

Биофизика

УДК 541.2:543.3:546.79:546.212.02+577.38+577.356+577.359+628

Шкавро З. Н.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ
В КОНТЕКСТЕ МЕТАБОЛИЗМА ЖИВОЙ КЛЕТКИ**

Институт коллоидной химии и химии воды им. А. В. Думанского НАН Украины, г. Киев

Описаны некоторые аномальные свойства воды. Рассмотрены молекулярные структуры разбавленных водных растворов (водных систем) к которым относится и питьевая вода. Показано влияние примесей воды различной природы на формирование молекулярных водных структур. Роль молекул воды в биологическом метаболизме рассмотрена на примере трансмембранных процессов живой клетки и функционирования гуморальной системы организма. Показано, что понятие структурирование питьевой воды, эксплуатируется многими авторами с рекламной целью, преследуя коммерческие интересы.

Ключевые слова: структура воды, живая клетка, питьевая вода, водный раствор.

Побуждением к написанию этой работы послужило то, что с рекламной целью, нам интенсивно пропагандируют различные спекулятивные способы структурирования питьевой воды. В связи, с чем становится важным вопрос: каковы они есть эти водные структуры? Впору разобраться и с тем, нужна ли живой клетке вода определенной структуры, или она сама эта клетка (*появившаяся не без участия H₂O*) способна создавать приемлемые для своего метаболизма структуры, включающие воду?

Перед рассмотрением данных вопросов, восстановим в памяти часть давно известных нам физико-химических свойств так знакомой всем воды.

Вода — минерал, который обладает многими аномальными свойствами в сравнении с другими жидкостями. Отличительные ее физико-химические особенности по сравнению с другими жидкостями и обуславливают ее уникальность. Своеобразие свойств воды, изменения в водных растворах в зависимости от природы ее примесей обеспечивает саму возможность жизни на нашей планете и протекание биохимических процессов в целом.

Из основных свойств воды, следует выделить, то, что она является великолепным растворителем как твердых, так жидких, и газообразных веществ, что особо важно для осуществления биохимического метаболизма.

И так, некоторые аномальные свойства воды как жидкости:

- наибольшее поверхностное натяжение (исключение — ртуть),
- максимальная диэлектрическая проницаемость,
- высокая температура плавления,
- большая удельная теплоемкость,
- интенсивное уменьшение вязкости с повышением температуры.

Кроме того, среди соединений водорода с элементами подгруппы кислорода она имеет:

- наименьшую летучесть,
- наивысшую температуру кипения и замерзания.

Структура молекулы H₂O предопределяет все необычные свойства воды, а с ними в свою очередь тесно связано существование жизни. В силу того, что природная вода состоит преимущественно из противевых молекул — то есть H¹₂O¹⁶ (на 99,73 %), то на анализе структуры такой молекулы и свойств воды, обусловленных данной структурой, мы и остановимся. Хотя, следует напомнить, что молекулы воды имеют 135 изотопных разновидностей, поскольку в природных условиях водород встречается в виде 3 изотопов: протия — H¹, дейтерия — D², трития — T³, и кроме того искусственно получены 2 короткоживущие изотопы водорода это H⁴, H⁵, а кислород имеет 9 следующих изотопов: (O¹³, O¹⁴, O¹⁵, O¹⁶, O¹⁷, O¹⁸, O¹⁹, O²⁰, O²⁴) [1].

Структура молекулы воды, предопределяет физико-химические свойства водных растворов. Специфика структурных изменений зависит также от фазового состояния воды (лед, жидкость, пар).

Исходя из того, что у атома кислорода на внешней электронной оболочке из 6 электронов два не спарены, то в молекуле воды они взаимодействуют с 2 атомами водорода. Объединение происходит посредством *sp* гибридизации электронного облака донора (водород) и акцептора (кислород), так образуется ковалентная связь в молекуле воды. Известно, что молекулы находятся в устойчивом состоянии при наименьшей потенциальной энергии. В таком устойчивом состоянии молекулы воды, образующийся, в ней, валентный угол между O-H связями (как результирующая баланса сил отталкивания, атомов водорода друг от друга и притяжения к атому кислорода), составляет $104,5^\circ$, то есть, близок к тетраэдрическому ($109^\circ 5'$).

На рис. 1 представлена общепринятая структура молекулы воды с тетраэдрической конфигурацией электронного облака (а), и схема ионных взаимосвязей (б) в ней.

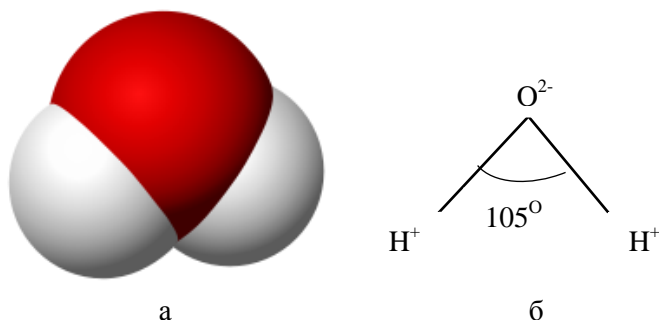


Рис. 1.

Расстояние между ядрами атомов водорода в молекуле составляет 0,15 нм, а между кислородом и водородом 0,096 нм.

Поскольку величина (безразмерная) электроотрицательности (способности химических элементов притягивать валентные электроны) кислорода 3,5 (согласно шкале Полинга) больше по сравнению с таковой для водорода (2,1), то электронная плотность в молекуле воды смещена к атому

кислорода. Таким образом, в области атома кислорода сосредотачивается отрицательный заряд, соответственно в области двух атомов водорода, возникает положительный заряд. Благодаря асимметрии зарядов, в целом электронейтральная молекула воды, приобретает свойство диполя (дипольный момент 1,86 дебая).

Такие полярные молекулы обладают напряженностью электрического поля и за счет сил взаимного притяжения разноименных полюсов способны к электростатическому взаимодействию между собой, и с другими ионами или молекулами. Таким образом, вода способна взаимодействовать с веществами несущими как положительный, так и отрицательный заряд. Кроме того, в области ближнего действия, молекула воды поляризует соседние электронейтральные молекулы. В силу значительной диэлектрической проницаемости воды (81), соли в ней диссоциируют на ионы, то есть легко растворяются. Поскольку любая молекула это динамичная система, и кроме того, молекула воды имеет значительный дипольный момент, то вращение таких диполей, обуславливает ее ориентацию и подвижность. Свойство воды растворять вещества обусловлено и тем, что наименьшие размеры иона водорода по сравнению с другими атомами позволяет ему внедряться в электронное облако поляризованного отрицательно заряженного атома другой молекулы. Ведь водород в молекуле воды превращен собственно в протон и способен образовывать с другими молекулами водородные связи. Посредством таких водородных связей молекулы ассоциируются, образуя различные структуры. Довольно устойчивое образование представляют собой спаренные молекулы воды $(H_2O)_2$, поскольку взаимодействуют посредством 2 водородных связей. Такое, объединение двух молекул воды, имеет еще две свободные водородные связи (рис. 2). То есть, каждая молекула, такого димера, способна присоединить другие молекулы, в том числе и самой воды:

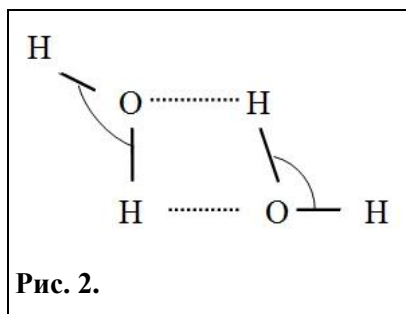


Рис. 2.

Молекулярные ассоциаты образуются и распадаются в доли секунды, согласно обратимой реакции $xH_2O \leftrightarrow (H_2O)_x$. Время их жизни и размеры агрегатов (кластеров) зависят от температуры среды, и увеличиваются с ее понижением.

Согласно теории Бернала Д. и Фауллера Р. жидкая вода, имеет льдоподобную структуру, представляющую собой разветвленную объемную сеть водородных связей. Су-

существуют другие структурные модели межмолекулярного взаимодействия в воде, но все они базируются на учете водородных связей и тетраэдрической направленности внутримолекулярных связей [1, 2]. В структуре льда атом кислорода одной молекулы, взаимодействует с двумя другими молекулами воды посредством водородных связей, и каждая молекула находится в окружении 4 соседних молекул:

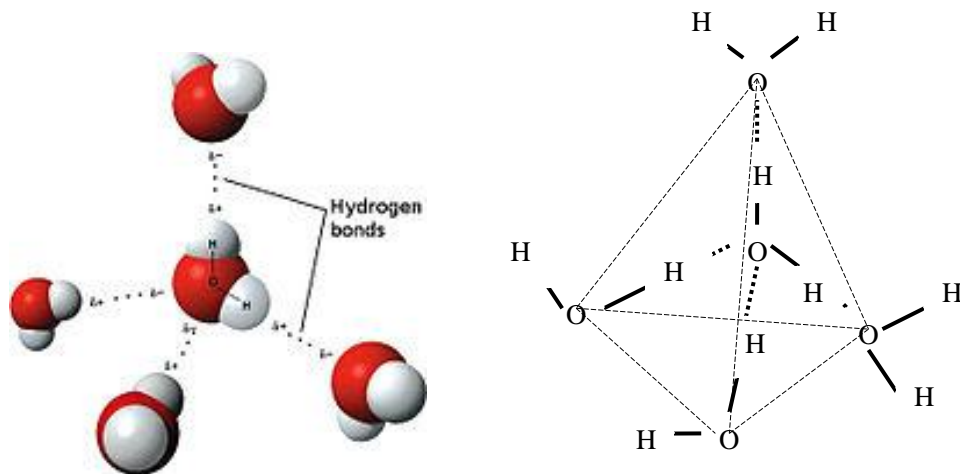


Рис. 3.

Водородные связи, выступающие за пределы, очерченного на рис. 3, воображаемого тетраэдра, обеспечивают взаимодействие с другими молекулами воды, так формируется объемная сетчатая молекулярная структура (континуальная). В жидкой воде, при комнатной температуре подобная структура довольно лабильна.

Не малый вклад в способность переориентаций и межмолекулярных взаимодействий, кроме водородных связей вносят индукционные, дисперсионные силы (*Ван-дер-Вальса*) [1]. Поэтому, различные примеси в воде сильно влияют на межмолекулярные взаимодействия, происходящие в ней, то есть обуславливают изменение структурных связей.

В чистой жидкой воде такие льдоподобные структуры постоянно образуются, и распадаются (в доли секунды), поскольку энергия водородных связей составляет всего лишь 4-5 ккал/моль. Сравнивая, например, с энергией химических внутримолекулярных связей, которые измеряются десятками ккал/моль, водородные меньше на порядок. Кроме того, дополнительный вклад в их разрушение вносит чередование поступательных и колебательных молекулярных движений, которое осуществляется со скоростью 10^{-12} - 10^{-11} с.

На основании использования методов Монте-Карло и молекулярной динамики авторами [3] произведено математическое моделирование свойств водных систем в объемной фазе и сделан вывод о том, что структуру воды следует рассматривать как равномерную, случайную пространственную сетку водородных связей, включающую лишь малое число изолированных кластеров. Водородные связи в такой сетке напряжены или ослаблены, она подвержена спонтанной перестройке под действием теплового движения [3].

Известно, что сами молекулы воды способны диссоциировать (*в зависимости от температуры и давления, согласно обратимой реакции $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$*) и поэтому в ее объеме присутствуют ионы H^+ и OH^- . Наличие ионов, самой воды среди молекул, обуславливает неоднородность ее состава. Несмотря на то, что степень диссоциации воды незначительна, и содержание в ней ионов водорода и гидроксильных групп невелико, как заряженные частички, они вносят свой вклад в ориентацию и поляризацию молекул воды. Наличие таких катионов и анионов среди молекул воды позволяет рассматривать систему в целом как квазигетерогенную структуру. Посредством водородных связей, молекулы воды способны объединяться также в кольцевые структуры, Таким образом, возникают обособленные ассоциаты, состоящие из 3, 5, 6 молекул в объеме сетчатой структуры. Отсутствие колец из четырех молекул воды, объясняется тем, что в таком случае угол между водородными связями составит 90° , что обусловит сильную их напряженность. Кольцо из 5 молекул воды, имеет угол между водородными связями

105° и соответственно характеризуется наименьшей их напряженностью. На основе таких первичных ассоциатов, достраиваются довольно крупные кластеры. Кроме того, одиночные молекулы воды могут внедряться в «пространство», изображенного на рис. 3 тетраэдра. Аномально стабильным, считается кластер вида $H^+ (H_2O)_2$, а также включающий в свою структуру 21 молекулу воды. Устойчив кластер из 20 молекул воды, его моделью является додекаэдр, в одной из вершин которого находится ион H_3O^+ [3]. На рис. 4 представлена структура додекаэдра [3].

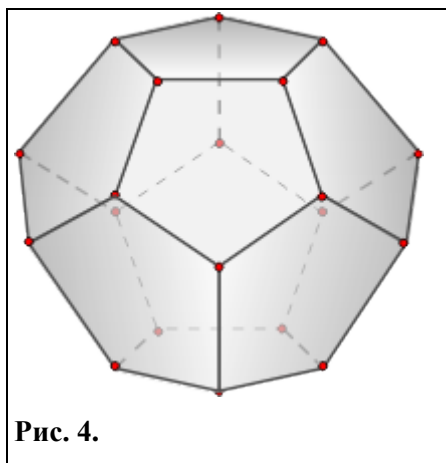


Рис. 4.

Стабилизация такого кластера (рис. 4) обеспечивается наличием свободного протона, который быстро перемещается по водородным связям, объединенных молекул.

Расчет систем, состоящих из ансамбля молекул, по методу молекулярной динамики и методу Монте-Карло, позволил установить, что кластеры, с количеством молекул до 200, относятся к аморфным структурам. Аморфные кластеры, состоит из неправильных колец, содержащих от 3 до 6 молекул. Кластеры, в структуре которых, боле 200 и до 2000 молекул воды имеют кристаллическую структуру [3]. Устойчивость кластерных структур повышается, приближаясь к области температуры замерзания воды.

Таким образом, выше изложенный материал дает некоторое представление о короткоживущих структурах самой воды, но, как правило, мы постоянно имеем дело с

водными растворами, к ним относиться и интересующая нас питьевая вода. Поскольку вода является прекрасным растворителем, благодаря высокой реакционной способности маленьких по размеру молекул (диполей), взаимодействующих как с катионами, так и анионами, и поляризованными недиссоциированными молекулами, то в природе практически нет чистой воды. Даже в дистиллированной воде растворены газы, а иногда и летучие органические вещества. Таким образом, мы постоянно сталкиваемся с разбавленными водными растворами (системами к которым применимы законы термодинамики). Так в природных источниках воды минеральные и органические примеси содержатся в истинно растворенном, коллоидном или высоко дисперсном состоянии. Поскольку питьевая вода тоже раствор, то желательно, чтобы ее примеси были полезными для здоровья, а не вредными или хотя бы отсутствовали вовсе.

В настоящее время рынок в изобилии рекламирует и предлагает аппараты с различными способами структурирования воды или же готовую, так называемую, структурированную воду. Но, как было показано водная среда, образует короткоживущие структуры (время жизни доли секунды). Следует обратить внимание на то, что устойчивые водные структуры образуются при наличии в воде примесей. Добавлю, чем устойчивее такие структуры, тем чаще всего они вредны для живых организмов. Так, например, при наличии в воде таких примесей как гуминовые, поверхностно-активные вещества (ПАВ), нефтепродукты, образуются термодинамически- и агрегативно- устойчивые, трудно разрушаемые структуры. Время существования (*при постоянных параметрах, температуры, давления, концентрации раствора*) таких структурных систем может измеряться часами, сутками и более.

Истинные растворы это системы, состоящие из атомов и молекул, размер которых не превышает 5 нм. При наличии в воде примесей с размерами, превышающими 5 нм, водные системы относятся к дисперсным, то есть гетерогенным. Поскольку состоят из дисперсионной среды (*сплошной фазы*) и дисперсной фазы (*распределенной в дисперсионной среде*). В таких системах межмолекулярные взаимодействия, протекающие в объеме однородной среды и на границе раздела фаз значительно отличаются. Силы поверхностного натяжения на границе раздела фаз влияют на химическое и физическое взаимодействие систем жидкость — твердое вещество, жидкость — газ. Поэтому, при наличии примесей (веществ любой природы) в водной среде наблюдаются структурные преобразования.

Наличие в воде «инородных» ионов, например, поваренной соли Na^+ и Cl^- приводит к кардинальным структурным изменениям в ней. Сами ионы гидратируются (*окружаются, молекулами воды ориентированными к ним противоположно заряженными полюсами*), при этом структура растворителя (*воды*) естественно перестраивается, упорядочивается. Как результат

вокруг ионов образуется многослойный шар диполей (молекул воды). Размер иона, конфигурация его электронной сферы, заряд, определяют силу взаимодействия с диполями (H_2O) и трансляционного влияния на их дальний порядок [1]. Многозарядные ионы, малого размера характеризуются сильным взаимодействием с окружающими их молекулами воды, что обуславливает их совместную диффузию с гидратной оболочкой. Сила взаимодействия воды и ионов с высокой плотностью заряда обеспечивает образование таких устойчивых структур как аквакомплексы. Поляризующее воздействие катионов на молекулы воды сильнее по сравнению с анионами (исключая F^- , OH^- , S^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-}), поэтому первые более гидратированы [3]. На структурные преобразования водных систем, кроме температуры и давления влияет концентрация примесей. Например, в 0,1 молярном растворе электролита молекулы воды удалены от ионов в среднем на расстояние, не превышающее 10 \AA , то есть соответствующее 3,6 диаметрам молекулы воды, таким образом, влияние ионов распространяется практически на все молекулы воды этого объема [3].

С добавлением в воду соли, образование системы раствор, происходит при обоюдном разрушении структуры твердого вещества и жидкого. Энергетический процесс взаимодействия при этом может иметь как эндотермический, так и экзотермический характер. Растворение, начинается с понижения энтропии (S) раствора в целом. Затем энтропия повышается, в силу упорядочивания структуры растворителя (воды). Так, происходит деструкция старой и самоорганизация новой структуры. Частота обмена молекул воды в гидратных оболочках составляет $10^{-4} - 10^{-6}$ с. [3]. Следует отметить, что не все водные растворы имеют аналогичные изменения. Ведь примеси в воде могут относиться к полярным или неполярным, характеризоваться гидрофильными (*любящие воду*) свойствами или гидрофобными (*отталкивающие воду*). В водной системе, в области неполярных групп, молекулы воды образуют структуры, взаимодействуя друг с другом, их подвижность при этом замедленная.

Так при наличии в воде, например, поверхностно активных веществ (ПАВ) структурные изменения в системе зависят от свойств ПАВ. Поскольку они могут быть неионогенными или ионогенными (катионные и анионные). Молекулы ПАВ амфифильны, состоят из углеводородной и полярной части рис. 5 (а). У неионогенных ПАВ, полярная часть молекулы гидрофильна, легко взаимодействует с водой (гидратируется). Таким образом, на поверхности воды такие молекулы располагаются гидрофильной частью, а гидрофобные хвосты направлены в воздух. В объеме воды, образуются сферические структуры по аналогичному принципу (рис. 5 б) [5]:

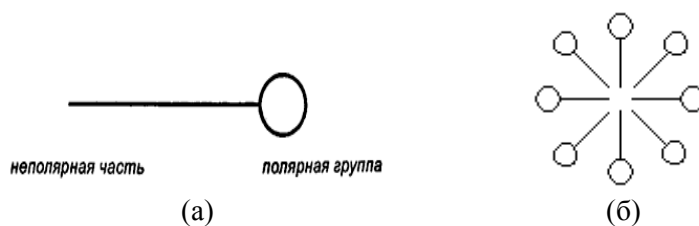


Рис. 5.

Молекулы в воде самопроизвольно ассоциируются, и в зависимости от их концентрации и физико-химической природы, образуют структуры различной конфигурации.

Принцип взаимодействия с водой и ее примесями ионогенных ПАВ, рассмотрим на самых простых представителях, а именно стеарате натрия, то есть обычном мыле, и синтетическом — алкилбензолсульфонате натрия (рис. 6) [5].

В воде молекулы ПАВ диссоциируют на ионы, например, в случае внесения в воду мыла, образуется гидратированный катион Na^+ и углеводородный анион $C_{17}H_{35}COO^-$. Таким образом, Na^+ окружают молекулы воды, которые влияют на взаимодействие молекул воды в следующих слоях его окружения. Углеводородный анион $C_{17}H_{35}COO^-$ ориентирован в воду, отрицательно заряженной своей частью, а противоположная гидрофобная может ориентироваться к себе подобной как на рис. 5 (б), или при наличии в воде таких примесей как жиры, взаимодействует с ними. Таким образом, ПАВ концентрируются на поверхности раздела воды и жира, обуславливая переструктуризацию всего раствора.

Мы остановились лишь на некоторых вопросах структурных преобразований в раство-

рах, содержащих ПАВ, а их в настоящее время в предлагаемом коммерческими структурами ассортименте более 500 разновидностей [5].

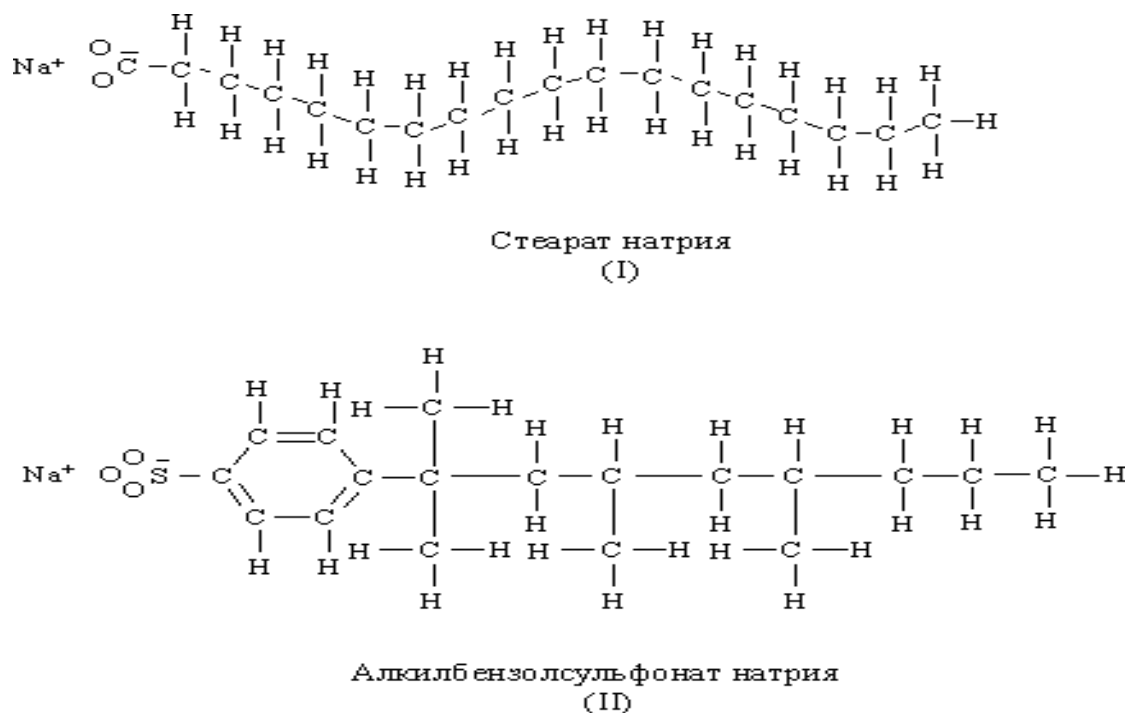


Рис. 6.

Влияние поверхностных сил в пленках носит совершенно иной характер, так Согласно В. Я. Антонченко вода в тонких пленках, ограниченных параллельными плоскостями, находится в виде квазидвухмерных структур, подобно жидким кристаллам. Для молекул воды в пленках характерна пространственная, ориентационная и энергетическая упорядоченность. Молекулы воды ориентируются, прилегая к параллельным, ограничивающим пленку поверхностям так, чтобы оптимизировать водородные связи между слоями, что реализуется за счет деформации связей между этими слоями. Так возникает эффект «нерастворяющего объема» [3].

Как видно из выше изложенного под влиянием молекул воды происходит самоорганизация структурных образований ее примесями, с одновременными преобразованиями межмолекулярных взаимосвязей самой воды.

В наибольшей степени, изменяют межмолекулярную структуру воды, ионы органических веществ, но минеральные примеси также вносят значительный вклад в эти преобразования.

Поскольку для молекул воды характерно диполь-дипольное взаимодействие, то естественно внешние поля оказывают существенное влияние на их электростатическое ориентирование, а значит образование тех или иных водных структур. Воздействие постоянного магнитного поля на структурные преобразования заключается в ориентации молекул воды в одностороннем порядке, естественно структура водородных связей при этом разрушается. Ориентационное положение ионов и катионов тоже изменяется, создаются благоприятные условия для образования центров кристаллизации в объеме воды. На таких центрах происходит достраивание кристалла ионами растворенных в воде солей, например, магния, кальция и как результат, структура твердой фазы образуется в объеме воды, а не на поверхности сосуда в котором она находится. Поэтому, чаще всего технология магнитной обработки воды используется в процессе подготовки ее для паросиловых установок. Созданием условий для кристаллизации солей в объеме воды, предотвращается образование накипи на поверхности труб. В отсутствие же магнитного поля, стенки труб, являясь твердой фазой, служат центрами кристаллизации растворенных в воде солей, последние на них и оседают. Магнитные аппараты используют в домашних условиях, прикрепляя на трубопровод, с целью предотвращения накипи на стенках бытовых приборов, например, стиральной машины, чайника.

Что касается низкотемпературных режимов структурообразования водных растворов, то они имеют свои особенности. При охлаждении воды снижается подвижность молекул и возрастает сила ориентации и межмолекулярного взаимодействия, что способствует созданию более упорядоченной структуры.

В последнее время, довольно цитируемой работой при рекламе структурированной воды являются работы Эмото Мисару. Очевидно, нет надобности, подробно останавливаться на результатах этих работ, информацией о которых изобилует Интернет. Хочу только обратить внимание на то, что даже из краткого описания методики получения им водных ассоциатов, видно, что они образованы и исследованы в области температур не превышающих 4°C. (*Эмото Мисару, Методика. Капельки воды в чашке Петри, резко охлаждаются, помещают в холодильную камеру, совмещенную с микроскопом. Исследуют кристаллы при температуре минус пять градусов, фотографируя наиболее характерные* [3]). Из этого следует, что изучена структура, не жидкой воды, а льда. Все авторы подобных работ демонстрируют фотографии снежинок, структура которых имеет четкую либо нарушенную симметрию.

В работах приводятся, исследования по влиянию слов на структурирование воды. Предлагаю Вам самостоятельно убедиться в том, что образование и разрушение водных структур, зависит от влияния гармоничных или дисгармоничных колебаний, а также качественного и количественного состава примесей в ней. Не имеет значения, каким методом, с помощью какого аппарата, прибора получены волны. Например, звука издаваемого при помощи гортани в виде брызжащего голоса, ударов молотка по металлическому или другому предмету, барабанной палочки, какофонии оркестра. Важно создание дисгармонии звуковых колебаний и мы получим разные водные структуры, но все они будут ассиметричны или раздроблены. Также Вы получите разные, но уже красивые узоры, или кластеры с той или иной симметрией, воздействуя на воду гармоничными звуковыми колебаниями, созданными мелодичным голосом, флейтой и т. п. А при наличии в воде ПАВ, нефтепродуктов и т. д. даже воздействие волн не потребуется для получения определенной структуры.

Но, главный вопрос даже не в этом, а в том нужна ли «поставка» структурированной воды живой клетке? Или клетке нужны сами молекулы воды, а уж в ней или на ее поверхности образуются определенные водные структуры. И почему талая вода для живых объектов предпочтительней? Что лежит в основе структурирования воды, в том числе питьевой?

Как отмечалось, питьевая вода это разбавленный раствор, включающий как минимум газы (кислород, углекислота), ряд солей. Кроме того, хотя природная вода преимущественно представлена противеями молекулами, но в незначительном количестве включает и молекулы дейтерия (тяжелой воды). Напомню, что относительно образования молекулярных водных структур и длительности их существования нужно говорить в контексте с температурным режимом экспериментальных исследований. Чем ближе интервал к температуре замерзания воды, тем больше время жизни и размеры ассоциатов, а также сохранение дальнего порядка в структуре межмолекулярных взаимодействий. При повышении температуры нарушается не только дальний порядок в структуре, но и ближний, в результате колебательных, вращательных движений молекул, ослабляющих водородные связи и ион — дипольные взаимодействия.

Когда в рекламе пишут о различной структуре, минеральных вод, сравнивая фотографии изморози образующейся на стекле, например, после нанесения Моршинской воды или Ессентуки, то естественно, они отличаются, поскольку в их состав входят различные соли (примеси) и в иных концентрациях и соотношениях. Но для человека, потребляющего такую воду в лечебных целях, важен сам солевой состав минеральной воды, и не имеет значения какие структуры, образуются при охлаждении этой воды.

В рекламных статьях рассмотрены в основном структуры межмолекулярных связей воды в температурном режиме 0–4°C.

Рекомендуют структурировать воду методом замораживания, поскольку талая вода благотворно влияет на биологические объекты. Но если быть точными, то замораживание, это собственно метод очистки воды, преимущественно ее опреснения. В этом методе используется специфика фазовых переходов в водных растворах при изменении температурного режима. Суть его состоит в том, что при понижении температуры раствора и образования кристаллической структуры молекулы воды формируют чистый кристалл, максимально вытесняя примеси

на периферию. Кроме того, в разбавленных растворах, лед образуется, в первую очередь из противевых молекул воды. Поэтому, способом замораживания удастся удалить даже молекулы дейтерия, то есть самой воды, но иного молекулярного веса, в молекулах которого живые организмы не нуждаются. Вот поэтому талая вода (из активных противевых молекул) может быть полезна для биологических объектов. Кроме того, в работе [3] высказано предположение, что биологическая активность талой воды может быть обусловлена тем, что она иногда обогащена редкими элементами. Так, благодаря способности редких элементов к образованию сильных водородных связей при наличии их в растворе они активно включаются в процесс образования структуры льда. Вместе с тем, автор считает, что пока однозначного ответа на вопрос положительного влияния этого свойства на рост растений нет.

Подчеркнем, чем чище исходная вода, подлежащая замораживанию, тем проще ее очистить одноразовым замораживанием в домашних условиях. При высоких концентрациях примесей в воде, например, солей (*морская вода*), требуется неоднократное замораживание с последующим оттаиванием, отделением рассола и следующим замораживанием.

На процесс замораживания воды в домашнем холодильнике, влияют условия замораживания, принцип циркуляции в нем хладагента. Кроме того, соотношение размеров ширины и высоты выбранного для воды сосуда также немаловажно. Полежаев Ю. М. и Русинова А. А. считают оптимальным соотношение ширины к высоте 1: 2 или 3.

Чтобы убедиться, какая часть воды после размораживания должна быть слита в раковину, а какая в стакан, в Ваших условиях, стоит самому провести эксперимент. Воду следует слегка подкрасить, например, заваркой чая. Если воду поставите в морозильник в широком открытом сосуде, то вы увидите, образование льда начинается на поверхности. Этот лед прозрачен, а примеси (желтая окраска) будут ниже. Если вы поставите, замораживать подкрашенную воду в закрытой бутылочке, а верхнюю ее часть хорошо утеплите, намотав шерстяную ткань, то лед без примесей образуется у дна. Не будем останавливаться на примерах кристаллизации воды при нижней или верхней подаче хладагента в холодильник. Каждый из Вас, при желании, после замораживания подкрашенной воды, может визуально определить наиболее чистую зону в зависимости от выбранного сосуда и условий.

Мы вкратце остановились на принципах структурообразования некоторых водных растворов в определенных условиях. Вне нашего внимания остались закономерности организации молекулярных взаимодействий водной среды в примембранных слоях различных синтетических мембран, в самой мембране и в процессе трансмембранного переноса, но это интересная тема отдельной статьи. В этой же работе довольно кратко ознакомимся с функционированием клеток и мембран биологических объектов, и участием воды в их метаболизме.

И так, вода это инертный растворитель и ее молекулы химически не изменяются при взаимодействии с веществами, которые она растворяет. В растениях реакции гидролиза, транспорт питательных веществ осуществляются молекулами воды, которые, кроме того, являются источником водорода в процессе фотосинтеза: $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Транспортную функцию, вода как растворитель выполняет и в процессах метаболизма живых организмов, включая функционирование кровяной, лимфатической пищеварительной систем и т. д. [6]. Кроме того, все среды организма (кровь, лимфа, внутри- и внеклеточная жидкость) немислимы без воды, они относятся к коллоидным водным растворам [7]. Следует отметить, что вода в жидком состоянии практически несжимаема, и поэтому за счет гидростатики она обеспечивает объемность клетки.

Известно, что жизнеспособность живых организмов обеспечивается синтезом органических веществ в результате метаболизма и взаимодействия с окружающей средой. Такие обменные процессы возможны благодаря взаимодействию клеток организма между собой как систем, совокупности клеток отдельного органа как системы и организма как системы — целого. Обособленность клеток и взаимодействие между ними осуществляется посредством мембран. Таким образом, в этой связи главный интерес представляет рассмотрение трансмембранных процессов, осуществляемых с участием воды. В наиболее простом трансмембранном процессе движущей силой является градиент давления (*разница между осмотическим и гидростатическим давлением по разные стороны мембраны*). Такое осмотическое давление зависит от концентрации раствора. Самопроизвольно растворитель (вода) движется в сторону более концен-

трированного раствора, то есть осуществляется выравнивание концентраций (по принципу Лешателье) (рис.7).

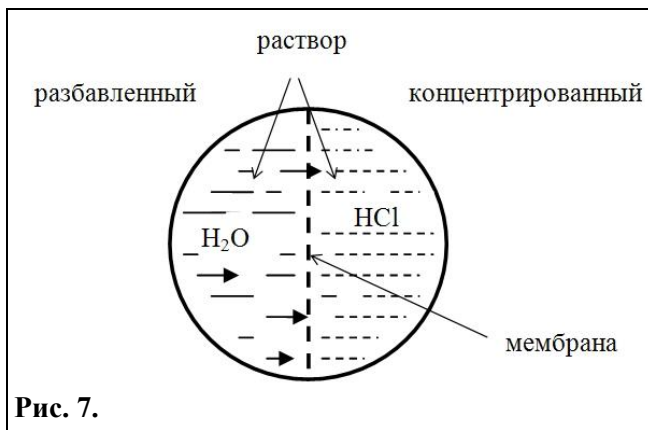


Рис. 7.

Но в основном трансмембранные процессы намного сложнее. Прежде чем рассмотреть роль воды в переносе различных веществ, необходимых для метаболизма клетки следует хотя бы упрощенно представить принципиальную структуру биологической мембраны. В структуре мембран растений довольно большой удельный вес принадлежит углеводам. Мембраны живых организмов это преимущественно белково-липидные структуры (95%).

Мембранные липиды ответственны за ее механическую целостность и гидрофобные свойства. Белки в мембранах ответственны за катализ и ферментативные процессы. Кроме того белки являются рецепторами и выполняют функцию распознающих элементов, осуществляют трансмембранный перенос низкомолекулярных веществ и т. д. [8].

Упрощенную модель структуры биологической мембраны без учета многообразия и различий (например, клеточные, цитоплазматические, ядерные) можно представить следующим образом. Структура мембраны формируется бислоем липидов. Например, клеточных мембран — фосфолипидами, стероидными липидами, сфингомиелинами [8]. Гидрофобной частью (хвостами) молекулы липидов повернуты в толщу самой мембраны, а гидрофильной (головками) наружу рис. 8.

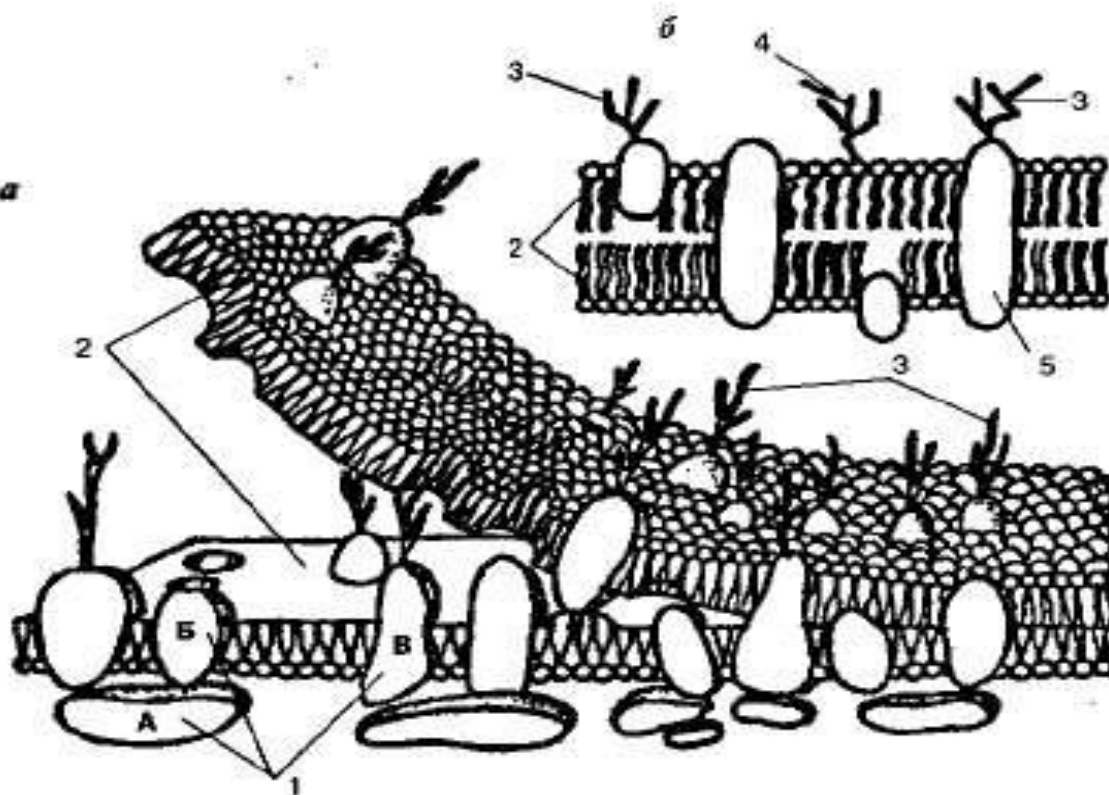


Рис. 8. Схема строения мембраны:

а — трехмерная модель; б — плоскостное изображение; 1 — белки, примыкающие к липидному слою (А), погруженные в него (Б) или пронизывающие его насквозь (В); 2 — слои молекул липидов; 3 — гликопротеины; 4 — гликолипиды; 5 — гидрофильный канал, функционирующий как пора.

Таким образом, как к окружающей среде, так и внутрь содержимого клетки липиды повернуты гидрофильными головками. Внутренние участки углеводородной цепи в центре бислоя довольно подвижны, поскольку длина их гидрофобных цепочек различна (2 рис. 8) кроме того, они жестко не закреплены, например, как со стороны гидрофильной головки. В центральной части бислоя присутствуют катионы, фосфолипиды, оказывая влияние на такие свойства мембраны как плотность, а отсюда и ее проницаемость. Гидрофобность внутреннего слоя мембраны придает ему свойство практически непроницаемого барьера для полярных молекул, таким образом, обеспечивается противодействие утечке содержимого клеток.

Процесс трансмембранного переноса веществ осуществляется преимущественно с участием белков. В структуре мембраны различают белки интегральные, погруженные в толщу мембраны или пронизывающие ее насквозь и периферийные с функциональными гидрофильными группами на поверхности. В интегральных белках преобладают гидрофобные участки поверхности, которые взаимодействуют с неполярной средой внутренней части мембраны. Некоторые белки с локализованными полярными группами на поверхности способны взаимодействовать с полярными группами липидов и периферическими белками. [8]. Ниже см. схему строения мембраны (рис. 8) изображенную и представленную автором работы [9].

Мембрана, как с внутренней стороны (содержимое клетки), так и внешней (межклеточная жидкость) соприкасается с водными растворами. Не станем ставить задачу коснуться всего многообразия механизмов трансмембранного переноса, что на пару страниц и невозможно. Лишь кратко охарактеризуем процесс транспорта веществ внутрь клетки, и из нее. Он осуществляется либо пассивным путем (диффузия, осмос, фильтрация) либо посредством белка переносчика (активным способом и облегченной диффузии). В живых организмах трансмембранные процессы осуществляются в водной среде. В основе процессов образования самих мембран и трансмембранных потоков лежат гидрофобные и гидрофильные взаимодействия. Так по гидрофильным каналам (5 рис.8) проникают молекулы воды движимые благодаря градиенту концентраций согласно осмотическому механизму. В зависимости от концентрации электролитов (солей) в воде такие растворы относят к гипо- изо- гипер- тоническим. Кроме молекул воды (рис.7) под действием гидростатического и осмотического давления могут проникать сквозь мембрану также ионы растворенного вещества (малых размеров). Их диффузия осуществляется вместе с гидратной оболочкой. Кроме того, в равновесном молекулярном распределении между внешней средой и содержимым клетки также лежит способность воды гидратировать ионы и молекулы, проникшие в клетку по иному механизму. Изложенное позволяет заключить, что для осуществления описанных процессов (заполнение гидрофильного канала мембраны, перенос гидратированного иона и образование внутриклеточной структуры) предпочтительными являются не структурированные молекулы воды. Ведь если поставить отвлеченный от данной темы вопрос. Из каких кирпичей мы быстрее построим на дачном участке будку для собаки, из груды сваленных неподалеку кирпичей, или из находящихся в структуре полуразрушенной стены бывшего здания? Ответ очевиден. Так и скорость формирования, гидратного слоя вокруг иона, или на поверхности мембранного канала, одиночными молекулами выше, поскольку они более подвижны по сравнению со структурированными молекулами.

В отличие от ионов малых размеров, которые проникают в мембрану вместе с оболочкой из молекул воды, ионы крупных размеров переносятся посредством белка переносчика. Механизм такого переноса может служить примером разрушения водных структур в приповерхностном слое мембраны. Так перенос иона в данном случае осуществляется через ион-селективный канал. После распознавания белком переносчиком в потоке гидратированных ионов, определенного катиона или аниона, последний проходит селективный канал, лишаясь окружающей его гидратной оболочки. Аналогично осуществляется перенос растворимых в воде веществ — молекул, комплексов, например сахаров, аминокислот, и других полярных веществ [8, 9].

В отличие от облегченной диффузии в существующем механизме симпорта действующей силой является электрохимический градиент. В пассивном переносе движение происходит в сторону области с меньшим значением электрохимического потенциала. Чем меньше размер молекулы и ее способность образовывать водородные связи, то есть чем более она гидрофобна, тем быстрее проникает через поры мембраны. При активном переносе ионов, процесс осу-

ществляется против градиента электрохимического потенциала и требует энергозатрат. Источником энергии является гидролиз АТФ, который лежит в основе процесса именуемого натрий — калиевым насосом. Концентрация калия внутри клетки в 10-20 раз выше, чем за пределами, вместе с тем, ион натрия перекачивается из клетки, а калия в клетку. Таким электрохимическим градиентом натрия обеспечивается транспорт других молекул, например, осуществляется импорт глюкозы.

Важную роль в процессах кислородного обмена выполняют ионы воды. Согласно Real Yoga сдвиг показателя pH физиологического раствора в щелочную область (избыток анионов OH⁻) приводит к поступлению воды в эритроциты (кровяные тельца), а в кислую (катионы H⁺) к выводу из нее молекул H₂O. Параллельно с притоком воды в эритроцит поступает кислород. Так осуществляется приток кислорода в среду легочной ткани, а при контакте с большим кругом кровообращения происходит отдача кислорода.

Что касается организма человека как целостной системы, то функционирование ее и подсистем (органов) регулируются двумя способами гуморальным и нервной системой. Гуморальным значит посредством жидкостной среды. Так железы внутренней и внешней секреции вырабатывают активные вещества — гормоны, которыми регулируется обмен веществ и рост, развитие организма. Транспорт необходимых веществ в клетку и вывод продуктов метаболизма обеспечивается при непосредственном контакте клетки с межклеточной (тканевой) жидкостью (лимфа, кровь). Такая внутренняя среда организма имеет относительное постоянство состава содержимого и физико-химические свойства. Любые ее изменения приводят к возбудимости клетки. При возбуждении в клетке меняется скорость биосинтеза и распада веществ, потребление кислорода. Клетки желез внутренней секреции при этом выделяют вещества, влияющие на сокращение нервных клеток. Появляется слабый электрический сигнал, именуемый нервным импульсом, он и распространяется по клеточным мембранам [10]. Таким образом, важность роли водной среды в функционировании организма в целом очевидна, но как следует из вышеизложенного процессы нервной и гуморальной систем тоже связаны с структурной самоорганизацией жидких сред. Без воды немислим метаболизм живых организмов и для его осуществления требуется просто чистая вода.

Л и т е р а т у р а :

1. *Кульский Л. А., Сиренко Л. А., Шкавро З. Н.* Фитопланктон и вода. — К: Наук. думка, 1968. — 134 с.
2. <http://metrologia.com.ua/interesting/326-2010-01-16-11-00-15.html>.
3. *Антонченко В. Я.* Физика воды. — К: Наук. думка, 1986. — 125 с.
4. <http://polyhedron2008.narod.ru/pages/dode.htm>.
5. <http://www.neuch.ru/referat/868.html>.
6. <http://alka-mine.at.ua/publ/4-1-0-63>.
7. <http://www.bigpi.biysk.ru/encicl/articles/46/1004610/1004610A.htm>
8. *Котык А., Яначек К.* Мембранный транспорт / Пер. Ю. А. Ермакова, А. М. Юркевича; под ред. Ю. А. Чизмаджаева. — М.: Мир, 1980. — 341 с.; *Kotyk A., Janacek K.* Membrane Transport // Plenum press new york and London. — 1977.
9. Строение биологических мембран. — <http://sbio.info/page.php?id=15>.
10. http://badis.narod.ru/home/nauka/aif/aifor_cha.html.

Статья поступила в редакцию 28.09.2011 г.

Shkavro Z. N.

Physical and chemical properties of water in a context of live cell metabolism

Some abnormal properties of water are described. There are considered the molecular structures of the diluted water solutions (water systems), to which potable water concerns also. Influence of impurity of water of the various nature on formation of molecular water structures is shown. The role of water molecules in a biological metabolism is considered on an example trans-membranic processes in a live cell and functioning of humoral organism systems. It is shown that the concept potable water structurization is maintained by many authors with the advertising purpose, pursuing commercial interests.

Keywords: water structure, live cell, potable water, water solution.