

А.Н.Бурмистров, Н.И.Шут, В.В.Левандовський, Л.К.Янчевський

Государственная летняя академия Украины,

Национальный педагогический университет им. М.П. Драгоманова

Некоторые свойства воды как основы жидкостной среды человеческого организма

1. Физико-химические основы особенностей строения и молекулярной структуры воды

1.1. Аномальные свойства воды

Исследования влияния разных факторов на состояние жидкостной среды человеческого организма должны грунтоваться, прежде всего, на изучении молекулярной и надмолекулярной структуры воды и их особенностей. Именно вода есть основной составной жидкостной среды человеческого организма. Ее состояние во многом определяет состояние этой среды [1-6].

Аномальные свойства воды настолько повседневные и естественные, что, обычно, мы даже и не всегда догадываемся о их существовании.

Наиболее удивительное и наиболее благотворное для живой природы свойство воды - это её способность при нормальных условиях быть жидкостью. Ведь молекулы очень похожих на воду соединений (например, молекулы H_2V или H_2Se) намного более тяжелые, тем не менее при таких же условиях находятся в газообразном состоянии. Тем самым вода будто возражает закономерности таблицы Менделеева. В частности, ею прогнозируются, свойства гидридов H_2Po , H_2To , H_2Se , H_2S , H_2O . Они должны изменяться монотонно, при переходе от тяжелых элементов к более легким, то есть в последовательности ряда H_2Po , H_2To , H_2Se , H_2S , H_2O , что и наблюдается в действительности, за исключением воды (H_2O). Например, их температура кипения и плавления растет при увеличении атомного веса. При уменьшении атомного веса температура фазовых преобразований снижается линейно. Область существования жидкостной фазы гидридов становится все более "холодной", и, если бы вода была нормальным соединением, похожей на своих соседей в первой группе, то она в жидком состоянии существовала бы в диапазоне от $-80^{\circ}C$ к $-95^{\circ}C$.

Аномальные температура кипения и плавления - не единая аномальность воды. Жизненно важной для всей биосферы есть способность воды при замерзании не увеличивать, а уменьшать свою плотность. Обычно, вещества увеличивают свою плотность при замерзании. Но вода составляет исключение. При постепенном охлаждении плотность воды возрастает, и любых отклонений от нормы мы не наблюдаем до $4^{\circ}C$. Ниже этой температуры, вопреки общим представлениям, вода вдруг становится более легкой, и, замерзая, скачкообразно уменьшает свою плотность и образует лед, который плавает на поверхности воды. Именно эта способность воды, как известно, предохраняет водохранилища от полного их промерзания до дна зимой и, тем самым, обеспечивает жизнедеятельность живых организмов в водной среде.

Другие термодинамические особенности воды также необыкновенные. Кроме сверхвысоких температур кипения и плавления (причем последний процесс требует слишком большой для такой простой жидкости теплоты плавления), аномальным есть также сам диапазон существования воды - сто градусов, на которые различаются эти

температуры - довольно большой диапазон для такой низкомолекулярной жидкости как вода. Чрезвычайно большие также и границы переохлаждения и перегрева воды - при осторожном нагревании или охлаждении вода остается жидкостью от -40°C до 200°C . Тем самым, температурный интервал, в котором вода может оставаться жидкостью, расширяется до 240°C .

Аномально высокая теплоемкость воды превращает моря и океаны на гигантские термостаты, которые сглаживают суточные колебания температуры воздуха. Причем, не только такие большие массы воды, как моря, могут сглаживать эти колебания, но и обычный водный пар атмосферы. Теплоемкость воды, кстати, в 2 раза превышает теплоемкость льда, а для других веществ - плавление почти не сказывается на этой величине.

Не только тепловые свойства воды необыкновенные - механические и электрические особенности также оказывают содействие репутации воды как необычной субстанции во Вселенной.

Основная электрическая характеристика любой среды - диэлектрическая проницаемость - в случае воды также демонстрирует необыкновенные для жидкости особенности. Во-первых, она очень высокая: для статических электрических полей она равняется 81, в то время как для большинства других веществ она не превышает 10. Если на любое вещество подействовать сменным электрическим полем, то диэлектрическая проницаемость перестает быть постоянной величиной. В зависимости от частоты приложенного поля, она значительно уменьшается, особенно в высокочастотном диапазоне. Диэлектрическая проницаемость воды уменьшается не только в сменных электрических полях, но и в пространственно сменных полях. То есть, вода не относится к веществам, которые локально поляризуются.

Все эти необыкновенные свойства воды настолько "удачные" для всего живого на Земле, что превращают ее в одно из наиболее благоприятных сред для разных форм жизни.

Что же определяет эти уникальные свойства воды? Как такие простые молекулы, которыми являются молекулы H_2O , объединяясь, порождают настолько сложную структуру?

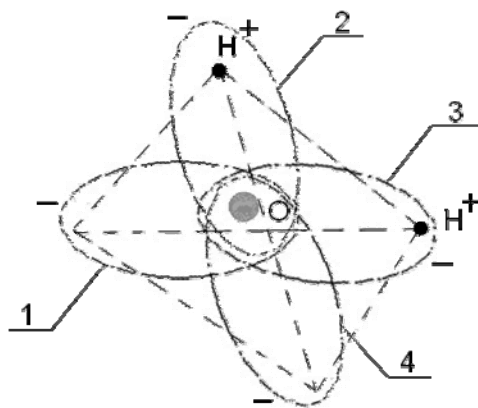
1.2. Особенности строения и молекулярная структура воды

Аномальные свойства воды свидетельствуют о том, что молекулы H_2O в жидком состоянии довольно прочно связанные между собою водородными связями и образуют надмолекулярную конструкцию, которая оказывает сопротивление любым внешним действиям. Именно поэтому такие большие удельные теплоты испарения (2256 кДж/кг) и плавления воды (3324 кДж/кг). Очень важным является максимальное среди жидкостей (за исключением ртути) поверхностное натяжение воды. Благодаря этому вода может подниматься в капиллярах и трещинах в земной коре. Вода имеет также чрезвычайно большую растворимую способность и химическую активность. Именно эти связи и являются ключом к пониманию особых свойств воды.

Происхождение водородных связей обусловлено квантовомеханическими особенностями взаимодействия протона с атомами, в частности его способностью туннелирования в определенных условиях. Атом водорода, находясь рядом с атомом кислорода (азота, фтора или хлора), образует с ним специфично направленную сравнительно крепкую связь. Так, если атом водорода находится между двумя атомами кислорода, то пространственная организация такой тройки атомов не может быть произвольной, а имеет четкую, однозначную структуру.

Другое важное свойство водородной связи - кооперативность: означает, что образование одной водородной связи содействует образованию рядом другой. Физико-химическая природа кооперативности состоит в том, что две молекулы H_2O ,

образовывая водородную связь, вступают в кислотно-щелочное взаимодействие. В результате этого одна молекула становится более "кислой", а другая - более "щелочной". Именно поэтому для образования ими других водородных связей нужно меньше энергии. Наличие водородных связей влияет на спектры - колебательные, электронные и ЯМР. Характерные частоты колебаний групп, которые содержат водород, снижаются, если он входит в водородную связь. Инфракрасные спектры поглощения, например О-Н группы, сильно расширяются при возникновении водородной связи, а их интенсивность возрастает. Энергия водородной связи лежит в пределах от 9,63 кДж/моль (для N-H...O) до 29,3 кДж/моль (для фтористого водорода F-H...F). Поскольку водородная связь всегда образуется между двумя электроотрицательными атомами, то вначале считалось, что она имеет исключительно электростатическую природу. Расчет энергии электростатического взаимодействия дает показатели, близкие к энергии водородной связи. Тем не менее, такое объяснение природы водородной связи противоречит спектроскопическим данным. Итак, ключ к пониманию особых свойств воды и ее растворов заложен в концепции водородной связи. Тем не менее это "необходимое", но не "достаточное" условие. Как мы убедились, не только молекулы воды могут образовывать водородные связи, но и другие вещества, например, аммиака NH₃ или фторводородной кислоты HF. Но они и другие вещества не имеют такого широкого спектра аномальных свойств, характерных для воды. Почему водородные связи делают воду аномальной и лишь слегка выделяют аммиак из ряда обычных веществ? Чтобы ответить на эти вопросы, рассмотрим молекулярную структуру этой жидкости. Известно, что молекула воды состоит из трех атомов: атома кислорода и двух атомов водорода. Длина каждой связи О-Н равняется 0,99Å, а угол между ними - 109,5°. Молекула воды довольно "однобокая" - оба атома водорода находятся вблизи атома кислорода с одной стороны (рис.1). [1-3].



1,2,3,4 орбиты электронов

Рисунок 1— Геометрическая модель свободной молекулы воды

Атомы в молекуле объединяются с помощью электронов. На последней орбите атома кислорода находится 4 электрона. У водорода есть лишь одна электронная орбита, на которой находится один электрон. Итак, всего 6 электронов (4 - принадлежат атому кислорода и 2 - атомам водорода). Они готовы к контактам и способны образовывать молекулу из отдельных атомов. Чтобы объединить два атома водорода с одним атомом кислорода, достаточно двух связей. Казалось бы, разделяем по три электрона на каждую связь - и молекула H₂O готова. Но трех электронов на одной связи быть не может. При образовании каждой ковалентной связи Н-О принимает участие один электрон атома водорода и один электрон атома кислорода. При этом электрон водорода, который есть носителем отрицательного заряда, смещается в сторону

кислорода, вследствие чего и часть молекулы H_2O , в которой размещен водород, становится положительно заряженной. Итак, роль двух электронов кислорода мы выяснили. Какие же функции выполняют два других электрона кислорода? К тому времени, пока молекула H_2O изолирована, эти электроны остаются свободными. Они не влияют на образование новой молекулы H_2O , в связи с чем они получили название неделимой пары. Однако при образовании молекулярной структуры воды они играют решающую роль. Молекула H_2O как бы старается оттолкнуть эти неделимые электроны как можно дальше от связей О-Н. Поэтому орбитали электронов вытянуты в сторону, противоположную к атомам водорода. Для того, чтобы еще дальше удалить неделимую пару, плоские орбитали повернуты перпендикулярно к плоскости О-Н-О. Таким образом, конфигурация молекулы воды трехмерная. Ее форма похожая на пакет молока, в центре которого находится атом кислорода, а в двух вершинах - по атому водорода (рис.1). Разные ребра этой молекулярной пирамиды заряжены по-разному, поэтому молекула воды имеет значительный дипольный момент величиной 1,87 Д.

Выясним теперь физическое происхождение водородной связи на примере О-Н...О. Квантовомеханическое состояние этой системы зависит от положения четырёх электронов - двух от связи О-Н и двух электронов неделимой пары второго атома кислорода. В этой системе возможно пять разных валентных структур. Исключительно электростатическому взаимодействию отвечают лишь 1, 2 и 3 структуры, которые дают энергию 25 кДж/моль. В суммарную энергию водородной связи входит также энергия делокализации заряда, связанная с понижением энергии по отношению к структуре 1, вызванной гибридизацией с четырьмя другими структурами (энергия равняется 33,5 кДж/моль). Этим двум взаимодействиям противодействует отталкивание, энергия которого 35,2 кДж/моль. Полученная таким образом энергия водородной связи ($25+33,5-35,2+12,5=36$ кДж/моль) близкая к экстремальным значениям. Электронная структура молекулы H_2O определяет условия объединения отдельных молекул в сложную трехмерную конструкцию. Она разрешает ей быть одновременно и донором, и акцептором, который делает эту молекулу идеальным и, как мы увидим дальше, единым материалом для построения разветвленной структуры водородной связи. Каждый из протонов водорода любой молекулы H_2O может крепко связываться с вытянутым неделимым электроном другой молекулы (при этом первая молекула есть донором, а друга акцептором) и образовывать новую водородную связь. Два протона плюс два неделимых электрона - вследствие этого молекула может принимать участие в четырех водородных связях, одновременно образованных одной молекулой.

Количество водородных связей, образованных одной молекулой, - важная характеристика любого вещества, но большое их количество в молекуле H_2O само по себе еще не может объяснить той уникальной молекулярной структуры, которая делает воду аномальной жидкостью. Крайне важно, как они ориентированы. Таким образом, две молекулы H_2O объединяются в комплекс - димер воды $(\text{H}_2\text{O})_2$. В свободном виде димеры существуют в водяном паре. Принципиальные особенности этой структуры сохраняются в жидком и в твердом состояниях. На схеме не показаны электронные оболочки, но учтены геометрические особенности электронной структуры молекулы. Эта так называемая "линейная" структура воды целиком удовлетворительно описывает реальную водородную связь молекул H_2O . В данном случае термин "линейная" означает, что протон, обозначенный цифрой 1, находится точно на линии О-О (на самом деле этот протон несколько отклоняется от О-О связи, угол 1-О-2 равняется 2°). Этот протон имеет два равновесных положения - он может находиться как вблизи "своего" атома кислорода, на расстоянии около $1 \text{ \AA}$, так и вблизи "чужого" атома на расстоянии $1,7 \text{ \AA}$ от "своего", то есть рядом с обычным димером $\text{HO}-\text{O}...\text{OH}_2$. Стабильной оказывается также и ионная пара $\text{HO}...\text{H}-\text{OH}_2$. В последнем случае

дипольный момент возрастает до 10Д. Недавно было установлено [1-3], что состояние "протон вблизи чужого кислорода" характерно для границы деления фаз, то есть вблизи поверхности вода - твердое тело или вода - газ. Целиком возможно, что в этом состоянии находится и вода, которая "омывает" клеточные мембраны живых организмов. Сейчас биофизики проверяют эту гипотезу, и если она подтвердится, придется уточнить или возможно пересмотреть некоторые представления о жизнедеятельности клетки.

Таким образом, уникальные свойства воды поясняются особенностью строения её молекулы. Ключом к пониманию свойств есть специфичность проявления водородных связей между атомами - высокая энергия, сравнительно высокая прочность, пространственная специфическая ориентированность, кооперованность, их динамическое количество; большие показатели энергии поверхностного натяжения, растворимой способности, химической активности и др.

1.3. Память структуры

Как это часто бывает, теория Бернала-Фаулера оказалась верной в своей методологической части [1-2], а много ее деталей еще не нашли экспериментального подтверждения. В частности, не удалось обнаружить кварцевоподобных структур в воде. А вот представление о воде как о жидкости с весьма развитым ажурным каркасом находит все больше и больше подтверждений.

Итак, безоговорочным достижением есть четкое понимание того, что структура льда как-то сохраняется в воде, или, пользуясь формулированием Клемена Дюваля, - вода помнит свое происхождение. Но почему она помнит, а другие жидкости лишены этой способности? Ведь лед (если забыть, что он существует не в "своём" температурном диапазоне) - вообще обычный кристалл. Наличие у него особой структуры не вызывает удивления. Все кристаллы образуют целиком определенные (иногда странные) структуры. Но при плавлении они порождают тривиальные, обычные жидкости. Лед также плавится и также порождает жидкость, но она необыкновенная. Почему?

Для того, чтобы ответить на вопрос, припомним, что молекулы большинства веществ содержатся в узлах своих кристаллических структур довольно слабыми ван-дер-ваальсовыми или электрическими силами. Молекулы же H_2O содержатся в гексагональной структуре льда водородными связями, отличие которых от ван-дер-ваальсовых и электрических довольно существенная. Водородные связи намного более сильные и, самое главное, их действие целиком определено в пространстве. Последнее свойство приводит к тому, что водородная связь при плавлении льда разрушается только "сразу", она не может постепенно "ухудшаться" перед тем как совсем разорвется. Ведь при нагревании кристалла в первую очередь усиливается тепловое движение отдельных молекул, которые постепенно все дальше и дальше отклоняются от своего узла идеальной кристаллической структуры. И вот здесь проявляется эффект направленной водородной связи. Припустим, что все молекулы кристалла "сидят" в узлах идеальной структуры. И, вдруг, одна молекула оставляет свой узел и отдаляется от него на некоторое расстояние. В обычном веществе эта молекула сохраняет связь со своими соседями в кристаллической решетке. Конечно, сцепление между ними ухудшается, энергия взаимодействия увеличивается, но связь остается. Если же подобное произойдет со льдом, то упомянутая молекула разорвет все свои водородные связи, она не может "слегка" отклониться от узла кристаллической решетки, сохраняя при этом все свои водородные связи. Ведь водородные связи ее соседей направлены в целиком определенное положение пространства, и, если молекула выходит из него, то теряет возможность "замкнуть" свои два протона и два неделимых электрона. На первый взгляд может показаться, что именно вода может забыть свое кристаллическое

прошлое. Выходит, что молекулы H_2O "порывают" со своим прошлым раз и навсегда. По большому счету, так и могло бы быть, при условии, если бы сразу большое количество молекул в твердом состоянии смогли разорвать все свои водородные связи. Но для того, чтобы такое событие смогло состояться в молекулярной жизни льда, нужно сосредоточить в одном месте довольно большую (за молекулярными мерками) энергию.

Отдельная молекула H_2O не может постепенно накапливать энергию для того, чтобы при достижении определенного энергетического уровня оторваться от соседей. Воспользовавшись известной физической лексикой, можно сказать, что каждая молекула льда "сидит" в глубокой энергетической яме с "отвесными" границами. Выйти ей из такой ямы очень сложно. И, если молекула, которая "выскочила", "споткнется", - она сразу же появится внизу, в структуре идеального льда. Именно поэтому, во-первых, вероятность разрыва водородных связей очень маленькая, а во-вторых, освободив из кристаллической структуры всего одну молекулу H_2O , лед отдает довольно большую энергетическую "дань" кинетическим процессам плавления и, тем самым, может сохранить значительное количество молекул в кристаллической структуре (этим поясняется маленькое значение удельной теплоемкости льда).

Энергетические ямы, в которых находятся другие вещества, имеют другой вид. Между состояниями, которые отвечают кристаллу и жидкости, находится целый ряд промежуточных состояний. Поэтому молекулы обычных веществ могут постепенно собирать энергию, переходя с одной промежуточной энергетической ямы к другой. Если же молекула потеряет часть энергии, то она окажется не на самом дне, а в промежуточном состоянии. В результате этого в процесс плавления включаются все молекулы кристалла. Средняя энергия молекул постепенно возрастает. При этом индивидуальные колебания энергии отдельных из них не весьма большие. Если изобразить плавление обычного кристалла в некотором фазово-энергетическом пространстве, то можно увидеть, что при плавлении все молекулы держатся довольно тесной группой. В начале, каждое положение такого пространства определяет энергетический уровень молекул. На начало плавления все точки сливаются в одну сплошную точку, которая отвечает кристаллическому состоянию. В процессе плавления обычного вещества эта точка "ползет" вверх, постепенно размывается и распадается на отдельные части. Потом центральная точка распадается на меньшие, которые в свою очередь также распадаются. Завершается этот процесс образованием большого, относительно густого роя точек с центром, который отвечает жидкому состоянию.

Картина плавления льда в такой интерпретации будет выглядеть совсем иначе. Своеобразие энергетического профиля молекул льда разрешает довольно большому числу молекул H_2O во время плавления сохранять кристаллическую гексагональную структуру из водородных связей. В каждый момент времени в процессе плавления фактически принимает участие лишь небольшое количество молекул H_2O . Плавление льда в фазовом пространстве выглядит следующим образом. В начале плавления все молекулы "сидят" на энергетическом уровне, который отвечает состоянию льда. При нагревании отдельные из них выходят из узлов кристаллической решетки и сразу появляются на энергетическом уровне молекул без водородных связей. Между этими двумя уровнями происходит непрерывный обмен, часть "жидких" молекул встраивается в гексагональную структуру, из которой за то же время соответствующая часть молекул освобождается. При нагревании льда число исходящих из кристаллической структуры молекул возрастает, а число тех, что возвращаются, уменьшается. Но даже после окончательного прекращения плавления довольно большая часть водородных связей, которые существовали в твердом состоянии,

сохраняются в воде. За данными Л. Полинга [1-2,5], при 0°C лишь 15% всех таких связей оказываются разорванными. Описанная выше картина плавления льда - это идеализация, которая отвечает так называемой двухструктурной модели воды, то есть модели, которая допускает лишь два состояния молекулы H_2O - или абсолютно свободные мономеры, или полностью встроенные в гексагональную структуру. В этой связи может возникнуть вопрос: допустима ли такая смесь мономеров с гексагональной решёткой? Припомним: структура льда рыхлая, в ней много пустот, атомы размещены довольно развесисто. Каждая плоскость окружена шестью молекулами H_2O , а каждая молекула - шестью плоскостями, которые образуют сплошные микроскопические каналы. Автор одной из первых физических теорий воды О.Самойлов вычислил размер пустот и установил, что в них целиком может разместиться одна молекула воды, не разрушая основного каркаса водородных связей. Он еще в 40-х годах допускал, что в процессе плавления льда часть водородных связей может разрушаться. Появляются свободные момеры H_2O , которые частично заполняют пустоты водородного каркаса [5].

Однако, приведенные выше экспериментальные данные Полинга не доказывают и не опровергают двухструктурные модели. Ведь эти данные свидетельствуют лишь о наличии водородных связей и не объясняют, как эти связи распределяются среди молекул, которые из них разорванные, сколько в воде свободных молекул, сколько молекул сохраняют водородные связи и сколько из них приходится в среднем на одну молекулу? Прямых экспериментальных способов проверки этих данных пока что не существует. Они крайне необходимы для понимания молекулярной структуры воды. Так, в 1952 году удалось по данным зависимости диэлектрических свойств воды от температуры лишь оценочно установить, что при 25°C в воде 67% всех молекул сохраняют все четыре водородных связи, 23,2% по три, 7,6% - по две водородных связи и лишь 0,2% - полностью свободные молекулы. Без сомнения, реальная структура воды более сложная от той, которую допускают двухструктурные модели, однако благодаря своей простоте они наглядные и заслуживают внимания.

Предложены и другие теории молекулярного состояния воды. Например, английский физик Д.Ж. Попл допустил [1,2], что при плавлении льда водородные связи вообще не разрушаются, а как-то "выгибаются". Профессор Бернал [1,2,5], развивая его идею, создал новую теорию воды, в соответствии с которой молекулы H_2O образуют небольшие запертые кольца с четырех, пяти и больше молекул. Но подавляющее большинство их, считал Бернал, состоит лишь из пяти молекул, поскольку угол О-Н-О в молекуле воды близкий до 108°, то есть к углу правильного пятиугольника.

Л. Полинг в 1952 году допустил [1,2], что структура воды подобная к клатратным гидратам таким как $C_{12} \cdot 10 H_2O$. Эйринг выдвинул теорию значащих структур, которая допускает, что в воде существует две кристаллообразных структуры: лед 1 и лед 3. Водородные связи в структуре льда 3 очень сжатые и немного выгнутые. Поэтому плотность этого льда на 20% больше плотности льда 1.

Г.Наметы и Х.Шерага допускают [1,3,4], что каждая молекула H_2O может находиться в одном из пяти допустимых энергетических состояний, которые определяются количеством ее водородных связей (0, 1, 2, 3 или 4). Возможно, что молекулы собираются в лёдоподобный "рой". Сделав обычный для статистической механики анализ, Наметы и Шерага нашли количество молекул H_2O в отдельных рядах, которые образуют 4, 3 и 2 водородные связи. Полученный таким образом молекулярный объем системы имеет минимум при 4°C, другие параметры также удовлетворительно согласовываются с экспериментальными результатами. Тем не менее теория Наметы и Шераги, как двухструктурная модель, противоречит ряду

спектроскопических данных. Такой недостаток характерный и для других теорий, которые допускают существования четко отличных структур в воде. В реальной воде существует, наверное, широкий и непрерывный спектр разных молекулярных структур.

Таким образом, мы раскрыли аномальные свойства воды и физико-химические основы особенностей строения и молекулярной структуры воды. На основе теоретического анализа сделан вывод о потенциальной возможности возникновения надмолекулярной структуры НМС в воде разного порядка как результат особенностей ее молекулярной структуры.

Список литературы

1. Зацепина Г.Н. Свойства и структура воды. - Г.: из-во МГУ, 1974.
2. Синюков В.В. Вода известная и неизвестная, - М.: Знание, 1987. 175 с.
3. Петрянов И.В. Наиболее необыкновенное вещество в мире. - Г.: Педагогика, 1981.
4. Цундель Г. Гидратация и междумолекулярные взаимодействия. - Г.: Мир, 1972.
5. Мищенко К.П., Полорацкий Г.М. Термодинамика и строение водных и неводных растворов электролитов. - Л.: Химия, 1976.
6. Потеня Г.П., Орловский О.А., Касьяненко О.О. Комплементарная медицина и положительное природознание. К.: Научная мысль, 1997.-Гл.4.- С.430-481.
7. Масару Эмото. Энергия воды для самопознания и исцеления/ Перев. с англ. - М.: Изд."София", - 2006. - 96с.

УДК 544.27: 620.179.16

**А.Н.Бурмистров, М.И.Шут, В.В. Левандовський, Л.Д.Качановская,
Л.К. Янчевський**

Государственная лётная академия Украины, Национальный педагогический университет им. М.П. Драгоманова, совместная лаборатория медицинской физики и биокolloидных систем НАН Украины

Некоторые свойства воды как основы жидкостной среды человеческого организма

2. Динамика изменения структуры и свойств воды при изменении температуры

2.1. Метод акустического зонда как экспериментальный метод изучения изменения свойств жидкостной среды

В разных органах человеческого организма содержимое воды составляет 70% - 83%. Такое большое количество воды будто означает, что вода в живом организме не имеет отличий от обычной воды. Но уже в начале XX столетия появились исследовательские данные, которые указывают на то, что свойства воды в биологических структурах значительно отличны от свойств обычной воды. Сразу отметим, что ничего сверхъестественного здесь нет: внутри нас находится обычная вода, тем не менее часть ее размещена в очень тонких прослойках, толщина которых может быть сопоставима с характерной длиной цепочки водородных связей. В этих условиях молекулы H_2O теряют присущую им подвижность в больших объемах. В