

УДК 532.74; 53.097

UDC 532.74; 53.097

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВОДЫ,
ОБЛУЧЕННОЙ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF WATER
ACTIVATED BY A MICROWAVE RADIATION**

Мышкин Вячеслав Федорович
д.ф.-м.н., доцент

Mishkin Viacheslav Fedorovich
Dr.Sci.Phys.-Math., associate professor

Власов Виктор Алексеевич
д.ф.-м.н., профессор
*Томский национальный исследовательский
политехнический университет, Томск, Россия*

Vlasov Viktor Alekseevich
Dr.Sci.Phys.-Math., professor
*National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia*

Хан Валерий Алексеевич
д.т.н.
*Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск,
Россия*

Khan Valery Alekseevich
Dr.Sci.Tech.
Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Шиян Людмила Николаевна
к.ф.-м.н., доцент

Shiyan Ludimila Nikolaevna
Cand.Phys.-Math.Sci., associate professor

Польченко Валерий Сергеевич
аспирант
*Томский национальный исследовательский
политехнический университет, Томск, Россия*

Polchenko Valery Sergeevitch
postgraduate student
*National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia*

Проведен обзор научных публикаций, связанных с изучением физико-химических свойств воды и водных растворов, облученных потоком СВЧ излучения. Получены убедительные доказательства изменения структуры воды в поле СВЧ излучения

The scientific publications review about the physicochemical properties of pure water and water solutions activated by a microwave radiation was made. The convincing evidences of the water structure changes in the microwave were submitted

Ключевые слова: КЛАСТЕР, СТРУКТУРА ВОДЫ, СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕ, КИСЛОТНОСТЬ, РАСТВОРИМОСТЬ, РЕЗОНАНС

Keywords: CLUSTER, WATER STRUCTURE, MICROWAVE RADIATION, ACIDITY, SOLUBILITY, RESONANCE

Вода является наиболее распространенным растворителем и играет важную роль в природе и в жизни человека. Молекулы воды обладают выраженной полярностью, обуславливающих разветвленные водородные связи которые распределены по объему воды и могут быть сгруппированы. Области с повышенным содержанием водородных связей принято считать кластерами. Особенности структурного строения воды и ее метастабильность позволяют последней откликаться на внешнее воздействие любой природы [1]. Кроме этого, показано сохранение водой физической структуры и свойств после воздействий различного характера

[2].

Открытие радиоволн и развитие техники радиосвязи привели к значительному увеличению в тропосфере уровня электромагнитных волн радиодиапазона. Поэтому актуальны исследования, связанные с воздействием радиоизлучения на воду и водные растворы.

Цель исследований – исследование потоков СВЧ излучения на структуру и свойства разбавленных водных систем.

Структура молекул и кластеров определяет вид ИК-спектра. Спектр поглощения воды ИК-области представлен основными полосами валентных колебаний ($\sim 3000-3600 \text{ см}^{-1}$), обусловленных изменениями длин связей в молекуле воды, деформационных колебаний (узкая полоса вблизи $\sim 1650 \text{ см}^{-1}$, соответствующая изменениям углов валентных связей) и суммой деформационных и либрационных колебаний молекул ($\sim 2130-2150 \text{ см}^{-1}$), либрационные колебания ($\sim 700 \text{ см}^{-1}$).

Полуширина линий ИК-спектра определяет динамическим диапазоном прочностей водородных связей внутри ассоциата и между ними. Учитывая малый, уменьшающийся с ростом температуры вклад связей между ассоциатами, их влиянием на прочность связей внутри ассоциата можно пренебречь. Параметры спектров ИК-поглощения воды отражают закономерности структурной перестройки каркаса водородных связей свободной воды, сопровождаемой делокализацией электронных возбуждений и переносом заряда по координатной сетке [3].

Обнаружено, что чем чище вода, тем шире диапазон температур существования “льдообразной” и “кварцеподобной” структуры воды. Например, в воде с удельной электропроводностью $(2-3) 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ в интервале температур $0-100^\circ\text{C}$ наблюдается один скачок частоты при $T = 35^\circ\text{C}$. Следовательно, при $0^\circ\text{C} < T < 35^\circ\text{C}$ наблюдается “льдообразная” структура сетки, при $T > 35^\circ\text{C}$ – “кварцеподобная”. Состояние воды с разрушенными водородными связями в такой воде не достигается даже

длительным кипячением. Подвергая такую воду воздействию СВЧ излучения, удастся получить состояние воды с частично разрушенными связями даже при комнатной температуре [4].

Явление СПЕ-эффекта, заключающегося в возбуждении объемных молекулярных волн дециметрового диапазона под действием низкоинтенсивного излучения миллиметрового диапазона было впервые обнаружено в 1998 г. [5] и широко изучается в настоящее время, например для целей диагностики в медицине [6]. Экспериментально установлены резонансные частоты воды для электромагнитного излучения (32,5 и 65 ГГц). Ряд резонансных пиков также наблюдался на частотах 50,3; 50,8; 51,0; 51,3; 51,8; 100 ГГц [7]. Следствием СПЕ-эффекта является прозрачность водной среды на резонансных частотах для внешнего КВЧ-излучения. Резонансное излучение вызывает возбуждение собственных колебаний молекул, инициируя «транс-резонансное» вторичное излучение нетепловой природы.

Особенностью водных структур является наличие дипольных моментов. Резонансные частоты 50-52 ГГц соответствуют колебаниям гексагональных кластеров, 65 ГГц – колебаниям свободных молекул. Резонансные частоты колебаний 1 ГГц соответствуют колебаниям фрактальных кластеров ($6[\text{H}_2\text{O}]_6$), размеры которых достигают 170 нм. Образование таких структур обусловлено водородными связями, тогда как для свободных молекул водородные связи могут заменяться более нестабильными силами диполь-дипольного взаимодействия, обеспечивающими текучесть воды. Кратковременное воздействие на резонансной частоте 65 ГГц возбуждает в воде устойчивое собственное излучение на резонансной частоте, генерируемого не менее 2 часов в диапазоне температур воды 20-90°C. Это излучение поддерживается тепловой энергией [8].

Возбуждение от электромагнитных волн резонансных структур

передается соседним резонансным структурам. Возбуждение СВЧ-излучения водой связано с синхронизацией и поляризацией собственных молекулярных колебаний, наведенных внешним КВЧ-излучением на резонансных частотах. Механизм СПЕ-эффекта обусловлен преобразованием энергии резонансного КВЧ-излучения в энергию СВЧ-поля в водной среде. КВЧ-излучение возбуждает колебания гексагональных кластеров и свободных молекул, которые возбуждают колебания фрактальных кластеров с частотой 1 ГГц [8].

Миллиметровые волны (30-300 ГГц) относятся к неионизирующим излучениям. Энергия кванта излучения в этом диапазоне меньше энергии теплового движения молекул, энергии электронных переходов, колебательной энергии молекул и энергии водородных связей и может влиять на процессы только в виде управляющего воздействия. Миллиметровые волны сильно поглощаются в воде и водосодержащих средах. Миллиметровый слой воды ослабляет КВЧ-излучение при $\lambda = 7,1$ мм в 100 раз, при $\lambda = 2,0$ мм – в 10 тысяч раз. В волновом движении, возбужденном внешним КВЧ-излучением, принимают участие кластеры, а не свободные молекулы. Рассеиваясь на структурных неоднородностях, волны теряют свою энергию в виде тепла.

Изучено влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения КВЧ-диапазона ($1-10$ мВт/см², 48-56 ГГц) на водные среды [9]. Показано, что колебательные процессы с энергией резонансных частот воды могут вступать в когерентное взаимодействие с внешним потоком электромагнитного излучения в интервале частот 48-54 ГГц.

Экспериментально установлены следующие резонансные частоты воды для электрической составляющей электромагнитного излучения: 32,5 и 65 ГГц. Сделано предположение, что на частотах 130, 195 и 260 ГГц вода также имеет резонанс, который обусловлен возбуждением волновых процессов в молекулярной среде на частотах, совпадающих с частотами ее

собственных молекулярных колебаний, сопровождаемых частичной диссипацией энергии СВЧ излучения [10].

В работе [11] приведены результаты изучения влияния воздействия электромагнитного излучения микроволнового и рентгеновского диапазонов на водородные связи. Установлено, что активные формы кислорода, образующиеся в результате воздействия, могут влиять на динамику водородных связей воды, меняя степень ее взаимодействия с растворенными в ней молекулами других веществ.

Показано влияние комбинированного воздействия электромагнитных (частота - 37,5 ГГц, мощность - 10 мВт/см²) и акустических волн на водную суспензию. Определены резонансные частоты пропускания радиоволн миллиметрового диапазона в воде (50, 65, 100, 130 ГГц). Реакционная способность воды и водных растворов значительно изменяется после воздействия различными факторами. Величина таких воздействий может быть достаточно мала. Структурные элементы воды совершают колебательные движения. При совпадении частоты внешнего воздействия с колебательной частотой возможен резонанс, способный разрушать водородные связи [12].

Электромагнитные волны могут вызывать деформацию водородных связей, в том числе изменение длины О-Н или углов Н-О-Н. При таких изменениях дипольный момент растет, что приводит к уширению и сдвигу в низкочастотную область полос поглощения в колебательных спектрах воды. Межмолекулярные связи еще менее устойчивы и сравнительно легко разрушаются от коротковолновых электромагнитных воздействий.

Атом водорода, расположенный между двумя ближайшими атомами кислорода, может находиться в одном из двух состояний, вблизи одного либо вблизи другого атома кислорода, одно из которых является устойчивым. Энергии перехода атома водорода из устойчивого в неустойчивое состояние соответствует квант энергии в КВЧ-диапазоне.

Под воздействием КВЧ-излучения атомы водорода могут перейти в неустойчивое состояние. Через некоторое время атомы водорода возвращаются в устойчивое состояние с переизлучением квантов энергии в КВЧ-диапазоне. Время нахождения в неустойчивом состоянии может превышать нескольких дней. Облучённая в КВЧ и ТГЧ диапазонах вода приобретает новые уникальные свойства (эффект «памяти» воды).

Другое объяснение эффекта «памяти» воды – взаимодействие объемных конгломератов молекул (до 912) через дальнейшее кулоновское взаимодействие без образования водородных связей между гранями шестигранников, в узлах которых лежат молекулы. Такая структура имеет возможность переориентации, что является причиной релаксации параметров системы.

Установлено, что время релаксации различно для различных водных растворов и зависит от продолжительности облучения. Вторичное излучение воды не связано с тепловым эффектом и определяется взаимодействием молекулы воды с растворенными в ней веществами. Исследованные жидкости: водный дистиллят; водопроводная вода; физраствор – 0,9% водный раствор NaCl; 1-мольный водный раствор KCl; 1-мольный раствор мочевины; 96% этиловый спирт; 40% водный раствор этилового спирта – (водка); 40% водный раствор этилового спирта с добавлением дигидроквертицина ($C_{15}H_{12}O_7$) – (ДГК) в концентрации 50 мг/л; обогащенная кислородом вода – «OxiVital» (содержание $O_2 > 60$ мг/л, минерализация < 11 мг/л) имеют собственное тепловое излучение на частотах 61,2; 118 и 150 ГГц. Интенсивности собственного излучения исследованных растворов и дистиллята отличаются.

Эти жидкости при облучении переизлучают: наблюдается эффект вынужденного излучения исследованных на частоте облучения (61,2; 118 и 150 ГГц). Интенсивность «переизлучения» достоверно выше собственного теплового излучения. Разные жидкости имеют различную интенсивность

переизлучения на этих частотах. [13].

В работе [14], приводятся данные моделирования молекулярных водных кластеров, показывающее, что спектр собственных частот этих образований находится в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах частот и частота перехода зависит от структуры кластеров воды.

Поглощение излучения СВЧ-диапазона водой обусловлено ориентационной поляризацией молекул. В качестве противодействующих эффектов выступают межмолекулярное взаимодействие и тепловое движение молекул. Диэлектрические потери определяются сдвигом фазы поляризации.

Низкоинтенсивное излучение может вызывать изменение физических и химических свойств воды, сохраняющееся во времени. Электромагнитное поле изменяет решетку молекул воды, ориентируя диполи, увеличивает протонную плотность в местах повреждения дипольных цепочек, а также заставляет диполи осциллировать [15].

Экспериментально изучались изменения в развитии микрофлоры и рН в среде прорастания семян, питаемых облученной электромагнитным излучением водой. В экспериментах использовали излучение частотой 42,25 ГГц и плотностью мощности 2 мВт/см². Серия экспериментов по проращиванию семян в предварительно облученной дистиллированной воде показала увеличение скорости проращивания на 5-25% за первые двое суток. При добавлении облученной воды к уже замоченным семенам определено, что физико-химические изменения, индуцированные облучением, сохраняются в дистиллированной воде менее 30 мин. Показано, что в облученной дистиллированной воде происходит уменьшение рН на 0,005-0,007 ед. При облучении дистиллированной воды излучением более низкой интенсивности также наблюдался сходный эффект [15].

Методом четырехфотонной спектроскопии изучено изменение

оптического спектра воды под действием СВЧ излучения. В диапазоне спектра $10\text{-}100\text{ см}^{-1}$ показано наличие структуры, обусловленной квазивращательными модами молекулярных кластеров. В качестве источника миллиметрового излучения использована модификация серийного прибора "Явь" [16] с рабочими длинами волн 7,1 мм и 5,6 мм и плотностью потока мощности с излучающей поверхности генераторной головки около 10 мВт/см^2 . Измерения проводились в дважды дистиллированной деионизованной воде [17].

На основании сопоставления данных, авторы этой работы выдвигают гипотезу о структурирующем характере воздействия миллиметрового поля на жидкую воду. По их мнению, миллиметровое излучение в скин-слое запускает механизм взаимной ориентации соседних молекул воды. Возникающее таким образом поле частичной ориентационной упорядоченности распространяется на глубины, много большие, чем толщина скин-слоя. При этом соответствующий масштаб изменений не связан с величиной проводимости.

Анализ состояния гидратации биологических молекул в мм диапазоне возможен по полосам γ -дисперсии водных растворов. В диапазоне частот $10\text{ ГГц} \div 50\text{ ГГц}$ находится дисперсия диэлектрической проницаемости свободной воды, обусловленная релаксационными колебаниями молекулярных диполей свободной воды (макроскопическое время релаксации $0,9 \cdot 10^{-11}\text{ с}$), которые при воздействии высокочастотного переменного поля не успевают переориентироваться [18].

Связанная вода в живых системах представляет собой гидратный слой, состоящий из десятков молекулярных слоев воды, формирующих водородные связи, как с полярными группами белка, так и между собой. При этом молекулы гидратного слоя обладают коллективными свойствами, пониженной подвижностью и большим временем релаксации (менее 10^{-9} с) по сравнению со свободной водой [19].

Влияние электромагнитного КВЧ излучения на систему вода – биологическая среда также рассматривалось на основе измерений проводимости системы [20]. Кювета с исследуемым образцом помещалась на одном конце мостовой схемы. Изменение проводимости водной среды регистрировалось графопостроителем по разбалансу мостовой схемы. Электромагнитное излучение (длина волны - 53,0 и 7,1 см; мощность - 10 мкВт/см²) в течение 100 секунд приводило к изменению сопротивления водной среды. Через 10 минут после окончания облучения сопротивление увеличивалось, достигая максимума через 30 минут. Дальнейшие наблюдения показали восстановление сопротивления до состояния необлученного образца через 60 минут от начала воздействия.

Обзор данных по исследованию структуры воды, подвергнутой воздействию различных внешних силовых полей, в том числе СВЧ, проведен в работе [21]. Воздействие СВЧ-излучения на жидкую воду приводит к образованию метастабильных кластеров (H₂O)_n, что придает ей свойства твердого тела.

Результаты исследования электромагнитных свойств льда вблизи точки плавления приведено в работе [22]. При нагреве льда, размещенном в СВЧ-резонаторе (6,3 ГГц) обнаружено раздвоение резонансной линии пропускания на 60-70 МГц, что может быть связано с наличием двух мод колебаний. По мнению авторов, причиной этого является колебания протона по линии водородной связи. Для жидкой воды и льда характер таких колебаний различен. Высказано предположение о наличии у льда вблизи 0°C двух коэффициентов преломления: одно соответствует низкотемпературной фазе воды, т.е. чисто кристаллическому льду, а второе соответствует несколько разупорядоченному состоянию со структурой стекла. Такое состояние воды (стеклообразное) образуется при её быстром охлаждении [23]. Наличие различных волн с близкими длинами волн обуславливает пространственную дисперсию

микроволнового излучения во льду вблизи температуры плавления. На рисунке 1 приведена частотная характеристика резонатора со льдом после его нагревания с -25 до 0 °С и последующего охлаждения до $-11,5$ °С, где f_1 и f_2 – максимумы пропускания на частотах 6,32 и 6,39 ГГц, ΔG – уровень сигнала, отсчитываемый от начального значения амплитуды резонанса.

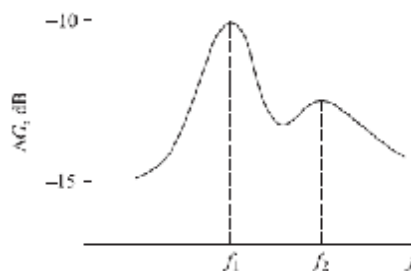


Рис. 1. Линия пропускания резонатора со льдом

Исследовано влияние СВЧ-излучения на замороженные объекты, содержащие воду [24]. Установлено, что СВЧ-нагрев снижает эффект рекристаллизации льда а также температуру кристаллизации. Причиной этого может быть разрыв водородных связей и уменьшение количества связанной воды.

Эффективность диссоциации воды при поглощении СВЧ-излучения одинакова для различных частот (2,5 и 10,0 ГГц). В результате воздействия СВЧ-излучения наблюдалось увеличение концентрации ОН-радикалов [25]. При действии слабоинтенсивных медленно меняющихся электромагнитных полей на воду свободные происходит только изменение структуры кластеров.

Под действием излучения или вследствие собственных тепловых колебаний молекул в КВЧ-диапазоне кластеры могут разрушаться с излучением электромагнитной энергии. При плотности мощности падающего электромагнитного излучения миллиметрового диапазона $10-20$ мкВт/см² в воде возникают вторичные волны, распространяющиеся практически без потерь. В волновом движении участвуют не отдельные

молекулы воды, а молекулярные ассоциаты, в которых роль связующих сил играют водородные связи. Возбуждение этих вторичных волн носит резонансный характер на частотах 51, 65, 100 ГГц [26].

ВЫВОД. Низкоинтенсивное радиоизлучение СВЧ диапазона может оказывать влияние на свойства воды как растворителя через кластеры из молекул воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки РФ №3.3734.2011 от 24.11.2011г.

Список используемой литературы

1. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия. – 1973. – 239с.
2. Дерголец В.Ф. Мир воды. – Л., 1979.
3. Бессонова А.П., Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // Ползуновский вестник. – 2008. - №3 . – С.305-309.
4. Семихина Л.П. Возможности диэлектрического метода для анализа состояния водных систем после физических воздействий // Вестник ТюмГУ. -№2. - 2000. - С.39–43.
5. Синицин Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А. и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. - №1. - С.47–51.
6. Бецкий О. СПЕ-эффект, прохождение КВЧ-излучения через преграды, взаимодействие волн КВЧ диапазона и организма человека // Радио. - 1999. - №10.
7. Черепнев И.А., Полянова Н.В. Взаимодействие макромолекул с внешним электромагнитным полем // Системы обработки информации, 2007. - Вып.3 (61). – С.139-142.
8. Петросян В.И. Резонансное излучение воды в радиодиапазоне // Письма в ЖТФ, 2005. – Т.31. – Вып.23. – С.29-33.
9. Марценюк Л.С. К вопросу о сущности влияния гомеопатических лекарственных препаратов на живые организмы // Вестник новых медицинских технологий – 2007 – Т. XIV, № 2 – С. 15-19.
10. Синицын Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А. // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №8. - С.83-93.
11. Князева И.Р., Медведев М.А., Жаркова Л.П. и др. Воздействие импульсно-периодическим микроволновым и рентгеновским излучениями на эритроциты человека // Бюллетень сибирской медицины, 2009. - №1. - С.24-30.
12. Колесников В.Г., Древаль Н.В. Применение комбинированного воздействия электромагнитных и акустических волн на микроводоросли для выявления резонансных частот // Физика живого, 2010. - Т.18. - №3. - С.24-28.
13. Козьмин А.С. Исследования процессов «переизлучения» водой и водными растворами низкоинтенсивного миллиметрового излучения // Нелинейный мир.- 2008. - №4. - Т.6. - С. 243-245.
14. I.P. Buffey, W. Byers Brown, H.A. Gebbie. Icosahedral water clusters // Chem. Phys. Lett. - 1988. - V.148. - №4. - P.281-284.

15. Хашаев З.Х.-М., Кожокару А.Ф., Шекшеев Э.М. Влияние облученной ЭМИ дистиллированной воды на растительные объекты / Тр. Междунар.конф. “Интеллектуальные САПР” – С.274-281.
16. Дедик Ю.В., Кругляков Н.А., Реброва Т.Б. и др., Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 1984. – В.61.
17. Бункин А.Ф., Грачев В.И., Ляхов Г.А., Нурматов А.А. Четырехфотонная поляризация спектроскопия воды в поле миллиметрового излучения // Письма в ЖЭТФ, Том 68. – Вып.4. – С.266-268.
18. Кашпур В.А., Дубовицкая О.В., Красницкая А.А., Малеев В.Я. КВЧ диэлектрометрический метод для исследования γ - облученной ДНК // Радиофизика и электроника.- 1997.- Т.2, №2.- С. 153-155.
19. Бецкий О.В., Голант М.Б., Девятков Н.Д. Миллиметровые волны в биологии.- М.:Знание, 1988.- 64 с.
20. Савельев С.В. Взаимное влияние биологических систем и эффективность воздействия на них электромагнитного поля. // Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 2003. - №4. - С.20-27.
21. Липсон А.Г., Кузнецов В.А. Образование долгоживущих ассоциированных структур жидкой воды во внешних силовых полях // ЖТФ. – 1996.- Т.66. – В.6. – С.26-36.
22. Бордонский Г.С. Особенности электромагнитных свойств льда вблизи температуры фазового перехода вода-лед // Физика твердого тела. - 2005. - Том 47. - Вып. 4. – С.691-695.
23. Petrenko V., Whitworth R.W. Physics of Ice // Oxford Univ. Press. - 2002. - 347 p.
24. Жмакин А.И. Физические основы криобиологии // Успехи физических наук, 2008. – Т.178. – №3. - С.243-266.
25. Жидько М.В., Шипунов Б.П. Влияние ВЧ поля на растворимость кислорода в воде и ее физико-химические свойства / Сб. тр. I-ой Международной Российско-Казахстанской конференции по химии и химической технологии. - С.77-79.
26. Петросян В.И., Сеницын Н.И., Ёлкин В.А. Люминесцентная трактовка «СПЕ-эффекта» // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2002. - № 1. - С. 28-38.