

Оригинальная статья / Original article

УДК 544.032

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-2-222-231>

Изменение когезионных и адгезионных характеристик воды как результат электромагнитного воздействия

© В.Ю. Чиркова, Е.А. Шарлаева, И.Е. Стась

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация

Резюме: Вода – важнейший компонент, определяющий структуру и свойства бесчисленного множества элементов живой и неживой природы. Способность откликаться даже на самые незначительные внешние воздействия делают ее уникальным объектом для изучения. Нами изучено влияние низкоинтенсивного электромагнитного поля радиочастотного диапазона ($f = 100\text{--}200$ МГц) на физико-химические свойства деионизованной воды, зависящие от межмолекулярного взаимодействия: теплоту и скорость испарения, работу когезии, адгезии и др. Показано, что облученная вода при атмосферном давлении закипает при более высокой температуре ($T_{\text{кип}} = 102,0$ °С), теплота испарения облученной воды превышает теплоту испарения необлученной на 6,5%. Облученная вода при температуре 22 °С испаряется медленнее, чем необлученная и характеризуется более высокими значениями поверхностного натяжения, работы когезии и краевого угла смачивания. При этом значения краевых углов смачивания поверхности полистирола для облученной воды увеличились на 19–23% относительно показателей необлученной. Эффективность полевого воздействия зависит от частоты и времени экспозиции. Максимальные изменения наблюдались при воздействии поля частотами 130 и 180 МГц в течение 1–3 ч. Дальнейшее увеличение продолжительности облучения оказалось нерезультативно. Свойства облученной воды сохранялись весь период наблюдения. Показано, что усиление когезионного взаимодействия снижает адгезию облученной воды к поверхности полистирола, уменьшая ее смачивающую способность. Минимальная адгезия воды с твердой поверхностью наблюдалась в случае воды, облученной полем частотой 130 МГц. Коэффициенты растекания, определяемые как разность работы адгезии и когезии, имеют отрицательные значения, что свидетельствует об отсутствии растекания воды по поверхности полистирола. Полученные экспериментальные данные позволяют с достаточной степенью вероятности говорить об упрочнении надмолекулярной организации воды, а также об усилении межмолекулярного взаимодействия в водной среде под воздействием электромагнитного поля. Усиление когезии может приводить к изменению сольватации растворенных в воде молекул и ионов, а также к нарушению их транспорта через биологические мембраны, что влияет на функционирование отдельных клеток и жизнедеятельность организма в целом.

Ключевые слова: электромагнитное поле, частота, теплота испарения воды, поверхностное натяжение воды, когезия, краевой угол смачивания

Информация о статье: Дата поступления 23 ноября 2018 г.; дата принятия к печати 7 июня 2019 г.; дата онлайн-размещения 28 июня 2019 г.

Для цитирования: Чиркова В.Ю., Шарлаева Е.А., Стась И.Е. Изменение когезионных и адгезионных характеристик воды как результат электромагнитного воздействия // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, N 2. С. 222–231. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-222-231

Changes in cohesive and adhesive characteristics of water as a result of electromagnetic influence

© Varvara Yu. Chirkova, Elena A. Sharlaeva, Irina E. Stas

Altai State University, Barnaul, Russian Federation

Abstract: Water is the most important component determining the structure and properties of countless elements of animate and inanimate nature. The ability to respond to even the most insignificant external influences makes it a unique object of study. In this work, we studied the effect of the low-intensity electromagnetic

field of radio frequency range ($f = 100\text{--}200$ MHz) on the physical and chemical properties of deionized water, which depend on such intermolecular forces as heat, evaporation rate, cohesion, adhesion, etc. At atmospheric pressures, irradiated water is shown to boil at higher temperatures ($T_b = 102.0$ °C), with the evaporation heat of irradiated water exceeding that of non-irradiated water by 6.5%. At the temperature of 22 °C, irradiated water evaporates more slowly than non-irradiated water and is characterised by higher values of surface tension, work of cohesion and contact angle. In addition, the contact angles of irradiated water on a polystyrene surface increase by 19–23% as compared to that of non-irradiated water. The effectiveness of electromagnetic radiation depends on the frequency and time of exposure. Exposure to field frequencies of 130 MHz and 180 MHz for 1–3 hours caused maximum changes. A further increase in the duration of exposure was ineffective. Irradiated water retained its properties throughout the entire observation period. It is shown that increased cohesive forces reduce the adhesion of irradiated water to the polystyrene surface, thus decreasing its wetting ability. A minimal adhesion of water to a solid surface was observed for water exposed to a field frequency of 130 MHz. The negative values of spreading coefficients, defined as the difference between the work of adhesion and the work of cohesion, indicate that water does not spread over the polystyrene surface. The obtained experimental data prove that exposure to an electromagnetic field strengthens the supramolecular organisation of water, as well as enhances intermolecular interactions in aqueous media. Strengthening of cohesion can lead to a change in the solvation of molecules and ions dissolved in water, as well as to a disruption of their transportation through biological membranes, which affects the functioning of individual cells and the activity of the organism as a whole.

Keywords: electromagnetic field, frequency, evaporation heat, water surface tension, cohesion, contact angle

Information about the article: Received November 23, 2018; accepted for publication June 7, 2019; available online June 28, 2019.

For citation: Chirkova V.Yu., Sharlaeva E.A., Stas I.E. Changes in cohesive and adhesive characteristics of water as a result of electromagnetic influence. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2019, vol. 9, no. 2, pp. 222–231. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-2-222-231

ВВЕДЕНИЕ

Электрические и магнитные поля являются очень сильными факторами влияния на состояние всех биологических объектов, попадающих в зону их воздействия. В современных условиях уровень электромагнитной нагрузки существенно повышается, в связи с чем изучение влияния электромагнитного поля (ЭМП) и излучений на биологические объекты является актуальным. Однако несмотря на многочисленные исследования по данной проблематике, до сих пор нет единой точки зрения на механизм воздействия ЭМП на живые организмы, который объяснял бы характер наблюдаемых эффектов.

Исследования по изучению влияния низкоинтенсивных электрических, магнитных и электромагнитных полей свидетельствуют об их способности оказывать как угнетающий, так и стимулирующий эффект на развитие и размножение живых организмов. При этом наблюдаемые явления не зависят от вида биологического объекта и условий его обитания [1–4]. В исследованиях [1] указывается на значительное угнетение репродукции бактерий *E. coli* при воздействии переменного магнитного поля со сверхнизкими значениями индукции порядка единиц Тл. А совместное наложение постоянного и переменного магнитных полей различной силы, интенсивности и частоты ускоряет биологические процессы. В работах [3, 4] зафиксировано увеличение популяции планарий *Dugesia tigrina*

путем фрагментации. Это объясняется повышением регенерационных способностей организмов при воздействии слабых магнитных полей [5].

Отклик организмов на воздействие физических факторов возможен за счет изменения структуры и свойств водной компоненты клеток, конформации и активности белков, липидов и т.д. Изменение свойств растворителя при полевой обработке неизбежно затрагивает транспортные процессы между клетками и окружающей средой. Таким образом, большой интерес представляет изучение влияния ЭМП не только на организмы в целом, но и на отдельные их компоненты: клетки, биомолекулы, водные растворы. Следовательно, вода также является важнейшим объектом для изучения.

Проведенные ранее исследования позволили установить изменение ряда физико-химических свойств воды, водных растворов и дисперсий в результате воздействия низкоинтенсивного ЭМП радиочастотного диапазона [6–9]. Целью данной работы явилось изучение свойств деионизованной воды, обусловленных энергией межмолекулярного взаимодействия (теплоты и скорости ее испарения, способности растекаться по поверхности твердых тел), до и после ее электромагнитной обработки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали деионизованную воду с удельной электропроводностью $2,4 \cdot 10^{-4}$ См/м.

В качестве источника ЭМП использовали генератор высокочастотных (ВЧ) сигналов ГЗ-19А с диапазоном частот 100–200 МГц. Выходная мощность генератора – 1 Вт, напряжение на ВЧ-электродах – 20–22 В. Наложение поля проводили бесконтактным способом. Для этого использовали ячейку емкостного типа вместимостью 200 мл. Внутренний ВЧ электрод был вставлен в ячейку через ее боковую поверхность. Второй ВЧ электрод плотно примыкал к внешней поверхности ячейки. Облучение проводили в течение 1–3 ч. Изменения температуры при облучении воды не наблюдалось, т.е. речь идет о не-термическом воздействии. Измерения свойств воды проводили через сутки после ее облучения для получения воспроизводимых результатов, так как в отдельных экспериментах в дальнейшем наблюдалось их некоторое изменение.

Определение $T_{кип}$ и теплоты испарения проводили с помощью установки, описанной в работе А.Н. Петрова с соавторами¹. В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником и термометром (цена деления 0,1°), наливали 40 мл облученной или необлученной воды. В колбе при помощи вакуумного насоса создавали разрежение (минимальное давление 0,1–0,2 атм.), которое контролировали с помощью манометра. Воду нагревали до кипения при заданном разрежении и фиксировали температуру. Затем давление постепенно повышали вплоть до атмосферного, определяя $T_{кип}$ при каждом значении P с шагом 0,1 атм.

Теплоту испарения рассчитывали по уравнению Клапейрона – Клаузиуса из наклона прямой в координатах $\ln P - 1/T$:

$$\ln P = \text{Const} - \Delta H/R(1/T) \quad (1)$$

где P – давление; ΔH – теплота испарения; R – газовая постоянная; T – температура².

Испарение облученной и необлученной воды проводили из цилиндрических стаканчиков ($S = 50 \text{ см}^2$) при $T = 22 \text{ °C}$ в течение 3,5 ч, фиксируя убыль массы воды каждые 30 мин при помощи аналитических весов ВМ153М-II (точность $\pm 0,001 \text{ г}$). Эксперимент с облученной и необлученной водой проводили одновременно, чтобы гарантировать одинаковые внешние

¹ Петров А.Н., Черепанов В.А., Ермишина Е.Ю. Практикум по физической химии. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2003. 58 с. / Petrov A.N., Cherepanov V.A., Ermishina E.Yu. *Praktikum po fizicheskoi khimii* [Workshop on physical chemistry]. Ekaterinburg: Ural State University Publ., 2003, 59 p.

² Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия: учебник для студентов вузов; 4-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2001. 527 с. / Stromberg A.G., Semchenko D.P. *Fizicheskaya khimiya* [The course of Physical Chemistry]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2001, 527 p.

условия (атмосферное давление, влажность и температуру воздуха).

Поверхностное натяжение воды σ определяли сталагмометрическим методом (метод взвешивания капель). В каждом эксперименте определяли массу 40 капель воды. Расчет проводили по уравнению

$$\sigma_f = \sigma_0 (m_f/m_0), \quad (2)$$

где m_0 и m_f – масса капли необлученной и облученной воды соответственно; σ_f – поверхностное натяжение облученной воды; σ_0 – поверхностное натяжение необлученной воды [10].

Краевые углы смачивания Θ определяли на поверхности полистирола. Перед измерениями поверхность полистирола обезжиривали изо-пропиловым спиртом. Затем тщательно промывали деионизованной водой и высушивали. Выбор полистирола обусловлен тем, что вода плохо растекается по его поверхности, формируя линзу с легко определяемыми краевыми углами. Кроме того, пластинки полистирола имели гладкую непористую поверхность, а найденные экспериментально углы удовлетворительно совпадали с литературными данными [11]. Измерение Θ проводили следующим образом: каплю исследуемой жидкости с помощью микродозатора ($V = 50 \text{ мкл}$) помещали на строго горизонтальную поверхность полистирола и фотографировали. Фотографии обрабатывали с помощью компьютерной программы. Угол измеряли с двух сторон и брали среднее значение. В каждом эксперименте получали фотографии не менее 10 капель.

Работу когезии W_k , работу адгезии W_a и коэффициент растекания воды по поверхности полистирола F определяли с помощью следующих уравнений [10]:

$$W_k = 2\sigma_{жз}; \quad (3)$$

$$W_a = \sigma_{жз}(1 + \text{Cos}\Theta); \quad (4)$$

$$F = W_a - W_k. \quad (5)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования позволили установить различия в скоростях испарения необлученной и облученной воды, зависящие от частоты ЭМП. На рис. 1 приведены кинетические кривые испарения необлученной и облученной в течение 3 ч воды ($f = 170 \text{ МГц}$), где m – масса испарившейся воды (среднее значение из трех параллельных измерений). Отклонения от среднего значения не превышали 1%. Облученная вода испаряется заметно медленнее, чем необлученная. Расчеты показали, что различие в скоростях испарения ($V = \Delta m/\Delta t \cdot S$) облученной и необлученной воды составляет около 10%: для необлученной воды $V = 6,1 \cdot 10^{-5} \text{ г/мин} \cdot \text{см}^2$, а для облученной $V = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ г/мин} \cdot \text{см}^2$.

Более медленное испарение воды, подвергшейся электромагнитному воздействию, может быть следствием усиления межмолекулярного взаимодействия. Подтверждением этой гипотезы является обнаруженное экспериментально повышение температуры кипения и теплоты испарения

парения воды, которые также зависят от энергии межмолекулярного взаимодействия. Облученная в течение 3 ч вода ($f = 170$ МГц) закипала при более высоких температурах (при атмосферном давлении, при $T = 102,0 \pm 0,4$ °C). Необлученная вода в этих же условиях закипала при $T = 99,8 \pm 0,3$ °C (рис. 2).

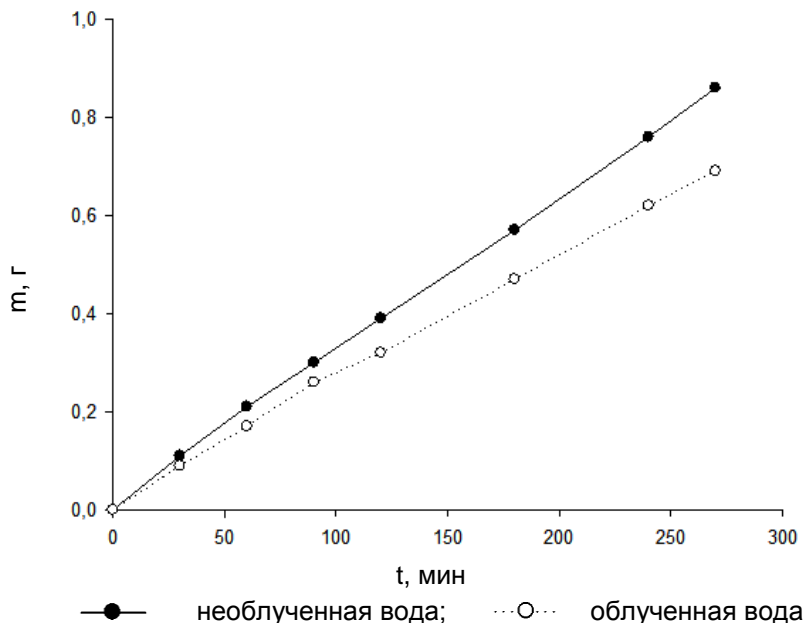


Рис. 1. Кинетические кривые испарения необлученной и облученной воды ($f = 170$ МГц) при $T = 22$ °C

Fig. 1. Kinetic curves of unirradiated and irradiated water evaporation ($f = 170$ MHz) at $T = 22$ °C

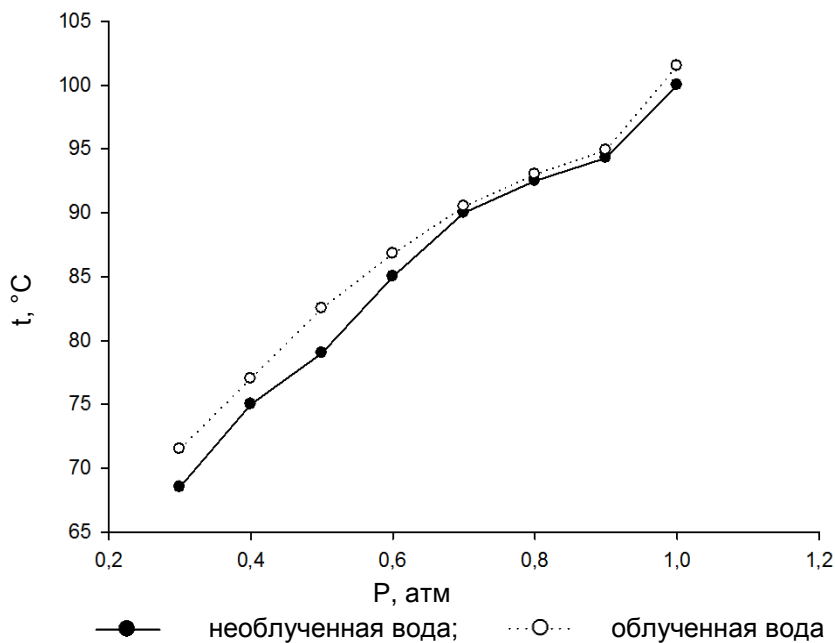


Рис. 2. Зависимость температуры кипения облученной и необлученной воды от давления [9]

Fig. 2. Relationship between boiling point of irradiated and unirradiated water and pressure

Зависимость логарифма давления от обратной температуры была представлена следующими уравнениями:

– для необлученной воды – $\ln P = 14,0 - 5,70T^{-1}$;
 $r = 0,994$;

– для облученной воды – $\ln P = 16,2 - 6,07T^{-1}$;
 $r = 0,996$.

Рассчитанное по уравнению Клапейрона – Клаузиуса (1) среднее значение теплоты испарения необлученной воды составило $45,4 \pm 1,2$ кДж/моль (справочное значение $\Delta H_{исп} = 44,08$ кДж/моль при $T = 25$ °С), а для облученной воды $H_{исп} = 48,1 \pm 1,3$ кДж/моль (средние значения из 5-и экспериментов). Увеличение теплоты испарения воды составило $6,5 \pm 1,4\%$ [11].

Если $\Delta H_{исп}$ определяется работой выхода молекулы из объема в газовую фазу, то поверхностное натяжение σ определяется работой выхода молекулы из объема на поверхность, т.е. также зависит от межмолекулярных сил. Подтверждением усиления межмолеку-

лярного взаимодействия в результате облучения является большее время истечения облученной воды в сравнении с необлученной. Истечение воды из капилляра сталагмометра фиксировали с помощью видеокамеры. На рис. 3 представлены совмещенные синхронизированные изображения капель облученной ($f = 170$ МГц) и необлученной воды в различные моменты времени (использован один и тот же сталагмометр). На рис. 3, а представлен момент начала образования капель, на рис. 3, б – изображения уже сформировавшихся капель, причем видно, что капля необлученной воды имеет более удлиненную форму, т.е. зафиксирован практически момент ее отрыва. На рис. 3, с можно наблюдать, что капля необлученной воды уже оторвалась и начинает формироваться новая, в то время как капля облученной воды сформировалась еще не до конца. Подобная картина свидетельствует о возрастании поверхностного натяжения воды в результате облучения.

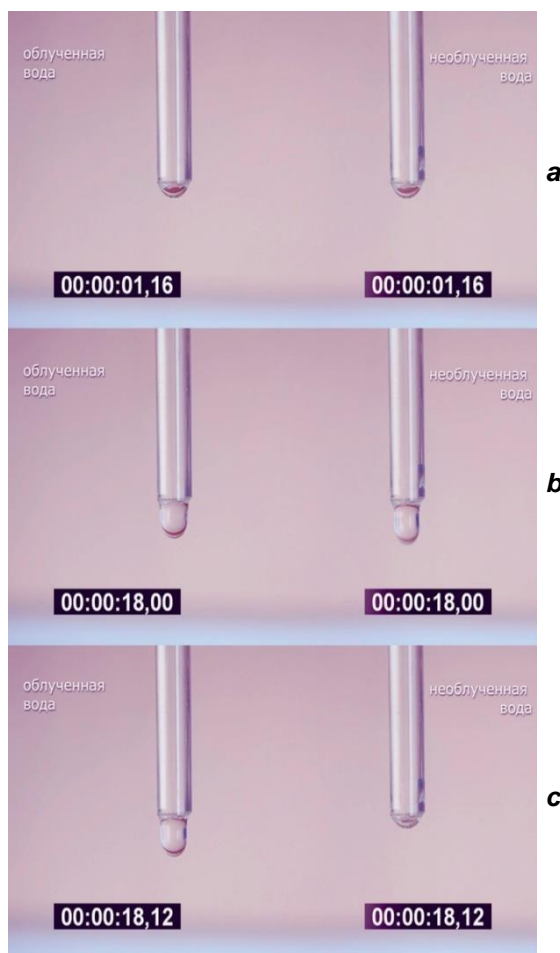


Рис. 3. Синхронизированные изображения капель облученной (170 МГц) и необлученной воды, вытекающих из сталагмометра в различные моменты «жизни» капли: а – $t = 1,16$ с; б – $t = 18,00$ с; в – $t = 18,12$ с

Fig. 3. Synchronized droplets images of irradiated (170 MHz) and unirradiated water flowing from a stalagmometer at various moments of the drop «life» а – $t = 1.16$ s; б – $t = 18.00$ s; в – $t = 18.12$ s

Предыдущие исследования показали, что эффективность полевого воздействия на воду и водные растворы зависит от частоты ЭМП и времени экспозиции [12]. В табл. 1 и 2 приведены результаты определения поверхностного натяжения воды σ в зависимости от частоты и времени полевого воздействия. Следует отметить, что, если максимальное изменение температуры кипения, теплоты и скорости испарения наблюдалось при $t_{обл} = 3$ ч, то поверхностное натяжение воды достигало максимального значения через 1 ч облучения и в дальнейшем не изменялось. Кинетические закономерности получены для двух частот – 170 и 130 МГц. Изучение же частотной зависимости эффекта показало, что максимальное увеличение по-

верхностного натяжения составило 12–13% в результате воздействия ЭМП частотой 130, 150, 170 и 180 МГц (табл. 2). При воздействии поля других частот эффект был выражен в меньшей степени или вовсе отсутствовал.

Определение краевых углов смачивания поверхности полистирола водой показало их значительное увеличение в случае облученной воды. Краевые углы смачивания возрастали на 19–23% (табл. 2). При других частотах в диапазоне 100–200 МГц значения Θ либо вообще не изменялись, либо изменялись незначительно. Фотографии капель необлученной и облученной воды на твердой поверхности с указанием их геометрических параметров представлены на рис. 4.

Таблица 1

Изменение поверхностного натяжения воды в зависимости от времени воздействия ЭМП ($T = 22$ °С; $\sigma_{необл} = 72,75$ мДж/м²) [9]

Table 1

Changes in water surface tension depending on the time of electromagnetic field exposure ($T = 22$ °С; $\sigma_{unirr} = 72.75$ mJ/m²)

Частота воздействия ЭМП, f , МГц	Время воздействия ЭМП, t , мин				
	30	60	90	120	150
130	74,7 ± 0,7	82,2 ± 1,5	82,3 ± 0,9	82,2 ± 0,7	82,2 ± 1,0
170	77,4 ± 0,8	82,5 ± 1,0	82,5 ± 1,0	82,5 ± 0,9	82,5 ± 1,1

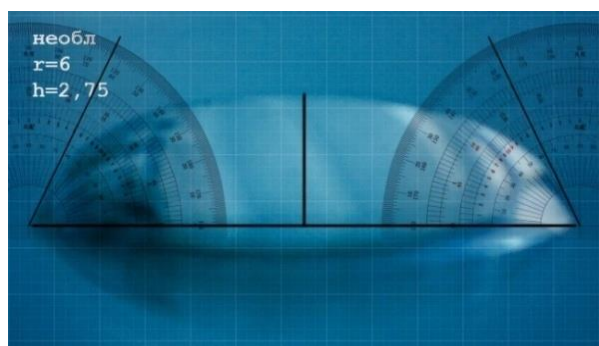
Таблица 2

Поверхностное натяжение, краевые углы смачивания и значения $\cos \Theta$ для необлученной и облученной воды в зависимости от частоты ЭМП ($T = 22$ °С; $t_{обл} = 1$ ч)

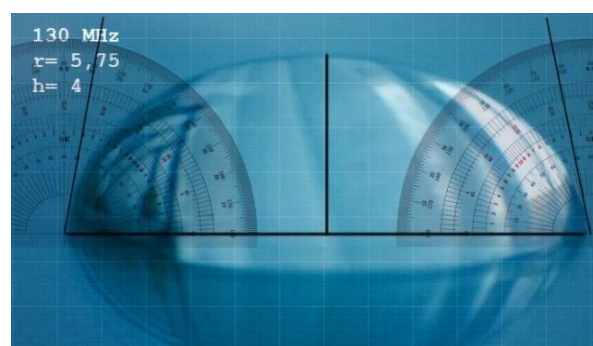
Table 2

Surface tension, wetting angles and $\cos \Theta$ values for unirradiated and irradiated water depending on the frequency of the EMF ($T = 22$ °С, $t = 1$ h)

Параметр	Частота воздействия ЭМП, f , МГц					
	0	120	130	150	170	180
f , МГц						
σ , мДж/м ²	72,8 ± 0,8	72,8 ± 0,8	79,7 ± 1,0	80,6 ± 0,9	80,6 ± 0,9	81,5 ± 1,0
Θ , °	64 ± 1	69 ± 1	79 ± 1	76 ± 1	77 ± 1	78 ± 1
Δ , %	–	7,8	23	19	20	22
$\cos \Theta$	0,44	0,36	0,19	0,24	0,22	0,21



a



b

Рис. 4. Фотографии капель необлученной (a) и облученной ЭМП частотой 130 МГц (b) воды (r – радиус капли; h – высота капли, мм)

Fig. 4. Photos of unirradiated (a) and irradiated (b) water droplets (frequency=130 MHz; r is the drop radius; h is the drop height, mm)

По значениям поверхностного натяжения воды, краевых углов смачивания и их косинусов рассчитаны работа когезии и адгезии, а также коэффициент растекания воды по поверхности полистирола (табл. 3).

Поверхностное натяжение различных тел на границе с газом непосредственно связано с межмолекулярным взаимодействием в конденсированной фазе, т.е. с когезией. Работа когезии определяется затратой энергии на обратимый разрыв однородной объемной фазы, отнесенный к единице площади разрыва. Поскольку когезия отражает межмолекулярное взаимодействие внутри гомогенной фазы, то ее могут охарактеризовать такие параметры, как энергия парообразования, температура кипения, летучесть и др. Таким образом, наблюдается корреляция полученных экспериментальных данных по изменению указанных параметров в облученной воде, что позволяет с достаточной степенью вероятности говорить об упрочнении надмолекулярной организации воды в результате воздействия на нее электромагнитного поля. В результате происходит снижение работы адгезии воды и ухудшение ее растекания по поверхности полистирола (табл. 3). Минимальная адгезия воды с твердой поверхностью наблюдается в случае воды, облученной полем частотой 130 МГц. Коэффициенты растекания, определяемые как разность работы адгезии и когезии, имеют отрицательные значения, что свидетельствует об отсутствии растекания воды по поверхности полистирола. Следует

отметить, что вода сохраняет свои измененные свойства продолжительное время – неделями и даже месяцами [12–14], что позволяет проводить достаточно длительные эксперименты, не внося заметной ошибки в измерения, проведенные через разные промежутки времени после произведенного воздействия на воду.

Исходя из закона Юнга

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{те} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жз}} \quad (6)$$

можно оценить изменение пограничного натяжения на границе раздела вода – полистирол $\Delta(\sigma_{тж}^f - \sigma_{тж}^0)$, где $\sigma_{тж}^f$ и $\sigma_{тж}^0$ – значения пограничного натяжения облученной и необлученной воды:

$$\sigma_{тж}^0 = \sigma_{те}^0 - \sigma_{жз}^0 \cos \Theta^0; \quad (7)$$

$$\sigma_{тж}^f = \sigma_{те}^f - \sigma_{жз}^f \cos \Theta^f; \quad (8)$$

$$\Delta(\sigma_{тж}^f - \sigma_{тж}^0) = \sigma_{жз}^f \cos \Theta^f - \sigma_{жз}^0 \cos \Theta^0 \quad (9)$$

Данные расчетов свидетельствуют о снижении пограничного натяжения на границе раздела вода – полистирол в зависимости от частоты ЭМП (табл. 4). Так как пограничное натяжение зависит от разности интенсивностей силовых полей контактирующих фаз, следовательно, снижение указанной величины может быть вызвано усилением силового поля со стороны водной фазы.

Таблица 3

Работа когезии (W_k) и адгезии (W_a), коэффициенты растекания (F) воды по поверхности полистирола для необлученной и облученной воды ($T = 21^\circ\text{C}$)

Table 3

Work of cohesion (W_k) and adhesion (W_a), the spreading coefficients (F) of water over the polystyrene surface for unirradiated and irradiated water ($T = 21^\circ\text{C}$)

Параметр	Значение					
f , МГц	0	120	130	150	170	180
W_k , мДж/м ²	145 ± 2	145 ± 2	159 ± 2	161 ± 2	161 ± 2	163 ± 2
W_a , мДж/м ²	105	98,8	94,9	100,1	98,8	98,4
$-F$, мДж/м ²	40,9	46,7	64,5	61,2	62,5	64,5

Таблица 4

Изменение пограничного натяжения на границе раздела вода – полистирол ($T = 21^\circ\text{C}$)

Table 4

Changes in the boundary tension at the water-polystyrene interface ($T = 21^\circ\text{C}$)

Параметр	Значение					
f , МГц	0	120	130	150	170	180
$-\Delta\sigma_{жт}$, мДж/м ²	–	5,80	16,6	12,4	13,8	14,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что облученная вода закипает при более высокой температуре ($T_{кип} = 102\text{ }^{\circ}\text{C}$), ее теплота испарения превышает теплоту испарения необлученной воды на 6,5%. Облученная вода при температуре $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ испаряется медленнее, чем необлученная.

2. Облученная вода характеризуется более высокими значениями поверхностного натяжения, работы когезии и краевого угла смачивания водой поверхности полистирола. Усиление когезионного взаимодействия снижает адгезию облученной воды к поверхности полистирола и уменьшает ее смачивающую способность.

3. Установлено, что эффективность элек-

тромагнитного воздействия зависит от частоты поля и времени экспозиции. Частотная зависимость носит экстремальный характер, изменение свойств воды нарастает при увеличении времени облучения до определенного предела – 1–3 ч. Дальнейшее воздействие не приводит к изменению свойств воды.

4. Проведенные исследования свидетельствуют об усилении когезионного взаимодействия в водной среде, подвергшейся электромагнитному воздействию, что может приводить к изменению сольватации растворенных в ней молекул и ионов, а также к изменению их транспорта через биологические мембраны, определяющего функционирование клеток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ачкасова Ю.Н. Избирательная чувствительность бактерий к инфранизкочастотным магнитным полям. В кн.: Электромагнитные поля в биосфере. Т. 2. Биологическое действие электромагнитных полей. М.: Наука, 1984. С. 72–73.

2. Макеев В.Б., Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкина О.Г. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля. В кн.: Электромагнитные поля в биосфере. Т. 2. Биологическое действие электромагнитных полей. М.: Наука, 1984. С. 62–72.

3. Новиков В.В., Шейман И.М., Лисицын А.С., Клубин А.В., Фесенко Е.Е. Зависимость влияния слабых комбинированных низкочастотных переменных и постоянных магнитных полей на интенсивность бесполого размножения планарий *Dugesia tigrina* от величины переменного поля // Биофизика. 2002. Т. 47. N 3. С. 566–567.

4. Новиков В.В., Шейман И.М., Фесенко Е.Е. Влияние слабых и сверхслабых магнитных полей на интенсивность бесполого размножения планарий *Dugesia tigrina* // Биофизика. 2002. Т. 47. N 1. С. 125–129.

5. Лященко А.К. Структура воды, миллиметровые волны и их первичная мишень в биологических объектах // Биомедицинская радиоэлектроника. 2007. N 8-9. С. 62–76.

6. Mikhailova O.P., Stas I.E., Shipunov B.P. The influence of a high-frequency electromagnetic field on the adsorption ability of ionogenic surface-active substances // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2010. Vol. 84. No. 12. P. 2128–2132. DOI: 10.1134/S0036024410120216

7. Stas I.E., Ivonina T.S., Shipunov B.P. Identification nonthermal component influence of high-frequency electromagnetic field for speed electrode

process // Electroanalysis. 2005. Vol. 17. No. 5. P. 794–797.

8. Чиркова В.Ю., Стась И.Е., Бессонова А.П. Изменение поверхностного натяжения воды и водных растворов бутанола в результате воздействия электромагнитного поля // Известия АлтГУ. 2012. N 3-2 (75). С. 150–153.

9. Чиркова В.Ю., Стась И.Е. Увеличение поверхностного натяжения и теплоты испарения воды как результат воздействия высокочастотного электромагнитного поля // Известия АлтГУ. 2014. N 3-2 (83). С. 187–191. DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.2-33

10. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1975. 512 с.

11. Плевачук В.Г., Вертячих И.М., Гольдаде В.А., Пинчук Л.С. Влияние заряда полимерного электрета на растекание жидкости // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1995. Т. 37. N 10. С. 1728–1731.

12. Стась И.Е., Репейкова Л.Ю. Физико-химические закономерности эволюции коллоидных наносистем в жидкой дисперсионной среде под влиянием электромагнитных полей: монография. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2013. 100 с.

13. Стась И.Е., Чиркова В.Ю., Штоббе И.А. Физико-химические процессы в электромагнитном поле ультравысоких частот: монография. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2015. 101 с.

14. Стась И.Е., Чиркова В.Ю., Штоббе И.А. Электропроводность воды, разбавленных водных растворов хлоридов щелочных металлов и спиртов и ее изменение в результате воздействия электромагнитного поля // Вестник КарГУ. Серия Химия. 2018. N 2 (90). С. 71–80.

REFERENCES

1. Achkasova Yu.N. Izbiratel'naya chuvstvitel'nost' bakterii k infranizkochastotnym magnitnym polyam [Selective sensitivity of bacteria to in-

fra-low magnetic fields]. In: *Elektromagnitnye polya v biosfere* [Electromagnetic fields in the biosphere]. Vol. 2. Moscow: Nauka Publ., 1984, pp. 72–73.

2. Makeev V.B., Temur'yants N.A., Vladimirovskii B.M., Tishkina O.G. *Fiziologicheski aktivnyye infranizkochastotnye magnitnye polya* [Physiologically active infra-low magnetic fields]. In: *Elektromagnitnye polya v biosfere* [Electromagnetic fields in the biosphere]. Vol. 2. Moscow: Nauka Publ., 1984, pp. 62–72.

3. Novikov V.V., Sheiman I.M., Lisitsyn A.S., Klyubin A.V., Fesenko E.E. Dependence of the influence of weak combined low-frequency variables and constant magnetic fields on the asexual reproduction intensity of planarium *Dugesia tigrina* on the magnitude of the alternating field. *Biofizika*. 2002, vol. 47, no. 3, pp. 566–567. (In Russian)

4. Novikov V.V., Sheiman I.M., Fesenko E.E. Effect of weak and superweak magnetic fields on intensity of asexual reproduction of planarium *Dugesia tigrina*. *Biofizika*. 2002, vol. 47, no. 1, pp. 125–129. (In Russian)

5. Lyashchenko A.K. Struktura vody, millimetrovye volny i ikh pervichnaya mishen' v biologicheskikh ob'ektakh. *Biomeditsinskaya radioelektronika*. 2007, no. 8–9, pp. 62–76. (In Russian)

6. Mikhailova O.P., Stas I.E., Shipunov B.P. The influence of a high-frequency electromagnetic field on the adsorption ability of ionogenic surface-active substances. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2010, vol. 84, no. 12, pp. 2128–2132. DOI: 10.1134/S0036024410120216

7. Stas I.E., Ivonina T.S., Shipunov B.P. Identification nonthermal component influence of high-frequency electromagnetic field for speed electrode process. *Electroanalysis*. 2005, vol. 17, no. 5, pp. 794–797.

8. Chirkova V.Yu., Stas' I.E., Bessonova A.P. Changes of Surface Tension of Water and Butanol Aqueous Solutions Being Exposed by Electromagnetic

Field. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no. 3–2 (75), pp. 150–153. (In Russian)

9. Chirkova V.Yu., Stas' I.E. Increasing of Surface Tension and Water Vaporization Heat as a Result of High-Frequency Electromagnetic Field Impact. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014, no. 3–2 (83), pp. 187–191. (In Russian) DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.2-33

10. Voyutskii S.S. *Kurs kolloidnoi khimii* [Colloid chemistry]. Moscow: Khimiya Publ., 1975, 512 p.

11. Plevachuk V.G., Vertyachikh I.M., Gol'dade V.A., Pinchuk L.S. Influence of polymer electret charge on liquid spreading. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A*. 1995, vol. 37, no.10, pp. 1728–1731. (In Russian)

12. Stas' I.E., Repeikova L.Yu. *Fiziko-khimicheskie zakonomernosti evolyutsii kolloidnykh nanosistem v zhidkoi dispersionnoi srede pod vliyaniem elektromagnitnykh polei* [Physicochemical laws of the evolution of colloidal nanosystems in a liquid dispersion medium under the influence of electromagnetic fields]. Barnaul: Altai State University Publ., 2013, 100 p.

13. Stas' I.E., Chirkova V.Yu., Shtobbe I.A. *Fiziko-khimicheskie protsessy v elektromagnitnom pole ul'travysokikh chastot* [Physicochemical processes in the electromagnetic field of ultra-high frequencies]. Barnaul: Altai State University Publ., 2015, 101 p.

14. Stas' I.E., Chirkova V.Yu., Shtobbe I.A. The electrical conductivity of water, dilute aqueous solutions of alkali metal chlorides and alcohols and its change as a result of exposure to an electromagnetic field. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya Khimiya*. 2018, no. 2 (90), pp. 71–80. (In Russian)

Критерии авторства

Чиркова В.Ю., Шарлаева Е.А., Стась И.Е. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Чиркова В.Ю., Шарлаева Е.А., Стась И.Е. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чиркова Варвара Юрьевна, ✉
старший преподаватель кафедры
физико-химической биологии и биотехнологии,
Алтайский государственный университет,
e-mail: varvara.chirkova@gmail.com

Contribution

Varvara Yu. Chirkova, Elena A. Sharlaeva, Irina E. Stas carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Varvara Yu. Chirkova, Elena A. Sharlaeva, Irina E. Stas have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX

Varvara Yu. Chirkova, ✉
Senior Lecturer,
Department of Physico-Chemical
Biology and Biotechnology,
Altai State University,
e-mail: varvara.chirkova@gmail.com

Шарлаева Елена Анатольевна,
к.б.н., доцент кафедры экологии,
биохимии и биотехнологии,
Алтайский государственный университет,
e-mail: sharlaeva1@mail.ru

Стась Ирина Евгеньевна,
к.х.н., доцент кафедры физической
и неорганической химии,
Алтайский государственный университет,
e-mail: irinastas@gmail.com

Elena A. Sharlaeva,
Ph.D. (Biology), Associate Professor
Department of Ecology,
Biochemistry and Biotechnology,
Altai State University,
e-mail: sharlaeva1@mail.ru

Irina E. Stas,
Ph.D. (Chemistry), Associate Professor,
Department of Physical and
Inorganic Chemistry,
Altai State University,
e-mail: irinastas@gmail.com