

ПОГОВОРИМ О ПОВАРЕННОЙ СОЛИ

Ефим Шмуклер

*«Есть две наиважнейшие вещи на свете –
– это Солнце и Соль».*

Плиний Старший (23-79 гг. н.э.)

Вступление к теме, или это необходимо и важно знать

Поваренная соль, а точнее, – хлорид натрия, как и любая вещь, является сущностью. Чтобы понять «душу» этого вещества, необходимо проникнуть в сущность того, что мы привычно называем хлористым натрием (как было принято в классической науке) – **NaCl**, и даже просто – **соль**.

Примечание: **Соли** – это химические соединения (то есть сложные вещества), как правило, ионов металла, имеющих положительный электрический заряд (например, Na⁺ - ион натрия, K⁺ - ион калия, Ca²⁺ – ион кальция, Mg²⁺ – ион магния, Fe²⁺ – ион железа...), и ионов кислотного остатка, имеющих отрицательный электрический заряд (например, Cl⁻ - - хлорид, I⁻ - - иодид, S²⁻ - сульфид, HCO₃⁻ – гидрокарбонат, H₂PO₄⁻ – дигидрофосфат, CH₃COO⁻ – ацетат...). Поэтому простейший состав хлорида натрия можно представить такой записью: **Na⁺Cl⁻**, или **Na⁺Cl⁻**.

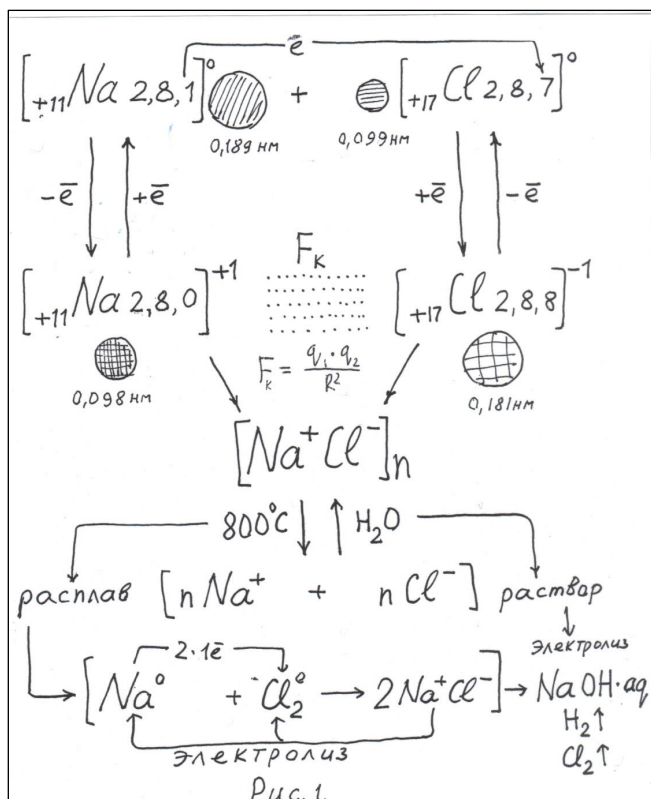
Обратимся к рис.1. Необходимо различать натрий как химический элемент (разновидность атомов) и натрий-вещество (физическое тело). Вещество «натрий» состоит из атомов натрия, связанных между собой металлической связью. Как химический элемент, натрий в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева занимает одиннадцатую клетку, следовательно, в ядре атома натрия имеется 11 протонов, а заряд ядра равен +11. Натрий – элемент третьего периода, следовательно, электроны (а их столько же, сколько и протонов) вращаются на трёх энергетических уровнях. Натрий – элемент главной подгруппы первой группы, следовательно, на внешней электронной оболочке вращается только один электрон. Таким образом, в атоме натрия 2 электрона вращаются на первой оболочке (общий для всех элементов закон), вторая электронная оболочка завершена 8-ю электронами (максимально возможное для второй оболочки число электронов), а на внешней оболочке – подтверждаем – вращается всего 1 электрон. При таком строении атома внешний электрон слабо связан с ядром атома. И радиус атома (рис.1) достаточно велик (1 нм = 10⁻⁹ м – миллиардная доля метра).

В силу такого строения атома натрия (большой радиус атома, один валентный электрон, 8-электронная предвнешняя оболочка) металлическая связь является слабой. Это проявляется в том, что металлический натрий легкоплавок, режется ножом, легко вступает в реакцию с водой, при этом внешний электрон отрывается от атома (а точнее – от коллектива атомов) – этот процесс называется «окислением», – и атом превращается в ион (см. левую часть рисунка). Естественно, что радиус иона меньше. Этот процесс окисления постоянно происходит в природе, так что в свободном состоянии натрий, в частности, на Земле не встречается.

Но восстановить ионы натрия до металлического состояния можно – об этом говорит нижняя часть схемы, и сверху показан обратный процесс – «восстановление» – процесс присоединения электронов.

Хлор как химический элемент находится в том же периоде, что и натрий, но только в конце периода, занимая 17-ю клетку (место элемента в периодической системе), поэтому атом хлора имеет электронное строение, как показано на рис.1. То, что произошло в природе в далёком прошлом, показано на этом рисунке: атомы хлора присоединили по одному электрону, завершив таким способом третий электронный слой (как внешний, но

не как таковой), забрав при этом внешний электрон атомов натрия. Атомы хлора превратились в ионы хлора. Естественно, что радиус иона хлора больше радиуса атома хлора (Рис.1).



Между образовавшимися ионами начинают действовать кулоновские силы притяжения, величина которых, как известно, пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами. Ионы группируются в кристалл, формула которого записана на рисунке. Если кристалл монолитен, то $n = f(m)$, причём, как это понятно, n – число ионов натрия, равное числу ионов хлора в кристалле, $n \rightarrow \infty$.

То есть хлорид натрия – вещество немолекулярного строения. Только при температуре порядка 3000°C хлорид натрия можно перевести в молекулярное состояние (см. рис.5, где значок «дельта» – частичный электрический заряд: $|\delta| < 1$).

Итак, n – функция m , где m – масса кристалла, следовательно, у поваренной соли молекулярной

формулы нет, а любой кристалл – это своего рода «молекула». Такова особенность ионных соединений.

Строение ионного кристалла хлорида натрия

Как же организован ионный кристалл хлорида натрия? Реальный кристалл имеет форму куба (см. фото на рис.2). В узлах кристаллической решётки расположены ионы натрия и хлора, причём таким образом, что каждый ион натрия окружён 6-ю ионами хлора, а каждый ион хлора – 6-ю ионами натрия. Это показано на рис.3.



Рис.2



Рис.3

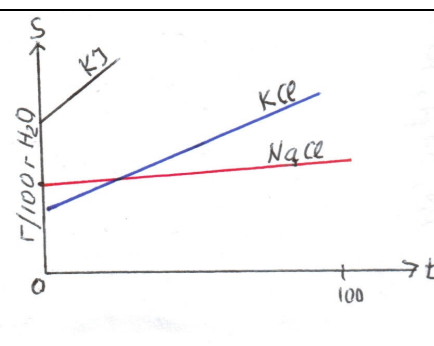
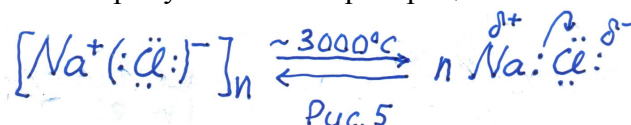


Рис.4

Изогнутая стрелка, берущая начало от общей электронной пары, показывает направление её смещения – в сторону более электроотрицательного атома – хлора.



Такой кристалл плавится при температуре чуть больше 800°C (чтобы разрушить 1 моль NaCl , – см. далее – необходимо затратить 767 кДж теплоты). На строчке «расплав» (Рис.1) видно, что ионы свободно движутся, переходя из расплава в кристалл и из кристалла в расплав. Это явление получило название: «электролитическая диссоциация». Благодаря этому расплав хлорида натрия проводит электрический ток. А кристалл, где ионы жёстко фиксированы, не электропроводен. Если расплав нагревать и далее, соль можно довести до состояния кипения – при температуре 1465°C .

Физико-химические свойства хлорида натрия

Плотность хлорида натрия $\rho = 2,165 \text{ г/см}^3$ (когда соль засыпают в ёмкость, наполненную водой, она сразу опускается на дно). Что при этом происходит? На рис.1 видно, что электролитическая диссоциация наступает и при растворении соли в воде. При добавлении соли в образовавшийся раствор, в котором хаотично движутся ионы натрия и хлора, наступит момент, когда никакое перемешивание уже не поможет – наступает состояние насыщения. Уже при 0°C растворяется чуть меньше 36 г хлорида натрия в 100 г воды. При повышении температуры растворимость соли растёт незначительно: даже при 80°C растворяется всего чуть больше 38 г соли (см. рис.4). Похожий на хлорид натрия хлорид калия растворяется значительно лучше, так как радиус иона калия заметно больше радиуса иона натрия: $(\text{K } 2, 8, 8, 1)^0 - 1e^- = (\text{K } 2, 8, 8, 0)^+$

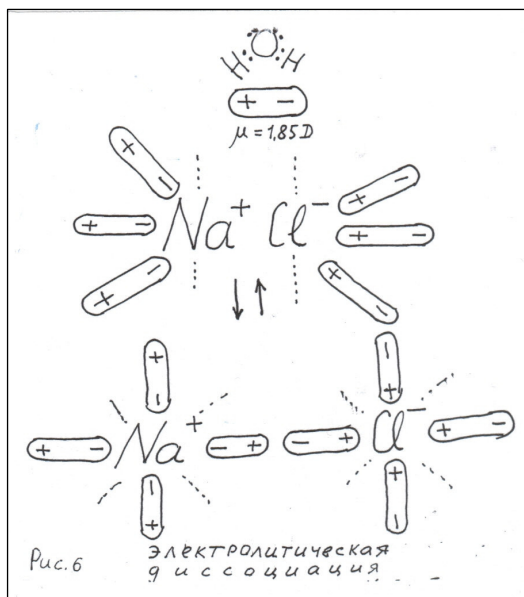
атом: 0,236 нм ион: 0,133 нм

(это имеет значение при «выяснении отношений» этих ионов в клетке).

На этом же рисунке дан график растворимости иодида калия: она велика, так как радиус иодид-иона самый большой среди галогенид-ионов: 0,22 нм.

Как же происходит растворение хлорида натрия? Обратимся к рис.6.

Вода, электронная формула которой дана на рисунке, в силу своего состава и химического строения является диполем. Дипольный момент воды $\mu = e l = 1,85\text{D}$, где e – частичный заряд, l – расстояние между зарядами, D – Дебай (единица измерения – по имени Лауреата Нобелевской премии по химии 1936 года). Углубляться в это важнейшее понятие не будем. $\mu(\text{NaCl}) = 9,0\text{D}$. Молекулы воды своими отрицательными полюсами притягиваются к ионам натрия, а положительными – к ионам хлора.



Сила притяжения между ионами в кристаллической решётке ослабляется (на разрушение кристаллической решётки энергия затрачивается). И гидратированные ионы – $[\text{Na}^+(\text{H}_2\text{O})_5]^+$ и $[\text{Cl}^-(\text{H}_2\text{O})_3]^-$ – переходят в раствор (все ионы электролитов – веществ, растворы или расплавы которых проводят электрический ток, – находятся в гидратированном состоянии; процесс гидратации сопровождается выделением теплоты, а суммарная теплота растворения равна порядка 5 кДж/моль). В частности, «кислое» наш язык ощущает в результате действия на определённую зону языка ионов гидроксония: H_3O^+ . Они образуются при взаимодействии ионов водорода H^+ с молекулой воды. Такие ионы вместе с

хлорид-ионами в желудке образуют соляную кислоту ($\text{pH} = 1,5\text{-}2!$), способствующую активности ферментов, расщепляющих белки до пептидов и аминокислот. Источником ионов хлора является разнообразная пища, пищевая добавка и приправа – поваренная

соль. На рис. 7 звёздочкой обозначена реакция мозга на «кислое» (ионы водорода) или «солёное» (только ионы натрия).

Ионы в клеточных структурах организма

Поваренная соль в форме ионов натрия и хлора имеется во всех органах и тканях, в каждой клетке человека (о животных, растениях здесь мы говорить не будем). На рис.7 показано, в каких органах и жидкостях содержатся ионы натрия и в каких количествах. Видны и механизмы вывода соли из организма. В цитоплазме клеток концентрация ионов натрия $[Na^+] = 10$ ммоль/л (1 миллимоль = 10^{-3} моль, а 1 моль – количество вещества – это приблизительно $6 \cdot 10^{23}$ частиц – атомов, молекул, ионов, электронов...; для NaCl – это 58,5 г). Важно знать и концентрацию ионов калия: $[K^+] = 140$ ммоль/л. И хлора, конечно: $[Cl^-] = 4$ ммоль/л. Во внеклеточной жидкости имеем другую картину: $[K^+] = 5$ ммоль/л, $[Na^+] = 140$ ммоль/л, $[Cl^-] = 103$ ммоль/л.

Какова же роль хлорида натрия в организме человека? Одна из важнейших – поддержание осмотического давления в плазме крови и тканевых жидкостях. Далее: обмен воды в организме, передача нервных импульсов, регуляция кислотно-щелочного равновесия, водно-солевого обмена, обеспечение мышечного сокращения, нормального функционирования ЦНС, транспортирования в клетку важных для синтеза веществ...

Было время, когда пищевую соль называли «белой смертью». Затем оказалось, что поваренная соль, из-за которой случались «Соляные бунты» (как, например, на Руси в 1648 году), не только улучшает вкус, делает его привлекательным, как наркотик; привычным; но просто необходима. Это неизбежное и обязательное вещество, потери которого необходимо восполнять вместе с пищей. Постепенно был найден порог, ниже которого организм заболевает, и граница, выше которой организм погибает; было также найдено оптимальное количество хлорида натрия для организма. Сказанное отражено схематично на рис. 8.

Возникает вопрос: «Как работают ионы натрия?» Очень непростой вопрос. А суть в том, что ионы натрия, калия и другие неорганические и органические частицы обеспечивают функционирование клетки. На рис. 9, в первом приближении, представлен разрез клетки. Это микротело вытянутой формы, внешней границей которого является мембрана. На рисунке названы вещества, из которых она построена. Это отдельный и достаточно сложный вопрос. На рисунке показан только один органоид – ядро. Концентрация ионов натрия вне клетки во много раз превышает концентрацию ионов внутри клетки. А концентрация ионов калия внутри клетки во много раз превосходит концентрацию вне клетки. Ионы натрия концентрируются у поверхности мембраны, а внутри клетки у стенки мембраны концентрируются анионы – отрицательно заряженные ионы. Благодаря этому возникает двойной электрический слой и соответственно электрический потенциал (указано на рисунке). Величина этого потенциала не является постоянной. Он изменяется по мере изменений в составе среды. Образуется своего рода ионный насос, который, открывая каналы (они открываются и закрываются при помощи белковых молекул, реагирующих на химические и электрические факторы), пропускает и выпускает катионы и органические вещества (см. рис. 9). В этих процессах участвуют витамины К и Д, гормон коры надпочечников альдостерон, инсулин... Таким образом, человеческий организм не может существовать без поступления хлорида натрия (все виды продуктов питания плюс поваренная соль).

Важнейшие сферы применения хлорида натрия

В мире ежегодно производят (берут из природных источников) 200 млн. тонн соли, из которых 60 % расходуются в химической промышленности. На рис.1 показано, что электролизом расплава получают металлический натрий, газ хлор. При электролизе раствора получают каустик (NaOH) или каустическую соду – незаменимый в экономике

продукт – и два важнейших газа: водород (H_2) и хлор (Cl_2), без которых невозможно представить органический синтез.

Раньше из хлорида натрия получали хлороводород – HCl (одно из исходных веществ для получения полимеров) и соляную кислоту – водный раствор хлороводорода. Она же и образуется в нашем организме из того же хлорида натрия.

Среди химических применений хлорида натрия – получение пищевой соды (гидрокарбоната натрия: $NaHCO_3$). Метод известен ещё с 1863 года. А уже из этой соли, при незначительном прокаливании, получают кальцинированную соду – Na_2CO_3 , без которой, в частности, немыслимо производство оконного стекла. Как говорится, слава Богу, галита (каменной соли) в природе предостаточно.

30 % соли потребляет пищевая промышленность, 10 % – это другие применения.

Диапазон использования хлорида натрия широк. В медицине хорошо известен 0,9 %-ный водный раствор (изотонический, или физраствор) – используется в случае большой потери внеклеточной жидкости и во многих других случаях. Применяются растворы и более высокой концентрации.

В производстве мыла хлорид натрия применяется в технологическом процессе высаливания. Используется также при производстве красителей, бумаги, текстиля, металлов, резины, масел в нефтехимической промышленности, в котельных для очистки воды, при приготовлении буровых растворов...

Вставка.

Допустим, вам необходимо приготовить 1 кг 10 %-го рассола для засолки огурцов.

Сколько для этого необходимо взять соли и воды?

Есть простой математический закон: $m_p / m_c = 100 / C$.

(последовательно: масса раствора, масса вещества, 100 – масса раствора, C – концентрация, или массовая доля вещества в растворе – масса вещества, содержащаяся в 100 г раствора). Тогда:

$$1000 / m(NaCl) = 100 / 10 \Rightarrow m(NaCl) = (1000 \cdot 10) / 100 = 100 \text{ г.}$$

Так как

$$m(\text{раствора}) = m(\text{вещества}) + m(\text{растворителя}), \text{ то} \\ m(H_2O) = 1000 - 100 = 900 \text{ г.}$$

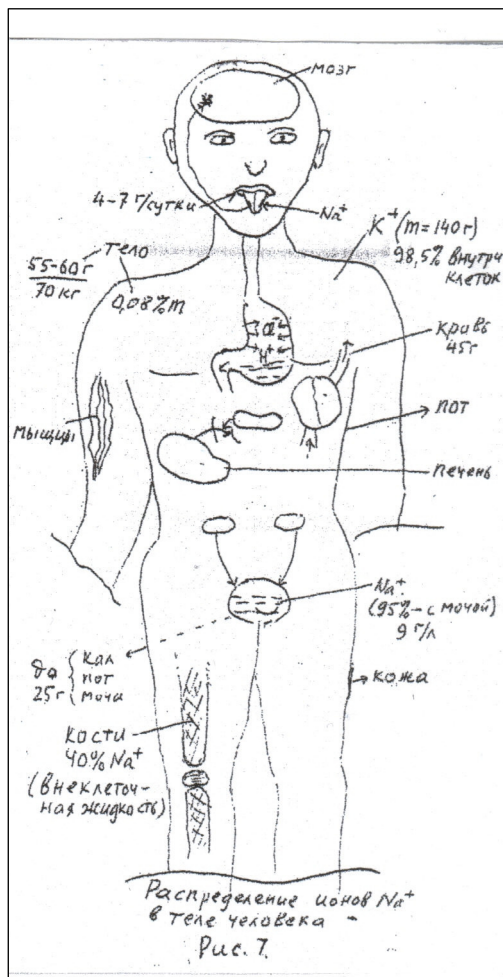
Таким образом, для приготовления одного килограмма десятипроцентного раствора поваренной соли (хлорида натрия) необходимо взвесить 100 г соли, перенести её в любую ёмкость и залить 900-стами граммами воды. Но так как плотность воды численно равна 1 мл воды, то надо измерить 900 мл воды (0,9 л) при помощи измерительной ёмкости. Смесь перемешать до однородного прозрачного раствора.

Расчётом можно доказать, что вся соль растворится. То есть состояния насыщения не будет.

Есть одна особенность хлорида натрия, о которой полезно знать. Это соль, которая не подвергается гидролизу, поэтому она никак не может влиять на степень кислотности и щёлочности среды. Прежде всего – что такое гидролиз? Белки гидролизуют до аминокислот, крахмал – как пример углевода – до глюкозы, жиры – до глицерина и жирных кислот. Реакция взаимодействия названных веществ с водой (гидролиз!) происходит при участии ферментов – биологических катализаторов (более конкретно об этом было сказано выше). Теперь становится очевидным, что понятие «гидролиз» – достаточно широкое: существует ещё гидролиз солей и солеподобных неорганических веществ.

Как уже было сказано, хлорид натрия в воде подвергается электролитической диссоциации:





Ион натрия гидратируется, но в обменное взаимодействие (гидролиз) не вступает. Ион хлора тоже гидратируется, но тоже не реагирует с водой. Так что реакция среды – нейтральная: $\text{pH} = 7$ (посолив суп, вы не будете ощущать повышенную кислотность или щёлочность). В морях и океанах $\text{pH} > 7$ (но не намного), следовательно, там имеются ионы, при гидролизе которых образуются ионы – OH^- (или OH^-). Эти ионы и определяют щёлочность среды от соды, мыла...

Хлорид натрия до сих пор широко используется как противоледный материал (эффективен до -30°C). Речь идёт о технической соли, в которой содержание хлорида натрия – 96-97%.

Что ещё надо знать о пищевой соли?

Для пищевых целей используется практически чистая соль, но часто – с добавками иодида калия (K^+I^-) – в 1 г такой соли содержится 40 мкг иодид-иона (иод необходим для биосинтеза щитовидной железой гормонов – тироксина и трийодтиронина); фторида калия (K^+F^-) – средство для предупреждения кариеса зубов. Бывают и другие добавки, содержащие ионы

кальция и магния, серосодержащие ионы, ионы двухвалентного железа (что важно для синтеза гемоглобина).

Реакция организма на количество потреблённой соли (хлорида натрия)

$\text{min} \leftarrow$	(0,5-0,7 г)	(10-15 г)	(20-30 г)	$\rightarrow \text{max}$
тошнота, неукротимая рвота, болезненные желудочные спазмы, повышенное газообразование в кишечнике, головокружение, нарушение координации движений, судороги (спазм гладкой мускулатуры)	потеря аппетита, притупление вкусовых ощущений, повышенная утомляемость, ухудшение памяти	нормально функционирует ЦНС (процессы возбуждения и торможения, проведение нервных импульсов), полноценные пищеварительные соки (ионы хлора), поддержание в организме водного баланса, транспортировка аминокислот, глюкозы, витаминов через клеточную мембрану (ионы натрия), правильное сокращение мышечных волокон, поддержание осмотического давления, кислотно-основного равновесия	жара, высокая влажность, интенсивная работа,	Артериальная гипертензия=>, ишемическая болезнь сердца, нарушения мозгового кровообращения, рак желудка, заболевания почек, остеопороз, паралич нервной системы

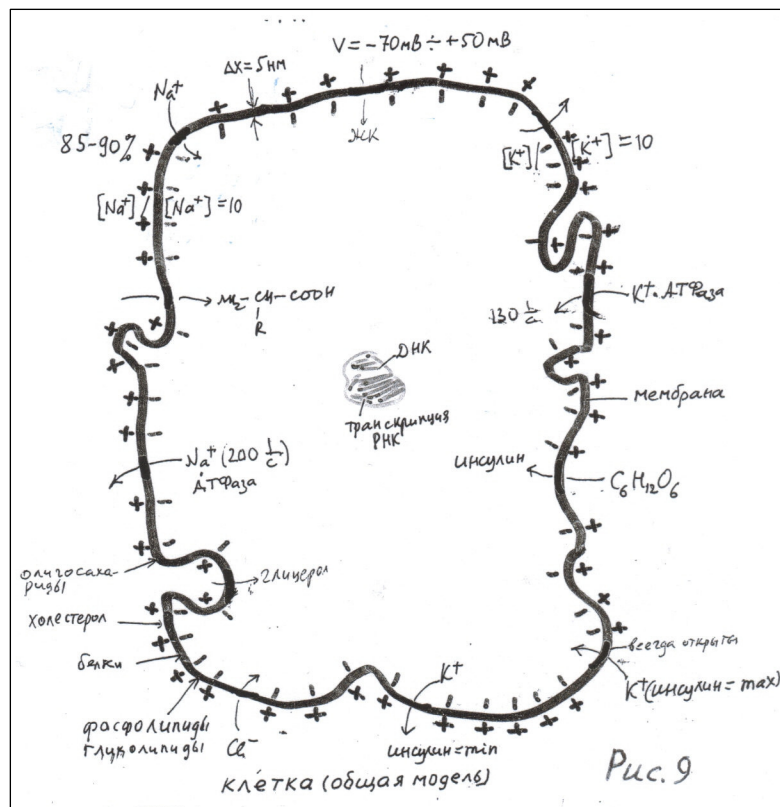
Рис. 8

Морская соль – исторически первый консервант (с 4000-летней историей), используемый человеком. Основано это применение на бактерицидном действии ионов

натрия – как находящихся в растворе (например, 7-10 %-ный раствор для засолки огурцов), так и в узлах кристаллической решётки: ионы натрия, проникая в клеточные структуры микроорганизмов, подавляют их жизнедеятельность. В этой связи интересно отметить, что существуют галобактерии, обитающие в солёных озёрах, в которых $[\text{NaCl}] \geq 12\%$.

Только из специальной литературы можно узнать, что из выращенного кристалла хлорида натрия можно получить пластины для высокоомощных лазерных систем (то есть он обладает полезными оптическими свойствами). Диэлектрическая постоянная хлорида натрия равна 5,9. Твёрдость кристалла – всего 2-2,5 (максимальная твёрдость у алмаза: 10!).

Некоторые количественные показатели содержания хлорида натрия



Прежде всего, назовём воду морей и океанов. В них среднее содержание хлорида натрия и других солей составляет 3,5 %. Если выпарить такую воду до сухого остатка, то на долю собственно хлорида натрия придётся 76-77 %. На долю хлорида натрия в Мёртвом море приходится 14-16 %, а на долю в сухом остатке – не больше 30 %. Из морской воды ежегодно получают 6-7 млн. т соли, что составляет треть мировой добычи.

Кто же они – производители соли? 39 % приходится на долю Европы, 34 % – Северной Америки, 20 % – Азии, 3 % – Южной Америки, 3 % – Океании, 1 % – Африки. Уже в 1780 году в России получали 100 тыс. т соли, и роль

её в жизни общества была выдающаяся.

Назовём содержание соли в некоторых продуктах (в мг на 100 г): рис – 2; фасоль в стручках зелёная – 400; свекла – 260; корень сельдерея – 100; шпинат – 85; шампиньоны – 70; картофель – 30; горошек зелёный – 20; помидоры – 20; капуста красная – 30; капуста белокочанная – 4; молоко коровье – 120; творог – 30; яйцо – 100; мясо: говядина – 78, телятина – 100, свинина – 80; рыба – 50-100; хлеб пшеничный из муки крупного помола – 250. В квашеной капусте – 800; сыре – 800-1500; в тунце консервированном – 500. Даже фрукты (и это понятно) содержат соль: изюм – 100; чёрная смородина – 15; яблоки – 8; апельсины – 20-50; бананы – 54; ...

Источники

1. Майя Гоголан. Законы полноценного питания. – М.: «Проф-Пресс», 1999.
2. Ефим Шмуклер. Химия у нас дома. – Бостон: Второе дыхание, № 8-9, 2005. – с.104-110.

3. Ефим Шмуклер. Химический аспект человека. – Бостон: Второе дыхание, № 7, 2004. – с.51-60.
4. Ефим Шмуклер. Первичная информация о структуре питания. – Бостон: Второе дыхание, № 11-12, 2006. – с. 113-123.
5. Органоиды, Рибосома, Механизм трансляции, Клеточные мембраны, Клеточная стенка, Клеточное ядро, Хлоропласт, Митохондрия, Лизосома, Аппарат Гольджи. – Википедия.
6. Потенциал действия. – Википедия.
7. Соль, Хлорид натрия. – Википедия.
8. Морская вода. – Википедия.
9. Поваренная соль. – Энциклопедия «Кругосвет», 26 марта 2009 года.
10. Способы консервирования. Водно-солевой обмен. Мембрана клетки. Насос, который не смастерил бы и Левша. Натрий и калий – соратники и соперники. – Google. ru