

Влияние физических факторов на поверхностное натяжение воды

Н. А. Мамедов, Г. И. Гарибов, Э. А. Расулов, Ш. Ш. Алекберов

Бакинский государственный университет,

ул. З. Халилова, 23, г. Баку, AZ-1148, Азербайджанская Республика, e-mail: garibovgio@yahoo.com

Экспериментально исследуется влияние различных внешних факторов, таких как облучение электромагнитными волнами, насыщение воздухом и озоном, воздействие электрического разряда на поверхностное натяжение воды σ . Опыты показали, что облучение воды электромагнитными волнами уменьшает поверхностное натяжение, причем это уменьшение зависит от времени облучения. Под воздействием электромагнитных волн сантиметрового диапазона σ уменьшается с $67,91 \cdot 10^{-3}$ до $62,61 \cdot 10^{-3}$ Н/м при 10-минутном и до $57,96 \cdot 10^{-3}$ Н/м при 30-минутном облучении, а численные значения коэффициентов активности исследуемой воды составляют 8,46 и 17,16% соответственно.

Ключевые слова: вода, поверхностное натяжение, облучение, активность воды.

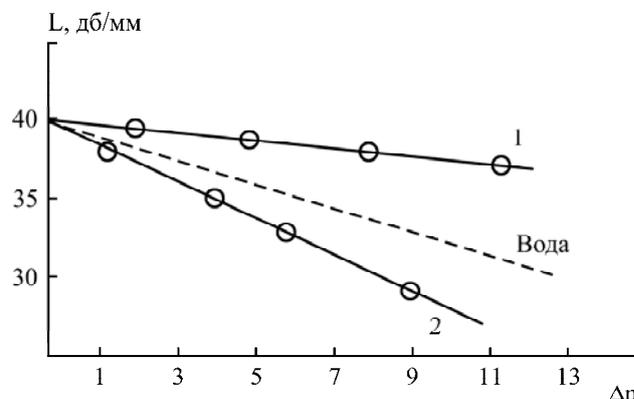
УДК 621.315.61

В работе экспериментально исследуются влияние на поверхностное натяжение воды σ воздействий слабого электромагнитного поля и электрического разряда, а также насыщения воздухом и озоном. Показано, что наибольшее уменьшение коэффициента σ наблюдается при 30-минутном облучении воды электромагнитными волнами сантиметрового диапазона.

Исследовать влияние электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на биологические объекты начали еще в 70-е годы минувшего столетия [1]. Было выявлено, что почти для всех исследованных объектов эффект воздействия в значительной степени зависит от частоты излучения и времени его воздействия на объект и слабо – от изменения плотности мощности.

Получены весьма интересные данные о влиянии взаимодействия аминокислот с молекулами растворителя – воды – на поглощение СВЧ-мощности [2]. Поглощение падает с уменьшением количества воды в растворе, причем в щелочной среде, где аминокислоты находятся в катионной форме. Это падение приблизительно в 3 раза больше, чем в кислой [2] (см. рисунок). Это объясняется прочным связыванием в щелочной среде двух молекул воды молекулой аминокислоты, что качественно согласуется с выводами, сделанными на основе ИК-спектроскопии, а также упругими деформациями молекулярных колебательных систем [3]. Полученные результаты указывают на возможность создания СВЧ-методики измерения степени гидратации биополимеров в растворе при различных температурах. Предлагаемый метод позволяет получить информацию о взаимодействии аминокислот, а также других биологически активных соедине-

ний с водой и может быть использован при построении теории резонансного СВЧ-воздействия на биополимеры. Кроме того, прямое определение числа гидратации может быть полезным для понимания как природы реакционной способности органических соединений в жидкой фазе, так и некоторых специфических свойств макромолекул, определяемых взаимодействием макромолекул с водной средой [2].



Зависимость поглощения водного раствора глицина в кислой (1) и щелочной (2) средах в функции от содержания воды в растворе. Δn – убыль воды за счет растворения аминокислоты.

Однако чем больше в воде различных растворенных веществ, тем труднее остановиться на каком-нибудь из представлений резонансного поглощения водой электромагнитных волн (СПЕ-эффект).

Сущность физико-биологического СПЕ-эффекта выявляется при падении на водную поверхность или водосодержащую среду низкоинтенсивных электромагнитных волн в миллиметровом (мм) диапазоне мощностью порядка

1–10 мкВт/см². При этом могут возникнуть волны, распространяющиеся в среде почти без потерь [4]. Собственно в волновом движении участвуют не отдельные молекулы воды, а молекулярные ассоциаты и клатраты, в которых роль связующих сил играют водородные связи. Причем возбуждение этих волн носит резонансный характер на частотах 50,3; 51,8 и 65 ГГц [4].

Рассеиваясь на структурных неоднородностях, волны теряют свою энергию в виде тепла. В этом случае в соответствии с законом излучения Планка возрастает уровень теплового (электромагнитного) излучения, которое фиксируется в дециметровом диапазоне. Чем меньше длина волны воздействующего электромагнитного поля, тем больше поглощающих факторов. Поэтому, по нашему мнению, прежде всего надо определить степень активности воды, то есть измерить такой ее параметр, который связан с молекулярными силами (например, с силой когезии), создающими условия для жизнедеятельности живых организмов, с одной стороны, и образования или генерации колебаний в водных ассоциатах, с другой. Эти результаты могут быть использованы также для объяснения изменения поверхностного натяжения воды при ее обработке электромагнитными колебаниями.

В последние годы как в научно-популярной, так и в медико-биологической литературе широко обсуждается роль информационно обогащенной или активированной воды в процессах образования биологических откликов. Под активированием подразумевают увеличение проникающей способности воды в отдельные органы и ткани живых организмов. К активирующим воду факторам относят термическую, электрическую и электромагнитную обработки, омагничивание, заморозание–растайвание, механическую обработку (воздействие центробежной силы, создание больших скоростей потока, резкое торможение струи движущейся воды), насыщение воздухом и озоном и т.д.

Во время обработки воды отмеченными факторами каждая единица ее объема получает энергию, в результате чего разрушаются водородные связи [5], что способствует образованию свободных радикалов или изменению свойств и структуры агрегатов – кластеров [6, 7], отвечающих за физико-химические свойства воды. В процессе активирования длинные молекулярные цепочки (H₂O)_n – ассоциаты – разрываются. Это приводит к уменьшению когезии – сил сцепления между молекулами воды и соответственно к уменьшению величины коэффициента поверхностного натяжения σ , который, по-видимому, также причастен к возникновению резонансных частот обр-зующихся колебательных систем.

Для нахождения коэффициента σ мы пользовались методом определения высоты поднятия воды по капиллярным трубкам.

Гидростатическое давление столба жидкости ρgh в трубке, поднятой на высоту h , компенсируется давлением ΔP , создаваемым поверхностным натяжением искривленной поверхности и направленным вверх. Если предположить, что жидкость полностью смачивает стенки капилляра, то радиус кривизны ее мениска можно считать равным внутреннему радиусу капилляра r . Тогда условие равновесия жидкости в капилляре можно записать как

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r} = \rho gh, \quad (1)$$

откуда определяется коэффициент σ :

$$\sigma = \frac{rh}{2} \rho g. \quad (2)$$

Здесь ρ – плотность жидкости; g – ускорение силы тяжести. Как следует из формулы (2), высота поднятия жидкости h обратно пропорциональна радиусу капиллярной трубки r . Произведение

$$rh = \frac{2\sigma}{\rho g} = a^2 \quad (3)$$

является физико-химической константой данной жидкости и не зависит от формы прибора, размера трубки и материала её стенок; определение этой константы необходимо для идентификации измерений. Таким образом, определив высоту поднятия жидкости h в капиллярной трубке, зная внутренний радиус капилляра r и плотность жидкости ρ при данной температуре, по формуле (2) можно вычислить коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ .

В наших опытах использовались три капиллярные трубки, имеющие разные внутренние радиусы (которые определялись с помощью оптического микроскопа): 0,193; 0,718 и 1,33 мм. Величина внутреннего радиуса каждого капилляра определялась в нескольких его сечениях. Измерения показали, что для каждого капилляра эти величины в пределах ошибок измерений не отличаются друг от друга, и, следовательно, трубки являются цилиндрическими. Отметим, что для всех трех трубок постоянная a^2 , вычисленная для значения σ , найденного нами для дистиллированной воды, удовлетворительно согласуется с данными работы [8].

Капиллярные трубки в общем держателе (в двух параллельно закрепленных плоскостях) устанавливались вертикально и опускались в кювету с исследуемой водой на глубину, на 6–8 см превышающую необходимую для проведения опытов. В этом положении трубки оставляли на

5–6 минут, чтобы стенки их каналов основательно смачивались. Затем трубки приподнимали так, чтобы нижние концы капилляров оставались в воде на глубине около 0,5 см. Закрепив в таком положении капилляры в штативе, с помощью катетометра в них измеряли высоту поднятия воды (по уровню вершины мениска в капиллярах) и к каждому отсчету прибавляли поправку на мениск, равную $1/3$ радиуса канала капилляра. В наших опытах использовался катетометр марки В-630. Точность определения уровня жидкости в капиллярах и в кювете (широком сосуде) составляла 0,01 мм. Перед каждым измерением капилляры очищали по известной методике [9].

Во всех экспериментах строго контролировались чистота капилляров, постоянство температуры ($t = 24\text{--}26^\circ\text{C}$), высота воды в кювете, глубина погружения капилляров и т.д.

Значения коэффициента поверхностного натяжения питьевой водопроводной воды при различных физических воздействиях

Вода	$\sigma, 10^3 \text{ Н/м}$	$\alpha, \%$
Дистиллированная	71,35	– 4,82
Питьевая водопроводная	62,98	7,82
Отстоянная в течение 24 ч водопроводная	67,91	0
Подвергнутая воздействию электрического разряда	61,8	9,88
Талая	60,43	12,37
Насыщенная воздухом	62,27	9,05
Насыщенная озоном: – через 10 мин. после барботирования	58,35	16,38
– через 1,5 часа после барботирования	62,32	8,96
Подвергнутая воздействию СВЧ волн в течение: – 10 мин	62,61	8,46
– 30 мин	57,96	17,16

Результаты измерений занесены в таблицу. Во всех случаях физическому воздействию подвергалась водопроводная вода, отстоянная в течение 24 часов.

В таблице приведены средние значения σ , измеренные одновременно тремя капиллярами.

Насыщение воды воздухом и озоном производилось в стеклянной трубке высотой 1 м и диаметром 40 мм. Воздух или озон подавали через мелкодисперсный расщепитель с нижней части трубки в течение 22 минут.

При скорости подачи газа 4 л/мин расход воздуха по объему составлял 88 л. В этом объеме содержание кислорода по объему равно 18,48 л и по массе – 26,4 г, из которого в одном литре воды растворяется 67,88 мг.

При той же скорости подачи смеси воздуха и озона расход последнего по массе составлял 352 мг, из которого в одном литре воды растворяется 9,68 мг. Количество растворенного в воде газа вычислялось по закону Генри [10].

Электрическая обработка воды производилась в стеклянной трубке высотой 7,5 см и диаметром 30 мм. С целью устранения влияния материалов эрозии электродов один из них (спираль из эмалированной меди) находился внутри стеклянной пробирки с диаметром 10 мм, опущенной в трубку с водой, а другой опоясывал эту трубку снаружи. Фактически вода располагалась между двумя барьерами электрического разряда с частотой 20 кГц, напряжением 10 кВ и током 100 мкА, длительность воздействия при этом составляла 1 минуту.

Как видно из таблицы, величина коэффициента σ , найденная нами для дистиллированной воды, достаточно близка к литературным данным [5]. Значение коэффициента σ для пресной воды, взятой из городского водопровода, почти совпадает с σ для воды, насыщенной воздухом. Это совпадение, по-видимому, связано с тем, что вода в водопроводную линию подается мощными насосами, хлорирована, в результате чего она имеет повышенную насыщенность газом. Озонирование воды значительно снижает ее поверхностное натяжение. Видно, что после 22-минутного барботирования озоном (время насыщения воды озоном составляет 22 мин [11]) коэффициент поверхностного натяжения воды уменьшается до $58,35 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, что на 8% меньше ее поверхностного натяжения до озонирования. Отметим, что нами было измерено поверхностное натяжение той же озонированной воды через 1,5 часа после озонирования (время распада озона в воде ~ 20 мин [6]). Опыты показали, что коэффициент σ для этого случая составляет $62,32 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, что почти совпадает с коэффициентом поверхностного натяжения исходной воды без озонирования.

Уменьшение величины σ озонированной воды с течением времени связано, по-видимому, с расщеплением молекул озона. Увеличение значения σ с $58,35 \cdot 10^{-3}$ до $62,32 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ объясняется разложением озона уже через 20-минутного отстоя, а через 1,5 часа часть водородных связей восстанавливается и σ растет.

Как видно из таблицы, такой порядок уменьшения поверхностного натяжения наблюдается и для талой воды, а также для воды, подвергнутой электрической обработке.

Опыты показали, что облучение воды электромагнитным излучением то вызывает уменьшение поверхностного натяжения, причем это уменьшение зависит от времени ее обработки. С

другой стороны, при температуре 4°C равно $74,70 \cdot 10^{-3}$ Н/м, а при 80°C – $62,3 \cdot 10^{-3}$ Н/м, то есть каждые 5°C оно меняется на одну единицу. Для устранения в определенной степени процесса нагрева внеклеточной воды во время экспозиции мы предлагаем сантиметровой диапазон излучаемых электромагнитных волн.

В работе волны с выхода генератора, излучающего в сантиметровом диапазоне (в гигагерцовой области), с помощью прямоугольного рупора направляются на поверхность воды. При этом размеры стеклянного сосуда с водой известного объема подобраны строго по размеру рупора – так, чтобы вся излучаемая энергия приходилась на исследуемый объем воды. Известно, что фазовая скорость волны, распространяющейся вдоль волновода, больше скорости света, поэтому волна в волноводе характеризуется и большей длиной [12]. Используя это соотношение, можно вычислить длину волны, распространяющейся в пространстве, по формуле

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_e}{\sqrt{1 + (\lambda_e/\lambda_{кр})^2}},$$

где λ_e – длина волны в волноводе, определяемая методом стоячих волн в измерительной линии; $\lambda_{кр}$ – критическая длина волны, зависящая от формы и размеров волновода. Поскольку в описываемых экспериментах длина волны в волноводе λ_e выбиралась равной 4,1 см, а $\lambda_{кр}$ для данного волновода составляет 4,6 см, то из приведенной формулы получаем $\lambda_0 = 3,06$ см.

Выделяемую мощность можно определить по известной формуле [12]:

$$P_{выд} = P_{пад} \frac{4k}{(k+1)^2},$$

где $P_{пад}$ – мощность падающей волны, k – коэффициент стоячей волны по напряжению. И, таким образом, находим мощность, приходящуюся на единицу объема воды. В нашем случае выделяемая мощность и мощность, приходящаяся на единицу объема воды, составили соответственно 426 мкВт и 1,29 мкВт/см³.

Измерения σ отстоянной в течение 24 часов воды производились до и после 10- и 30-минутного облучения.

Результаты показали, что воздействие электромагнитными волнами сантиметрового диапазона уменьшает σ воды с $67,91 \cdot 10^{-3}$ до $62,61 \cdot 10^{-3}$ Н/м при 10-минутном и до $57,96 \cdot 10^{-3}$ Н/м при 30-минутном облучении. На основе этих данных нами рассчитаны коэффициенты физиологической активности воды по формуле [13]:

$$\alpha = \frac{\sigma_{о.в} - \sigma_{и.в}}{\sigma_{и.в}},$$

где $\sigma_{о.в}$ – коэффициент поверхностного натяжения отстоянной контрольной воды, $\sigma_{и.в}$ – коэффициент поверхностного натяжения исследуемой облученной воды.

Эти расчеты показали, что численные значения коэффициентов активности исследуемой воды составляют 8,46% при 10-минутном и 17,16% при 30-минутном воздействии электромагнитными волнами сантиметрового диапазона.

Таким образом, в экспериментах, связанных с биологическими откликами, непременно должны исследоваться начальные показатели самого растворителя, то есть воды, чтобы определить вклад энерго-информационного воздействия на собственные параметры последней или косвенно на показатель её активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты. *УФН*. 1973, (4), 453–468.
2. Гайдук В.Н., Хургин Ю.И., Кудряшова Р.А. Перспективы изучения механизмов нетеплового воздействия ЭМ-излучения и суб. мм-го диапазона на биологические активные соединения. *УФН*. 1973, (4), 461–468.
3. Хургин Ю.И., Чернавский Д.С., Шноль С.Э. Молекула белка-фермента как механическая система. *Труды Всесоюзного симпозиума по колебательным процессам в биологических и химических системах. Пуццоно-на-Оке, 21-26 марта 1966 г.* М.: Наука, 1967. 42–50.
4. Синицын Н.И., Петросян М.Б., Елкин В.А. Особая роль системы «мм-волны – водная среда» в природе. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 1998, (1), 5–23.
5. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. *Химия воды и микробиология*. М.: Стройиздат, 1983. С. 14.
6. *Вода в дисперсных системах*. Под ред. Б.В. Дерягина и др. М.: Химия, 1989. С. 132.
7. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. *Поверхностные силы*. М.: Наука, 1987. С. 359.
8. *Физический энциклопедический словарь*. М.: 1962, т.2, с. 277(608); 1965, т.4, с.56(592).
9. *Физический практикум*. Под ред. В.И. Ивероновой М.: Наука, 1967. т. 1, с. 240.
10. Герасимов Я.И. и др. *Курс физической химии*. М.: Химия, 1987. Т. 1, с. 215.
11. Кожин В.Ф., Кожин И.В. *Озонирование воды*. М.: Стройиздат, 1974. С. 18.
12. *Специальный физический практикум*. Под ред. А.А. Харламова М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. Ч. 3, с. 63, 66.
13. И 2008 0015, 24.01.2008. Мамедов Н.А., Гарибов Г.И., Алекберов Ш.Ш. *Способ определения сте-*

*пени физиологической активности воды. Патент
Азербайджанской Республики.*

Поступила 31.05.12

После доработки 28.06.12

Summary

Under experimental investigation is the influence of various external factors such as electromagnetic waves, saturation by air and ozone, electrical discharge on the surface tension of water. Experiments have shown that the irradiation of water by electromagnetic waves causes re-

duction of the surface tension, the effect being dependent on the time of irradiation. The influence of electromagnetic waves in a centimeter range reduces the water surface tension from $67.91 \cdot 10^{-3}$ N/m to $62.61 \cdot 10^{-3}$ N/m during 10 minutes and to $57.96 \cdot 10^{-3}$ N/m during 30 minutes of radiation. The numerical value of the activity factor of the water under study becomes 8.46% and 17.16% for 10 minutes and 30 minutes of irradiation, respectively.

Keywords: water, surface tension, irradiation, activity of water.