирующие биомассу в данной зоне океана – фосфор (P) и азот (N). Эти элементы практически полностью потребляются разными живыми формами океана в зонах высокой биологической продуктивности, в то время как других элементов (прежде всего, кислорода и углерода) в водах океана хватает с избытком. Об этом косвенно говорит тот факт, что относительное содержание фосфора и азота в водах океана и в составе живых организмов практически одинаково: P:N=1:15, содержание же других элементов в воде и в организмах довольно сильно различается. Об этом же свидетельствует и то, что концентрация фосфора и азота падает почти до нуля в зонах океана, богатых кислородом, т.е. там, где активно развивается жизнь и начинаются трофические цепи (например, в поверхностном слое океана, где под действием солнечного света активно протекает фотосинтез и формируется фитопланктон, являющийся первичным звеном трофических цепей Мирового океана).



Типичный пример профиля (зависимости от глубины) концентрации фосфора (и азота) в водах океана

Многие виды рыб и морских животных приспособлены к жизни в водах определенной солености (эндемичны по солености). Морские организмы, как правило, не могут жить в пресной воде, и наоборот, пресноводные – в морской воде. Существует интересная особенность – число видов водных организмов имеет минимум при значениях солености вод 5-8 ‰ (хорехалинный порог). Лишь немногие виды преодолевают его (например, лосось, китайский краб).



*Типичная зависимость числа видов водных организмов от солености вод*



**pH-показатель** (водородный показатель) – мера концентрации ионов  $H^+$  в водном растворе:  $pH = -\lg N_{H^+}$   
( $N_{H^+}$  – в грамм-ионах на литр)

pH-показатель характеризует кислотность водного раствора:

pH=7 – нейтральная среда,

pH<7 – кислая среда,

pH>7 – щелочная среда.

Примеры:

лимонный сок – pH<3 ,

апельсиновый сок – pH=3-5,

пиво, вино, черный кофе, чай – pH=5-6,

обычная питьевая вода pH=6,5-7,5,

молоко pH=6,6-6,9,

кровь pH=7,3-7,5,

раствор пищевой соды pH=8,5-9,5,

мыло для рук pH=9-10.

Воды открытого океана: pH=7,5-8,5 (слабая щелочь)

К.Н. Федоров - см. сказку о «золушке» физической океанологии.

