

УДК 541.1

**Увеличение поверхностного натяжения  
и теплоты испарения воды как результат воздействия  
высокочастотного электромагнитного поля**

*В.Ю. Чиркова<sup>1</sup>, И.Е. Стась<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

**Increasing of Surface Tension and Water Vaporization Heat  
as a Result of High-Frequency Electromagnetic Field Impact**

*V.Yu. Chirkova<sup>1</sup>, I.E. Stas<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Altai State University (Barnaul, Russia)

Изучено влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона на поверхностное натяжение деионизованной воды, характеризующейся более высокой степенью очистки по сравнению с дистиллированной водой. Показано увеличение поверхностного натяжения на 6–10% в зависимости от частоты электромагнитного поля и времени его воздействия. Изученный диапазон частот — от 100 до 200 МГц с шагом 10 МГц. Время воздействия варьировалось от 30 мин до 4 ч. Изменения поверхностного натяжения в максимальной степени выражены при частотах 130 и 170 МГц и времени воздействия 1 ч. Установлено, что эффективность полевого воздействия не зависит от объема ячейки, в которой проводилось облучение воды. После прекращения воздействия поверхностное натяжение не изменяется в течение длительного времени. Облучение воды приводит также к увеличению ее температуры кипения, теплоты испарения и скорости испарения. Поскольку все указанные свойства определяются силой межмолекулярного взаимодействия внутри жидкости, высказано предположение, что наблюдаемые эффекты обусловлены увеличением доли воды, связанной в кластеры, и упрочнением сетки водородных связей.

**Ключевые слова:** структура воды, электромагнитное поле, поверхностное натяжение, теплота испарения, температура кипения, скорость испарения.

**DOI 10.14258/izvasu(2014)3.2-33**

Объединяющей основой различных моделей воды служит утверждение о наличии в ее структуре как отдельных молекул, так и молекул, объединенных различными связями, создающих динамически развивающиеся кинетические образования. Многократно проверенные факты свидетельствуют о том, что даже небольшие энергетические воздействия вызывают существенные изменения свойств систем и энергетических параметров протекающих в них процессов,

The effect of high-frequency electromagnetic field on the surface tension of deionized water, characterized by a higher degree of purification in comparison with distilled water has been investigated. It is shown that 6–10% increase of surface tension depending on electromagnetic field frequency and the time of exposure takes place. The studied frequency range is 100 MHz to 200 MHz in 10 MHz steps. Exposure time varied from 30 minutes to 4 hours. Changes in surface tension are to the most extent expressed at frequencies 130 and 170 MHz and the exposure time of one hour. The efficiency of field impact was found not to depend on the volume of the cell where water irradiation was carried out. Surface tension does not change for a long time after impact termination. Water irradiation also leads to the raise of its boiling temperature, evaporation heat and evaporation rate. Since all specified properties are determined by the power of intermolecular interaction within the liquid it is suggested that the observed effects are caused by the increase in the proportion of water bound into clusters and by hydrogen bonds network hardening.

**Key words:** water structure, electromagnetic field, surface tension, evaporation heat, boiling temperature, evaporation rate.

в десятки раз превышающие сообщенную системе энергию. Зафиксированы изменения структурных, оптических, кинетических, магнитных и других физико-химических свойств исследуемых водных систем [1, с. 53–70].

Накоплен большой экспериментальный материал, свидетельствующий о значительном изменении свойств воды и водных растворов, а также скорости протекающих в водной среде реакций в результате

воздействия электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона [2, с. 194–195; 3, с. 150–153; 4, с. 2345–2349]. Предполагается, что полевое воздействие изменяет структуру воды, а именно увеличивает степень связанности ее молекул в кластеры, понижая степень гидратации ионов и полярных групп ПАВ, что косвенно подтверждают экспериментальные данные [5, с. 1497–1500; 6, с. 38–42]. Более обоснованный ответ на вопрос, происходит ли упрочнение надмолекулярной организации воды под воздействием ЭМП, могут дать исследования поверхностных характеристик воды, а также процессов испарения, так как они напрямую связаны с энергией межмолекулярного взаимодействия.

Преыдушие исследования [3, с. 150–153] позволили установить увеличение поверхностного натяжения дистиллированной воды, зависящее от частоты и времени воздействия поля. В настоящей работе представлены исследования поверхностного натяжения деионизованной воды, полученной путем очистки водопроводной воды обратным осмосом. Очищенная таким образом вода характеризуется более низкой электрической проводимостью ( $1,4 \cdot 10^{-4}$  см/м) по сравнению с дистиллированной водой ( $2,1 \cdot 10^{-4}$  см/м).

**Методика эксперимента.** Облучение воды проводили в ячейке емкостного типа с помощью генератора ГЗ-19А, варьируя частоту ЭМП в диапазоне 100–200 МГц. Выходная мощность генератора — 1 Вт. Напряжение на ВЧ электродах — 20–22 В.

Поверхностное натяжение определяли сталагмометрическим методом, методика которого описана в [3]. Метод основан на изменении массы капли исследуемой воды, которую определяли по разности масс бюкса, содержащего 40 капель воды, вытекшей

из сталагмометра, и пустого бюкса с помощью электронных аналитических весов ВМ153М-II. Масса капли необлученной воды составляла  $0,087 \pm 0,002$  г, а облученной изменялась в пределах  $0,093 \pm 0,002$  —  $0,098 \pm 0,002$  г.

Определение температуры кипения и теплоты испарения проводили с помощью лабораторной установки, описанной в [7, с. 59]. В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником и термометром (цена деления  $0,1^\circ$ ), наливали 40 мл облученной или необлученной воды. В колбе при помощи вакуумного насоса создавали разрежение (минимальное давление  $0,2$ – $0,3$  атм), которое контролировали с помощью манометра. Воду нагревали до кипения при заданном разрежении и фиксировали температуру. Затем давление постепенно повышали вплоть до атмосферного, определяя температуру кипения при каждом значении давления с шагом  $0,1$  атм.

Испарение воды проводили из цилиндрических пластиковых стаканчиков (площадь поверхности воды  $S = 50$  см<sup>2</sup>) при комнатной температуре, составлявшей  $t = 22^\circ\text{C}$ , в течение 3,5 ч, фиксируя убыль массы стаканчиков с водой каждые 30 мин при помощи аналитических весов ВМ153М-II. Эксперимент с облученной и необлученной водой проводили одновременно, чтобы гарантировать одинаковые внешние условия (атмосферное давление и температуру воздуха).

**Обсуждение результатов.** Изучено влияние частоты и времени облучения, а также объема воды на величину ее поверхностного натяжения. Частота поля варьировалась с шагом 10 МГц. Согласно данным, представленным в таблице 1, максимальное изменение  $\sigma$  происходило при воздействии поля частотой 170 МГц и составляло 6% при времени облучения 30 мин.

Таблица 1

Значения поверхностного натяжения воды в зависимости от частоты электромагнитного поля ( $t_{\text{обл}} = 30$  мин,  $T = 22^\circ\text{C}$ )

$f$ , МГц	0	130	150	155	170
$\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>	$72,8 \pm 0,4$	$74,7 \pm 0,7$	$72,8 \pm 0,5$	$73,5 \pm 0,6$	$77,4 \pm 0,8$

Согласно теоретическим представлениям наиболее существенные изменения свойств воды должны наблюдаться на границе раздела стенка ВЧ ячейки — вода, так как именно на этой границе наблюдается резкое изменение диэлектрической проницаемости контактирующих сред. Поэтому можно предположить зависимость величины эффекта электромагнитного воздействия от объема облучаемой воды вследствие изменения доли смоченной поверхности ячейки. Расчеты показали, что при увеличении объема в 5 раз площадь поверхности увеличивается в 3 раза. Однако проведенные исследования подтвердили независимость степени увеличения поверхностного натяжения от объема облучаемой воды.

Очевидно, структурные изменения, возникающие на границе раздела, достаточно быстро транслируются на весь объем жидкости. Следует отметить хорошую воспроизводимость результатов — независимо от объема облучаемой воды  $\sigma$  возрастало примерно на 6% (табл. 2). При увеличении продолжительности облучения наблюдалось постепенное возрастание поверхностного натяжения воды на протяжении 60 мин. За это время увеличение  $\sigma$  составило 10% (табл. 3). Дальнейшее облучение оказалось неэффективным — поверхностное натяжение воды оставалось на прежнем уровне, т.е. можно говорить о существовании некоего предела изменения структуры воды и, как следствие, ее свойств.

Таблица 2

Значения поверхностного натяжения облученной воды в зависимости от ее объема в ВЧ ячейке  
( $f = 170$  МГц,  $t_{\text{обл}} = 30$  мин,  $T = 22$  °С)

$V$ , мл	5	10	15	20	25
$\sigma^f$ , мДж/м <sup>2</sup>	76,2±0,6	77,0±1,0	77,4±1,1	77,0±0,9	77,4±0,8

Таблица 3

Изменение поверхностного натяжения воды в зависимости от времени воздействия ( $T = 22$  °С)

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

После прекращения облучения релаксации поверхностного натяжения к исходному значению не наблюдалось, что свидетельствует о необратимости процессов, происходящих в водной среде, и возникновении нового равновесного состояния водной системы.

На основании экспериментальных исследований можно высказать некоторые предположения относительно процессов, происходящих в жидкости под действием ЭМП. Известно, что поверхностное натяжение жидкостей растет с понижением температуры [8, с. 102–104]. При этом увеличивается доля воды, связанной в кластеры. Поэтому можно предположить, что ЭМП способствует упрочнению надмолекулярной организации воды, увеличивая долю связанной воды. Не противоречит высказанному предположению данные, полученные Антоновым и Юскеселиевой [9, с. 14–18], которые установили взаимосвязь между энергией водородной связи  $E$  (эВ), функцией распределения связей по энергии  $f(E)$  и поверхностным натяжением (в данной работе  $\theta$ ):

$$f(E) = b \times f(\theta) / (1 - (1 + bE)^2)^{1/2},$$

где  $b = 14,33$  эВ<sup>-1</sup>.

На основании экспериментальных данных и расчетов по указанному уравнению авторами [9] получен дифференциальный неравновесный энергетический спектр деионизованной воды, свидетельствующий о наличии в воде ассоциативных групп, содержащих от 3 до 21 и более отдельных молекул воды. Применительно к нашим исследованиям данную функциональную зависимость можно интерпретировать следующим образом: изменение поверхностного натяжения воды в результате облучения является следствием перераспределения числа кластеров с различным содержанием молекул воды в сторону увеличения доли кластеров с более высокой энергией водородной связи, так как поверхностное натяжение жидкости опреде-

ляется работой выхода молекулы из объема на поверхность. Чем более прочно связаны молекулы, тем больше энергии нужно затратить, чтобы переместить молекулу на поверхность. Из приведенного в [8, с. 14–18] энергетического спектра следует наличие в воде кластеров с различным количеством входящих в них молекул воды и различной энергетикой. Очевидно, что кластеры как единое целое могут совершать колебания с определенной частотой, зависящей от размера и следовательно массы кластера. Тогда можно предположить наличие резонансных явлений при электромагнитном воздействии, когда частота внешнего поля совпадает с собственной частотой колебаний кластеров.

Исходя из гипотезы об упрочнении сетки водородных связей [1, с. 60–65] увеличение температуры кипения и теплоты испарения обусловлено разрывом водородных связей молекулы жидкости с соседними молекулами и переходом в газовую фазу.

Эксперимент показал, что температуры кипения облученной воды, измеренные при различных давлениях, заметно выше аналогичных величин для необлученной воды, причем наибольшие различия наблюдались в области давлений 0,3–0,6 атм и достигали 3–4 °С (рис. 1).

В области 0,8–1,0 атм различия в  $T_{\text{кип}}$  снижались до 1–1,5 °С. При атмосферном давлении температура кипения облученной воды составляла 101,5±0,2 °С. Возможно, что при достаточно большом разрежении изменяется доля воды, связанной в кластеры, и эти различия в разной степени проявляются для облученной и необлученной воды. Расчет теплоты испарения из полученных данных по уравнению Клапейрона — Клаузиуса:

$$\ln P = \text{const} - \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T} \right),$$

где  $P$  — давление;  $\Delta H$  — теплота испарения;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T$  — тем-

пература, К, показал увеличение теплоты испарения воды на  $(6,5 \pm 1,4)\%$ . Найденное среднее значение теплоты испарения необлученной воды составило  $45,4 \pm 1,2$  кДж/моль (справочное значение — 44,08 кДж/моль), а для облученной воды —  $48,1 \pm 1,3$  кДж/моль (средние значения из пяти экспериментов). Зависимость логарифма давления

от обратной температуры представлена следующими уравнениями:

$$\ln P = 14,0 - 5,70T^{-1} \text{ (необлученная вода),}$$

$$\ln P = 16,2 - 6,07T^{-1} \text{ (облученная вода).}$$

Коэффициенты корреляции составили соответственно 0,994 и 0,996.

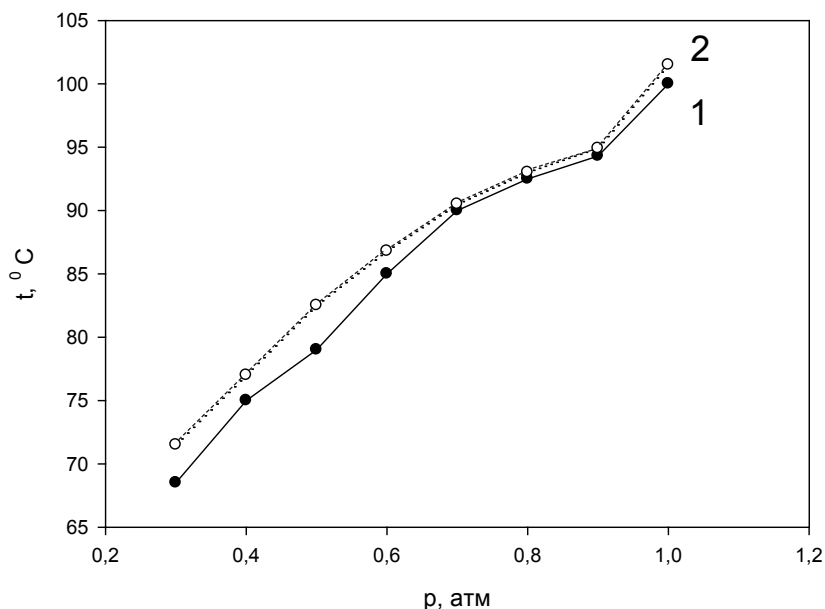


Рис. 1. Зависимость температуры кипения воды от давления: 1 — необлученная вода; 2 — облученная вода

Повышение температуры кипения и теплоты испарения облученной воды не могло не сказаться и на скорости ее испарения, которая может быть рассчитана как масса испарившейся воды в единицу времени, отнесенная к единице площади поверхности испаряющейся жидкости. На основании полученных данных

строили кинетические кривые для облученной и необлученной воды в координатах «масса испарившейся жидкости ( $m$ ) — время». Скорость испарения определяли из тангенса угла наклона кинетической кривой. Установлено, что облученная вода испарялась медленнее, чем необлученная (рис. 2).

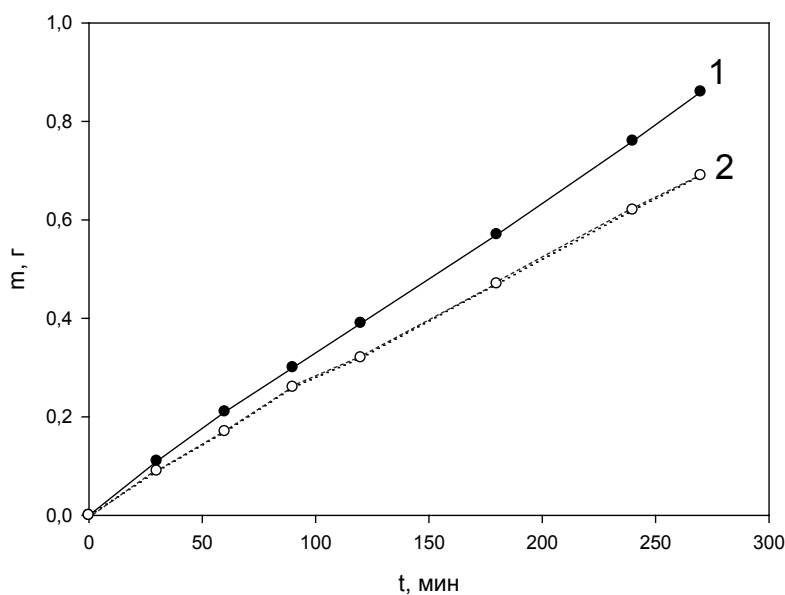


Рис. 2. Кинетические кривые испарения необлученной и облученной воды ( $t = 22$  °C,  $S = 50$  см<sup>2</sup>): 1 — необлученная вода; 2 — облученная вода

Приведенные на рисунке 2 значения  $m$  — средние значения из трех параллельных измерений. Отклонения от среднего значения не превышали 1%. Расчеты показали, что различие в скоростях испарения облученной и необлученной воды составило около 10% —  $\Delta m/(\Delta tS)$  для необлученной воды  $6,07 \cdot 10^{-5}$  г/мин · см<sup>2</sup>, а для облученной —  $5,11 \cdot 10^{-5}$  г/мин · см<sup>2</sup>.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о положительной корреляции между изменением поверхностной энергии  $\sigma$  и внутренней энергии межмолекулярного взаимодействия ( $T_{\text{кип}}$  и  $\Delta H_{\text{исп}}$ ) деионизованной воды в результате воздействия электромагнитного поля. Увеличение указанных параметров может быть следствием упрочнения надмолекулярной организации воды.

### Библиографический список

1. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. — М., 1957.
2. Горленко Н.П. Физико-химические процессы в электромагнитных полях : дис. ... д-ра хим. наук. — Томск, 2004.
3. Шипунов Б.П., Тимирязев А.В., Стась И.Е. Смещение гетерогенного равновесия вода — труднорастворимая соль под действием высокочастотного электромагнитного поля // Известия Алт. гос. ун-та. — 2010. — №3.
4. Чиркова В.Ю., Стась И.Е., Бессонова А.П. Изменение поверхностного натяжения воды и водных растворов бутанола в результате воздействия электромагнитного поля // Известия Алт. гос. ун-та. — 2012. — №3.
5. Стась И.Е., Бессонова А.П., Михайлова О.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды // Журнал физической химии. — 2010. — Т. 84, №12.
6. Стась И.Е., Шипунов Б.П., Паутова И.Н., Санкина Ю.В. Изучение адсорбции ионов свинца кадмия и цинка на поверхности стекла методом инверсионной вольтамперометрии // Журнал прикладной химии. — 2004. — Т. 77, вып. 9.
7. Стась И.Е., Паутова И.Н. Изучение влияния состава раствора на величину адсорбции ионов цинка на поверхности тефлона методом инверсионной вольтамперометрии // Известия Алт. гос. ун-та. — 2004. — №3.
8. Петров А.Н., Черепанов В.А., Ермишина Е.Ю. Практикум по физической химии. — Екатеринбург, 2003.
9. Физическая химия : учебное пособие / под ред. К.С. Краснова. — М., 1982.
10. Монахова Ю.Б., Муштакова С.П. Квантово-механическое изучение системы вода — одноатомные спирты // Известия Сарат. ун-та. — 2006. — Т. 6 (1).