

СКОРОСТЬ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ, СПИРТОВ C₃-C₅ И ИХ РАСТВОРОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКЕ

В. Ю. Чиркова, И. Е. Стась

Алтайский государственный университет

Поступила в редакцию 31.07.2016 г.

Аннотация. Изучена скорость испарения воды, спиртов C₃-C₅, а также их 0,2 М растворов в изотермических условиях при T = 22⁰C со свободной поверхности жидкости. Показано, что скорость испарения возрастает пропорционально температуре кипения и теплоте испарения жидкостей. Установлено, что в результате воздействия электромагнитного поля частотой 170 МГц испарение воды замедляется, а спиртов – ускоряется. Показано, что растворы спиртов испаряются быстрее воды, скорость испарения обратно пропорциональна длине углеводородного радикала. После электромагнитного воздействия интенсивность испарения растворов бутилового и амилового спиртов заметно снижается.

Ключевые слова: вода, спирт, скорость испарения, поверхностное натяжение, электромагнитное поле.

SPEED EVAPORATION OF WATER, C₃-C₅ ALCOHOLS AND THEIR SOLUTIONS UNDERGOING ELECTROMAGNETIC TREATMENT

V. Yu. Chirkova, I. E. Stas

Abstract. Studied the rate of water evaporation, a C₃-C₅ alcohols, and solutions of 0.2 M in isothermal conditions at T = 22⁰C with the free liquid surface. It is shown that the evaporation rate increases in proportion to the boiling point and heat of vaporization of liquids. It is established that as a result of exposure to the electromagnetic field frequency of 170 MHz slows down the evaporation of water and alcohol - is accelerating. It is shown that the alcohol evaporates faster water evaporation rate is inversely proportional to the length of the hydrocarbon radical. After the intensity of the electromagnetic effects of evaporation of solutions butyl and amyl alcohols is markedly reduced.

Keywords: water, alcohol, evaporation rate, surface tension, electromagnetic field.

Проблеме низкотемпературной активации воды посвящено большое количество публикаций. Экспериментальные исследования по магнитной обработке воды, водных растворов и дисперсий были обобщены в 80-х годах прошлого века в монографиях Классена и Мокроусова [1]–[3]. Среди более поздних публикаций, посвященных данной проблеме, следует отметить работы [4, 5]. Собственные исследования показали, что особую чувствительность вода проявляет к воздействию на нее электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона, а именно, к области ультравысоких частот (30-300 МГц). В результате происходит увеличение электропроводности в 3-10 раз, рН на 0,5-1,0 единиц и поверхностного натяжения воды на

7-10% [6, 7]. Эффективность воздействия зависит от частоты поля и возрастает со временем до определенного предела.

В присутствии растворенных веществ эффективность электромагнитной обработки воды заметно снижается. Тем не менее, установлено увеличение подвижности и коэффициентов диффузии ряда ионов [8, 9], что позволило повысить чувствительность их аналитического определения методом инверсионной вольтамперометрии [10, 11]. В облученной воде изменяется растворимость ионных мицеллообразующих ПАВ, что проявляется в существенном снижении ККМ, как это было показано в работе [12]. Электромагнитная обработка зольей галогенидов серебра, а также зольей гидроксидов железа и алюминия заметно влияет на их устойчивость [13]. Также в облученной воде изменяется скорость и степень набухания полимеров, что было показано на примере желатина и карбоксиметилцеллюлозы [14, 15].

Наряду с объемными свойствами, при электромагнитной обработке водных систем изменяется строение границы раздела фаз, что проявляется в изменении адсорбционных характеристик ионов, в том числе органических, а также молекул неэлектролитов (показано на примере спиртов C₃-C₆ нормального строения). Адсорбционные явления изучены для границ раздела металл (ртуть) - раствор электролита [16, 17]; диэлектрик (стекло, кварц, тефлон) – раствор электролита [18, 19] и раствор-воздух [20, 21].

Все указанные свойства и наблюдаемые явления обусловлены взаимодействием молекул и ионов растворенного вещества с растворителем, поскольку и подвижность ионов, и адсорбционная способность определяются степенью их гидратации. Степень же гидратации молекул и ионов зависит от соотношения энергии взаимодействия молекул воды между собой и молекул воды с молекулами и ионами растворенных веществ. Существующие в настоящее время гипотезы о природе полевого воздействия на структуру воды предполагают упрочнение сетки водородных связей, увеличение доли воды, связанной в кластеры, что изменяет характер и интенсивность процессов, протекающих в ней [1-5]. Эта гипотеза подтверждается установленным нами увеличением поверхностного натяжения и теплоты испарения воды на величину порядка 7-10% [22], т.к. данные процессы определяются работой выхода молекул растворителя из объема на поверхность. Упрочнение надмолекулярной организации воды ослабляет взаимодействие ее молекул с молекулами и ионами растворенного вещества, что и проявляется в увеличении подвижности ионов, снижении растворимости веществ и изменении их поверхностной активности.

Процесс испарения жидкости в изотермических условиях зависит от интенсивности теплового движения молекул. Скорость испарения воды, определяемая массой воды, испаряющейся с единицы площади в единицу времени, зависит от давления, температуры и относительной влажности воздуха, а также от глубины уровня воды в сосуде [23]. Чтобы молекулы жидкости могли перейти в газовую фазу, их кинетическая энергия должна быть достаточна для преодоления сил притяжения со стороны других молекул жидкости. Поэтому при постоянстве внешних параметров среды упрочнение водородных связей в воде, подвергшейся электромагнитной обработке, должно привести к снижению скорости испарения за счет увеличения работы выхода молекул на поверхность. Ранее в [24] было установлено, что кинетика изотермического испарения поверхностного слоя воды не линейна и зависит от надмолекулярной структуры воды или водных растворов.

Однако вода – не единственная жидкость, молекулы которой ассоциированы при помощи водородных связей. В жидком состоянии водородные связи образуются также между молекулами спиртов, карбоновых кислот, эфиров, меркаптанов и т.д. [25]. Молекулу спирта можно рассматривать как молекулу воды, у которой один атом водорода замещен на углеводородный радикал. Степень ассоциации, состав и форма ассоциатов зависят от различных факторов. Степень ассоциации спиртов снижается с увеличением молярной массы спиртов, т. е. для них характерен так называемый эффект утяжеления. Физическая сущность его связана с

ослаблением водородной связи как за счет стерического фактора, так и за счет тепловых колебания частиц. Действие эффекта утяжеления проявляется также в том, что с ростом молярной массы спиртов структура их становится все более плотной. Одноатомные спирты и вода существенно различаются по энергии водородной связи. По данным Полинга, энергия водородной связи для воды составляет 18,8, а для метанола и этанола 25,9 кДж·моль⁻¹ [26]. Если учесть, что в воде на одну молекулу приходится две водородные связи, а в спиртах только одна, то станет совершенно очевидным большая прочность структуры воды.

Целью настоящей работы явилось определение скорости испарения воды, спиртов с различной длиной углеводородного радикала и их водных растворов до и после воздействия электромагнитного поля (ЭМП), а также установление изменения состава растворов при испарении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали деионизованную воду, очищенную с помощью деионизатора воды ДВ-301, с начальной удельной электропроводностью $1,8 \cdot 10^{-4}$ См/м; пропанол-1 (PrOH), бутанол-1 (BuOH) и пентанол-1 (AmOH) марки "х.ч." (ГОСТ 6006-78, ТУ 6-09-3467, ТУ 2632-106-4449379-07), а также водные растворы указанных спиртов с концентрацией 0,2 М, которые готовили объемным способом. Чистоту использованных в работе реактивов определяли по значениям показателя преломления и поверхностного натяжения - расхождения найденных значений с табличными не превышало 0,1-0,5%.

Электромагнитную обработку воды, спиртов и их растворов проводили в ячейке емкостного типа с помощью генератора ГЗ – 19А. Ячейка представляла собой стеклянный стаканчик объемом 40 мл, в центре которого располагался запаянный в стекло один из ВЧ электродов, изготовленный из алюминиевого стержня. Вывод электрода осуществлялся через дно ячейки. Вторым электродом служил алюминиевый цилиндр, в который вставлялась стеклянная ячейка, плотно прилегающая к его внутренней поверхности. Частота ЭМП в эксперименте – 170 МГц, напряжение на электродах - 22 В. Время полевого воздействия – 3 часа.

Испарение воды, спиртов и их растворов проводили из цилиндрических пластиковых стаканчиков (площадь поверхности воды $S = 50$ см²) при комнатной температуре, составлявшей $t = 22^{\circ}\text{C}$, в течение трех с половиной часов, фиксируя убыль массы стаканчиков с жидкостью каждые 30 минут при помощи электронных аналитических весов ВМ153М-II. Испарение образцов, подвергшихся полемому воздействию, проводили одновременно с контрольными образцами (не подвергавшимися воздействию ЭМП), чтобы гарантировать одинаковые внешние условия (атмосферное давление, влажность и температуру воздуха). На основании полученных данных строили кинетические кривые в координатах: масса испарившейся жидкости (m) – время (t). Скорость испарения определяли из наклона кинетической кривой. Поверхностное натяжение определяли с помощью сталагмометра методом взвешивания капель.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 1 приведены кинетические кривые изотермического испарения воды и спиртов со свободной поверхности жидкости. Наблюдается корреляция между скоростью испарения, температурами кипения и теплотами испарения исследуемых жидкостей (табл. 1), т.е. быстрее всего испаряется PrOH (около 0,3 г/час), имеющий наиболее низкую температуру кипения и теплоту испарения; скорость испарения AmOH – минимальна (0,05 г/час).

На рисунке 2 приведены кинетические кривые испарения воды, подвергшейся воздействию поля частотой 170 МГц в течение 3-х часов, и исходной воды. В 3-х параллельных измерениях отклонения от среднего значения не превышали 1%. После полевого воздействия вода испаряется заметно медленнее. Расчеты показали, что разница в скоростях испарения

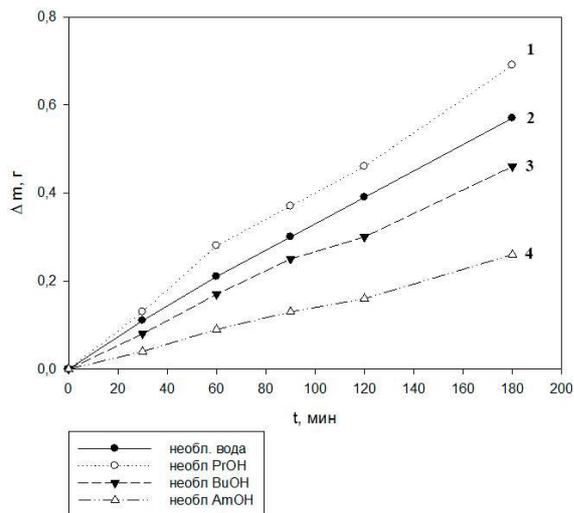


Рис. 1. Кинетические кривые испарения воды и спиртов: 1 – PrOH; 2 – H_2O ; 3 – BuOH; 4 – AmOH ($T = 22^\circ C$)

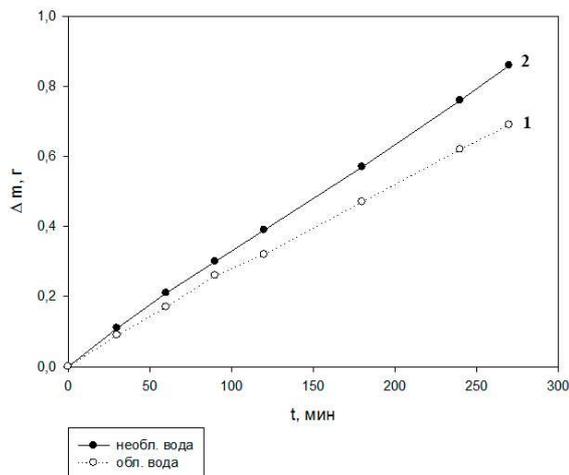


Рис. 2. Кинетические кривые испарения воды, подвергшейся полемому воздействию (1), и контрольного образца воды (2) ($T = 22^\circ C$)

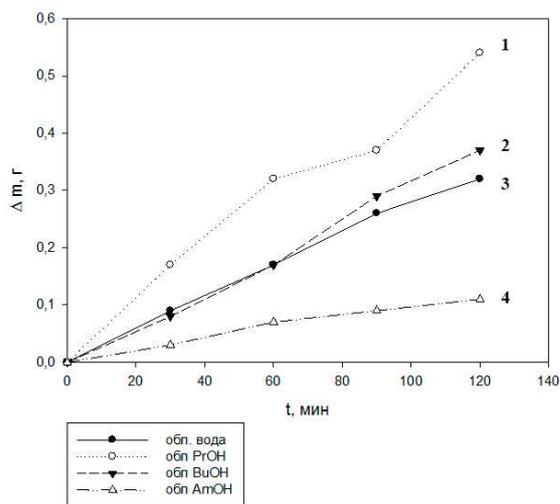


Рис. 3. Кинетические кривые испарения воды и спиртов, подвергшихся электромагнитной обработке ($T = 22^\circ C$): 1 – PrOH; 2 – BuOH; 3 – H_2O ; 4 – AmOH.

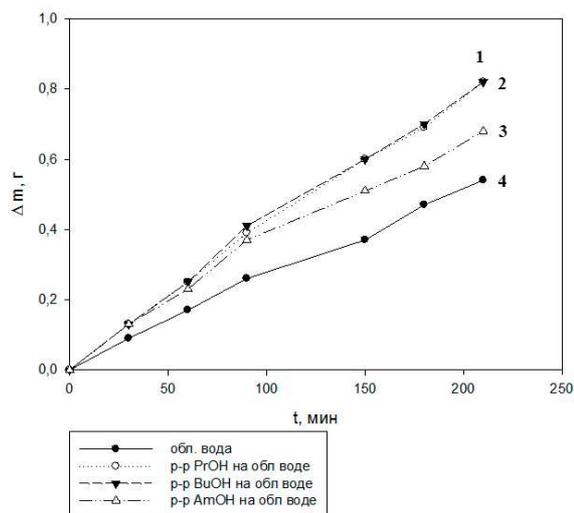


Рис. 4. Кинетические кривые испарения воды и 0,2 М растворов спиртов: 1 – AmOH; 2 – BuOH; 3 – PrOH; 4 – H_2O ($T = 22^\circ C$)

Таблица 1. Температуры кипения, теплоты испарения [27] и изменение массы при испарении воды и спиртов (m_0 – масса контрольного образца; m_f – масса жидкости, подвергшейся полемому воздействию; $t=150$ мин)

	PrOH	H_2O	BuOH	AmOH
$T_{кип}, ^\circ C$	97,2	100	117,7	138
$\Delta H_{исп}, кДж/моль (298K)$	47,02	44,02	51,13	55,66
$m_0, г (295 K)$	0,60	0,48	0,40	0,11
$m_f, г (295 K)$	0,62	0,40	0,49	0,13

($V = \Delta m / \Delta t S$) составляет более 16% — $V_0 = 6,1 \cdot 10^{-5} \text{ г/мин} \cdot \text{см}^2$, а — $V_f = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ г/мин} \cdot \text{см}^2$.

При испарении спиртов, подвергшихся электромагнитной обработке, эффект противо-

Таблица 2. Изменение массы 0,2 М растворов спиртов при испарении ($t=3\text{ч}$)

Масса раствора	PrOH	BuOH	AmOH
m_0 , г	$0,59 \pm 0,01$	$0,64 \pm 0,01$	$0,73 \pm 0,02$
m_f , г	$0,60 \pm 0,01$	$0,60 \pm 0,01$	$0,51 \pm 0,01$

ложен. В результате полевого воздействия скорость испарения спиртов возрастает (табл. 1). BuOH и вода испаряются с приблизительно равной скоростью в течение одного часа, а далее спирт испаряется даже лучше, чем вода, хотя его температура кипения выше температуры кипения воды (рис. 3). По окончании эксперимента масса испарившейся жидкости возрастает в ряду:

$$\text{AmOH} < \text{H}_2\text{O} < \text{BuOH} < \text{PrOH},$$

тогда как для жидкостей, не подвергшихся электромагнитному воздействию, этот ряд выглядит следующим образом:

$$\text{AmOH} < \text{BuOH} < \text{H}_2\text{O} < \text{PrOH}.$$

Интересные результаты были получены при изучении скорости испарения растворов спиртов (рис. 4). Растворы испаряются быстрее, чем вода, причем скорость процесса возрастает пропорционально не температуре кипения спиртов, а их поверхностной активности, т.е. для растворов AmOH она максимальна, а для растворов PrOH - минимальна. На кинетических кривых имеются изломы при времени, равном 90 мин, что может быть результатом перестройкой структурной организации раствора вследствие изменения его концентрации. Исследования проведены с растворами спиртов в интервале концентраций 0,05-0,2 М, однако различия в скорости испарения растворов и воды проявляются лишь при $C > 0,1$ М. Выбор концентрации 0,2 моль/л обусловлен наличием предела растворимости AmOH в воде.

Растворы спиртов, приготовленные с использованием подвергнутой электромагнитной обработке воды, на протяжении 90 мин испаряются с одинаковой скоростью, затем скорость испарения AmOH заметно снижается, но, как и для контрольных образцов, убыль массы растворов больше убыли массы воды (табл. 2).

Следует отметить, что самые существенные различия в скорости испарения между облученным и необлученным растворами наблюдаются для растворов AmOH (рис. 5).

Закономерно возникает вопрос, какой из компонентов раствора испаряется быстрее — вода или спирт? Спирты относятся к поверхностно-активным веществам, снижающим поверхностное натяжение воды. Следовательно, изменение поверхностного натяжения растворов, свидетельствует об увеличении или уменьшении их концентрации. О

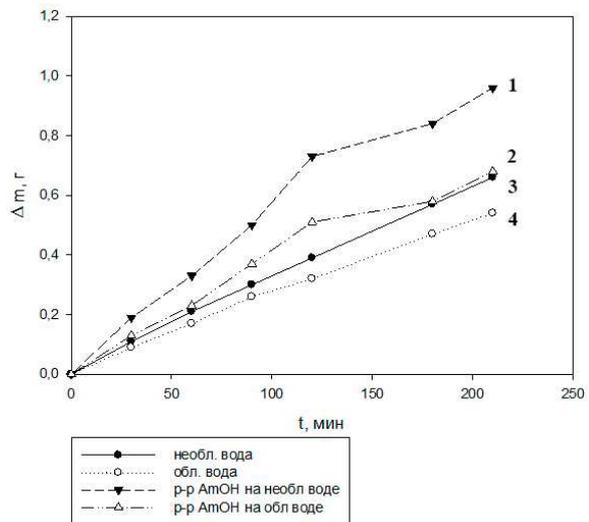


Рис. 5. Кинетические кривые испарения воды и 0,2М растворов n-амилового спирта: 1 — раствор AmOH в воде, не подвергавшейся полемому воздействию; 2 — раствор AmOH в воде, подвергнутой полемому воздействию; 3 — вода, не подвергавшаяся полемому воздействию; 4 — вода после полевого воздействия ($T = 22^\circ \text{C}$)

преимущественном испарении спиртов свидетельствует возросшее значение поверхностного натяжения растворов после окончания эксперимента (табл. 3). Разница в поверхностном натяжении растворов до и после испарения составляет соответственно 10, 25 и 60% для контрольных образцов и 4, 29 и 42% для растворов, приготовленных на воде, подвергшейся электромагнитной обработке. Т.е., в целом, можно утверждать, что полевое воздействие снижает (за исключением BuOH) интенсивность испарения спиртов из растворов.

Таблица 3. Значения поверхностного натяжения 0,2 М растворов спиртов до и после испарения ($T = 22^\circ \text{C}$, $t = 150 \text{ мин}$)

Поверхностное натяжение σ , мДж/м ²	Контрольные образцы			Растворы на облученной воде		
	PrOH	BuOH	AmOH	PrOH	BuOH	AmOH
до испарения	54,5	39,8	24,9	59,8	42,3	29,9
после испарения	59,8	49,8	39,8	57,3	54,8	42,3
$\Delta\sigma$, мДж /м ²	5,3	10	14,9	2,5	12,5	12,4
$\Delta\sigma$, %	9,6	25	60	4,2	29,4	41,7

Столь существенные изменения поверхностного натяжения растворов после испарения свидетельствует об изменении энергии взаимодействия молекул воды между собой и молекул воды и спирта. Как следует из определения, поверхностное натяжение различных конденсированных тел на границе с газом непосредственно связано с межмолекулярным взаимодействием в данной фазе (когезией). Работа когезии равна удвоенному значению поверхностного натяжения на границе с газом:

$$W = 2\sigma_{\text{жг}}. \quad (1)$$

Поскольку когезия отражает межмолекулярное взаимодействие внутри гомогенной фазы, то ее могут характеризовать такие параметры, как энергия парообразования, температура кипения, летучесть, скорость испарения и др. Эти же параметры количественно характеризуют и поверхностное натяжение тел на границе с газом [28].

Точную информацию о когезии и поверхностном натяжении можно получить из термодинамических характеристик тел, связанных с энергией парообразования. В процессе испарения вещества происходит полный разрыв межмолекулярных связей, поэтому работа когезии определяется энтальпией парообразования:

$$\Delta H_{\text{п}} = \Delta G_{\text{п}} + T\Delta S_{\text{п}}, \quad (2)$$

где $\Delta G_{\text{п}}$ — изменение энергии Гиббса при парообразовании; $\Delta S_{\text{п}}$ — изменение энтропии при парообразовании.

В условиях равновесия между конденсированной и паровой фазами при $P = \text{const}$ и $T = \text{const}$ $\Delta G_{\text{п}} = 0$ и тогда

$$\Delta H_{\text{п}} = T\Delta S_{\text{п}}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что чем больше энтальпия парообразования, т.е. больше работа когезии, а значит и поверхностное натяжение, тем больше его энтропия. Таким образом, существует непосредственная взаимосвязь поверхностных свойств тел с их объемными свойствами.

Исходя из вышесказанного, можно с достаточной степенью вероятности утверждать, что воздействие электромагнитного поля на воду приводит к усилению межмолекулярного взаимодействия, т.е. к упрочнению сетки водородных связей, что, в свою очередь, приводит к изменению как объемных, так и поверхностных свойств воды [6, 21, 22]. Подтверждением данной гипотезы является тот факт, что наблюдается корреляция между степенью увеличения

поверхностного натяжения и теплоты испарения, установленными в предыдущих экспериментах [21, 22], а также приведенными в данной работе значениями скорости испарения воды, подвергшейся полевому воздействию.

Согласно современным представлениям, вода, состоящая из множества кластеров различных типов, образует иерархическую пространственную жидкокристаллическую структуру, которая может воспринимать и хранить огромные объемы информации. Переносчиками информации могут быть физические поля самой различной природы. Изменение положения одного структурного элемента в водном кластере под действием любого внешнего фактора или изменение ориентации окружающих элементов под влиянием добавляемых веществ обеспечивает, согласно гипотезе Зенина [29], высокую чувствительность информационной системы воды. Если степень возмущения структурных элементов недостаточна для перестройки всей структуры воды в данном объеме, то после снятия возмущения система через 30-40 минут возвращается в исходное состояние. Если же перекодирование, т. е. переход к другому взаимному расположению структурных элементов воды оказывается энергетически выгодным, то в новом состоянии отражается кодирующее действие вызвавшего эту перестройку вещества.

Если в претерпевшую структурную переорганизацию водную среду вносится некоторое вещество (в данном случае спирт), то сила и характер межмолекулярного взаимодействия изменяется, что проявляется в изменении свойств бинарной системы. В наших экспериментах это проявилось в увеличении поверхностного натяжения растворов спиртов (табл.3) и изменении скорости их испарения, заметно проявившееся для AmOH, длина углеводородного радикала которого максимальна среди использованных в работе спиртов. Для растворов же PrOH и BuOH исчезла разность скоростей испарения, наблюдавшаяся для контрольных образцов.

Взаимодействие молекул спиртов с молекулами воды носит достаточно сложный характер. Молекула спирта проявляет одновременно гидрофобные и гидрофильные свойства, образуя водородные связи с растворителем через полярные группы -ОН, в то время как растворитель вблизи неполярных групп образует клатратоподобные структуры (гидрофобная гидратация). Углеводородные радикалы молекул спирта размещаются в пустотах структуры воды, а гидроксильные группы встраиваются в сетку водородных связей воды. Стабилизация структуры воды, прежде всего, определяется усилением ее водородных связей вблизи неполярных групп, что эквивалентно понижению температуры воды [30]. Более высокие значения поверхностного натяжения растворов спиртов, приготовленных с использованием воды с реорганизованной структурой, могут быть обусловлены более высокими значениями поверхностного натяжения такой воды [22]. Степень снижения скорости испарения раствора спирта возрастает с увеличением длины углеводородного радикала, что указывает на то, что определяющим фактором в данном случае является не взаимодействие молекул воды с гидроксильными группами спиртов, а изменения параметров гидрофобной гидратации, т.е. степени связанности углеводородных радикалов с молекулами воды.

ВЫВОДЫ

Установлено, что скорость испарения воды в результате электромагнитного воздействия (170 МГц) снижается на 16%, а скорость испарения спиртов увеличивается.

Показано, что скорость испарения растворов спиртов выше скорости испарения воды. Масса растворов (за исключением растворов пропанола-1) уменьшается преимущественно за счет испарения спиртов, о чем свидетельствует увеличение поверхностного натяжения растворов по окончании процесса.

Установлено, что 0,2 М растворы BuOH и AmOH, приготовленные на воде, подвергшейся полевому воздействию, испаряются медленнее контрольных образцов.

Проведенные исследования позволяют сделать предположение об упрочнении водородных

связей в результате электромагнитного воздействия, т.к. усиление взаимодействия между молекулами воды приводит к ослаблению их связей с молекулами спирта, что проявляется в увеличении скорости испарения спиртов из растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классен, В. И. Вода и магнит / В. И. Классен. — М. : Наука, 1973. — 112 с.
2. Классен, В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. — М. : Химия, 1982. — 296 с.
3. Мокроусов, Г. М. Физико-химические процессы в магнитном поле / Г. М. Мокроусов, Н. П. Горленко. — Томск, 1988. — 127 с.
4. Стехин, А. А. Структурированная вода : Нелинейные эффекты / А. А. Стехин, Г. В. Яковлева. — М. : Изд-во ЛКИ, 2008. — 320 с.
5. Рахманин, Ю. А. Вода — космическое явление / Ю. А. Рахманин, В. К. Кондратов. — М. : "РАЕН", 2002. — 402 с.
6. Стась, И. Е. Частотная дисперсия физико-химических свойств воды, подвергшейся электромагнитному воздействию / И. Е. Стась, А. П. Бессонова // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. — 2006. — Т. 53, вып. 4. — С. 48–53.
7. Чиркова, В. Ю. Оценка изменений физико-химических свойств деионизованной воды в результате электромагнитного воздействия и различных способов дегазации / В. Ю. Чиркова, И. Е. Стась // Изв. АлтГУ. — 2014. — № 3(1). — С. 243–247.
8. Гердт, А. П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды / А. П. Гердт, И. Е. Стась // Тез. докл. XI Междунар. конф. «Проблемы сольватации и комплексообразования в растворах». — Иваново, 2011. — С. 34–35.
9. Стась, И. Е. Электродные процессы высокочастотном электромагнитном поле / И. Е. Стась, Б. П. Шипунов, Т. С. Ивонина // Изв. ВУЗов. Сер. Химия и хим. технология. — 2003. — Т. 45, вып. 5. — С. 61–65.
10. Stas, I. Y. Identification nonthermal component influence of high-frequency electromagnetic field for speed electrode process / I. Y. Stas, T. S. Ivonina, B. P. Shipunov // Electroanalysis. — 2005. — V. 17, № 5. — P. 794–797.
11. Каплин, А. А. Инверсионная вольтамперометрия в высокочастотном электромагнитном поле / А. А. Каплин, В. А. Брамин, И. Е. Стась // Журн. аналит. химии. — 1988. — Т. 43, вып. 4. — С. 632–635.
12. Стась, И. Е. Влияние электромагнитного поля высокой частоты на критическую концентрацию мицеллообразования водного раствора додецилсульфата натрия / И. Е. Стась, О. П. Михайлова // Журн. физ. химии. — 2009. — Т. 83, № 2. — С. 324–327.
13. Стась, И. Е. Физико-химические закономерности эволюции коллоидных наносистем в жидкой дисперсионной среде под влиянием электромагнитных полей / И. Е. Стась, Л. Ю. Репейкова. — Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2013. — 100 с.
14. Стась, И. Е. Набухание биополимеров в облученной электромагнитным полем воде / И. Е. Стась, В. Ю. Чиркова, Р. В. Тхоренко // Матер. VI Всерос. конф. с междунар. участием «Новые достижения в химии и хим. технологии растительного сырья». — Барнаул, 2014. — С. 109–111.
15. Иванов, А. И. Вязкостные и оптические характеристики щелочных растворов Наркарбоксиметилцеллолозы в облученной электромагнитным полем воде / А. И. Иванов, И. Е. Стась // Тез. докл. междунар. студ. научно-практ. конф. "Молодежь и наука: региональные и глобальные интересы". — Казахстан, г. Семей, 2015. — С. 52–54.
16. Стась, И. Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на величину адсорбции тетрабутиламмония на поверхности ртутно-пленочного электрода / И. Е. Стась, Б. П. Шипунов, Т. С. Ивонина // Изв. ТПУ. — 2005. — Т. 308, № 4. — С. 93–96.

17. Стась, И. Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на десорбцию ионов с поверхности ртутно-пленочного электрода / И. Е. Стась, Т. С. Ивонина, Б. П. Шипунов // Аналитика и контроль. — 2005. — Т. 9, № 4. — С. 371–376.
18. Изучение адсорбции ионов свинца, кадмия и цинка на поверхности кварца и тефлона / И. Е. Стась, Б. П. Шипунов, И. Н. Паутова, Т. В. Сорокина // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. — 2004. — № 2. — С. 225–227.
19. Стась, И. Е. Изучение адсорбции ионов свинца, кадмия и цинка на поверхности стекла методом инверсионной вольтамперометрии / И. Е. Стась, Б. П. Шипунов, И. Н. Паутова // Журн. прикл. химии. — 2004. — Т. 77, вып. 9. — С. 1497–1500.
20. Стась, И. Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на адсорбционную способность ионогенных поверхностно-активных веществ / И. Е. Стась, Б. П. Шипунов, О. П. Михайлова // Журн. физ. химии. — 2010. — Т. 84, № 12. — С. 2128–2131.
21. Стась, И. Е. Изменение поверхностного натяжения воды и водных растворов бутанола в результате воздействия электромагнитного поля / И. Е. Стась, В. Ю. Чиркова, А. П. Бессонова // Изв. АлтГУ. — 2012. — № 3(1). — С. 150–154.
22. Чиркова, В. Ю. Увеличение поверхностного натяжения и теплоты испарения воды как результат воздействия высокочастотного электромагнитного поля / В. Ю. Чиркова, И. Е. Стась // Изв. АлтГУ. — 2014. — № 3(2). — С. 187–191.
23. Чиркова, В. Ю. Изменение скорости испарения водных растворов спиртов как результат воздействия высокочастотного электромагнитного поля / В. Ю. Чиркова, И. Е. Стась, И. В. Сидельникова // Тез. докл. всерос. конф. "Проблемы сольватации и комплексообразования в растворах. От эффектов в растворах к новым материалам.". — Иваново, 2015. — С. 77–78.
24. Влияние надмолекулярной структуры воды на кинетику изотермического испарения поверхностного слоя / С. Н. Новиков, А. И. Ермолаева, С. П. Тимошенко, В. С. Минаев // Журн. физ. химии. — 2010. — Т. 84, № 4. — С. 614.
25. Белоусов, В. П. Термодинамика водных растворов неэлектролитов / В. П. Белоусов, М. Ю. Панов. — Л. : Химия, 1983. — 264 с.
26. Крестов, Г. А. Термодинамика процессов в растворах / Г. А. Крестов. — Л. : Химия, 1984. — 272 с.
27. Равдель, А. А. Краткий справочник физико-химических величин / А. А. Равдель, А. М. Пономарева. — М. : ТИД "Аз-Book 2009. — 239 с.
28. Фролов, Ф. Г. Курс коллоидной химии / Ф. Г. Фролов. — М. : Химия, 1989. — 254 с.
29. Зенин С.В. Водная среда как информационная матрица биологических процессов // Матер. I Междунар. симпозиума "Фундаментальные науки и альтернативная медицина". Пущино, 1997. — С.12-17.
30. Структурная самоорганизация в растворах и на границе раздела фаз / Отв. ред. А. Ю. Цивадзе. — М. : Изд-во ЛКИ, 2008. — 544 с.

REFERENCES

1. Classen V.I. Water and a magnet. [Klassen V.I. Voda i magnit]. Moscow: Nauka, 1973, 112 p.
2. Classen V.I. Magnetization of water systems. [Klassen V.I. Omagnichivanie vodnyx sistem]. Moscow: Chemistry, 1982, 296 p.
3. Mokrousov G.M., Gorlenko N.P. Physical and chemical processes in a magnetic field. [Mokrousov G.M., Gorlenko N.P. Fiziko-ximicheskie processy v magnitnom pole]. Tomsk, 1988, 127 p.
4. Stekhin A.A., Yakovleva G.V. Structured water: Non-linear effects. [Stexin A.A., Yakovleva G.V. Strukturirovannaya voda: Nelinejnye e'ffekty]. Moscow: Publishing House of the LCI, 2008, 320 p.

5. Rahmanin Yu.A., Kondratov V.K. Water — a cosmic phenomenon. [Raxmanin Yu.A., Kondratov V.K. Voda — kosmicheskoe yavlenie]. Moscow: Natural Sciences, 2002, 402 p.

6. Stas I.E., Bessonova A.P. Frequency dispersion of the physico-chemical properties of water, subjected to electromagnetic interference. [Stas' I.E., Bessonova A.P. Chastotnaya dispersiya fiziko-ximicheskix svojstv vody, podvergshejsya e'lektromagnitnomu vozdeystviyu]. *Izv. VUZov. Ximiya i xim. texnologiya — Chemistry and Chemical Engineering technology*, 2006, vol. 53, iss. 4, pp. 48–53.

7. Chirkova V.Yu., Stas I.E. Evaluation of changes physicochemical properties of deionized water by electromagnetic effects, and various methods of degassing. [Chirkova V.Yu., Stas' I.E. Ocenka izmenenij fiziko-ximicheskix svojstv deionizovannoj vody v rezul'tate e'lektromagnitnogo vozdeystviya i razlichnyx sposobov degazacii]. *Izv. AltGU — Altai State University*, 2014, no. 3 (1), pp. 243–247.

8. Gerdt A.P., Stas I.E. Effect of high-frequency electromagnetic field on the physicochemical properties of distilled water. [Gerdt A.P., Stas' I.E. Vliyanie vysokochastotnogo e'lektromagnitnogo polya na fiziko-ximicheskie svojstva distillirovannoj vody]. *Tez. dokl. XI Mezhdunar. konf. «Problemy sol'vatsii i kompleksobrazovaniya v rastvorax» — Proc. rep. XI Intern. Conf. "Problems of solvation and complex formation in solutions"*, Ivanovo, 2011, pp. 34–35.

9. Stas I.E., Shipunov B.P., Ivonina T.S. Electrode processes high-frequency electromagnetic field. [Stas' I.E., Shipunov B.P., Ivonina T.S. E'lektrodneye processy vysokochastotnom e'lektromagnitnom pole]. *Izv. VUZov. Ser. Ximiya i xim. texnologiya — Chemistry and Chemical Engineering technology*, 2003, vol. 45, iss. 5, pp. 61–65.

10. 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.

11. Kaplin A.A., Bramin V.A., Stas I.E. Stripping voltammetry in high-frequency electromagnetic field. [Kaplin A.A., Bramin V.A., Stas' I.E. Inversionnaya vol'tamperometriya v vysokochastotnom e'lektromagnitnom pole]. *Zhurn. analit. ximii — Journal. analyt. Chemistry*, 1988, vol. 43, iss. 4, p. 632–635.

12. Stas I.E., Mikhailova O.P. Effect of high-frequency electromagnetic field on the critical micelle concentration of the aqueous solution of sodium dodecyl sulfate. [Stas' I.E., Mixajlova O.P. Vliyanie e'lektromagnitnogo polya vysokoj chastoty na kriticheskuyu koncentraciyu micelloobrazovaniya vodnogo rastvora dodecilsul'fata natriya]. *Zhurn. fiz. ximii — Journal of Physical Chemistry*, 2009, vol. 83, no. 2, pp. 324–327.

13. Stas I.E., Repeykova L.Yu. Physical and chemical laws of evolution in nano-colloidal liquid dispersion medium under the influence of electromagnetic fields. [Stas' I.E., Repeykova L.Yu. Fiziko-ximicheskie zakonomernosti e'vol'yucii kolloidnyx nanosistem v zhidkoj dispersionnoj srede pod vliyaniem e'lektromagnitnyx polej]. Barnaul: Publishing house Altai State University, 2013, 100 p.

14. Stas I.E., Chirkova V.Yu., Thorenko R.V. Swelling of polymers in water irradiating electromagnetic field. [Stas' I.E., Chirkova V.Yu., Txorenko R.V. Nabuxanie biopolimerov v obluchennoj e'lektromagnitnym polem vode]. *Mater. VI Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem «Novye dostizheniya v ximii i xim. texnologii rastitel'nogo syr'ya»*. — *Mater. Conf. "Advances in Chemistry and Chemical Engineering vegetable raw materials technology"*, Barnaul, 2014, pp. 109–111.

15. Ivanov A.I., Stas I.E. Viscosity and optical characteristics of Na-alkaline solutions in water karboksimetiltelyullozy irradiated electromagnetic field. [Ivanov A.I., Stas' I.E. Vyazkostnye i opticheskie xarakteristiki shhelochnyx rastvorov Na-karboksimetiltelyullozy v obluchennoj e'lektromagnitnym polem vode]. *Tez. dokl. mezhdunar. stud. nauchno-prakt. konf. "Molodezh' i nauka: regional'nye i global'nye interesy"* — *Proc. rep. Intern. stud. Scient. Conf. "Youth and Science: regional and global interests"*, Kazakhstan, Semey, 2015, p. 52–54.

16. Stas I.E., Shipunov B.P., Ivonina T.S. Effect of high-frequency electromagnetic field on the adsorption on the surface of tetrabutylammonium mercury-film electrode. [Stas' I.E., Shipunov B.P., Ivonina T.S. Vliyanie vysokochastotnogo e'lektromagnitnogo polya na velichinu adsorbicii tetrabutylammoniya na poverxnosti rtutno-plenochnogo e'lektroda]. *Izv. TPU — Tomsk Polytechnic University*, 2005, vol. 308, no. 4, pp. 93–96.

17. Stas I.E., Ivonina T.S., Shipunov B.P. Effect of high-frequency electromagnetic field on the desorption of ions from the surface of the mercury-film electrode. [Stas' I.E., Ivonina T.S., Shipunov B.P. Vliyanie vysokochastotnogo e'lektromagnitnogo polya na desorbciyu ionov s poverxnosti rtutno-plenochnogo e'lektroda]. *Analitika i kontrol' — Research and Control*, 2005, vol. 9, no. 4, pp. 371–376.

18. Stas I.E., Shipunov B.P., Pautova I.N., Sorokina T.V. Study adsorption of lead ions, cadmium and zinc on the surface of quartz and teflon. [Stas' I.E., Shipunov B.P., Pautova I.N., Sorokina T.V. Izuchenie adsorbicii ionov svinca, kadmiya i cinka na poverxnosti kvarca i teflona]. *Izv. VUZov. Ximiya i xim. texnologiya — Chemistry and Chemical Engineering technology*, 2004, no. 2, pp. 225–227.

19. Stas I.E., Shipunov B.P., Pautova I.N. Study of the adsorption of lead ions, cadmium and zinc on the glass surface by stripping voltammetry. [Stas' I.E., Shipunov B.P., Pautova I.N. Izuchenie adsorbicii ionov svinca, kadmiya i cinka na poverxnosti stekla metodom inversionnoj vol'tamperometrii]. *Zhurn. prikl. ximii — Journal of Applied Chemistry*, 2004, vol. 77, iss. 9, p. 1497–1500.

20. Stas I.E., Shipunov B.P., Mikhailova O.P. Effect of high-frequency electromagnetic field on the adsorption capacity of ionic surfactants. [Stas' I.E., Shipunov B.P., Mixajlova O.P. Vliyanie vysokochastotnogo e'lektromagnitnogo polya na adsorbcionnuyu sposobnost' ionogennyx poverxnostno-aktivnyx veshhestv]. *Zhurn. fiz. ximii — Journal of Physical Chemistry*, 2010, vol. 84, no. 12, pp. 2128–2131.

21. Stas I.E., Chirkova V.Yu., Bessonova A.P. Changes in surface tension of water and aqueous solutions of butanol by the impact of the electromagnetic field. [Stas' I.E., Chirkova V.Yu., Bessonova A.P. Izmenenie poverxnostnogo natyazheniya vody i vodnyx rastvorov butanola v rezul'tate vozdejstviya e'lektromagnitnogo polya]. *Izv. AltGU — Altai State University*, 2012, no. 3 (1), pp. 150–154.

22. Chirkova V.Yu., Stas I.E. The increase in surface tension and heat of vaporization of water as a result of exposure to high frequency electromagnetic fields. [Chirkova V.Yu., Stas' I.E. Uvelichenie poverxnostnogo natyazheniya i teploty ispareniya vody kak rezul'tat vozdejstviya vysokochastotnogo e'lektromagnitnogo polya]. *Izv. AltGU — Altai State University*, 2014, no. 3(2), pp. 187–191.

23. Chirkova V.Yu., Stas I.E., Sidelnikova I.V. Changing the rate of evaporation of aqueous solutions of alcohols as a result of exposure to high frequency electromagnetic field. [Chirkova V.Yu., Stas' I.E., Sidel'nikova I.V. Izmenenie skorosti ispareniya vodnyx rastvorov spirtov kak rezul'tat vozdejstviya vysokochastotnogo e'lektromagnitnogo polya]. *Tez. dokl. users. konf. "Problemy sol'vatsii i kompleksoobrazovaniya v rastvorax. Ot e'ffektov v rastvorax k novym materialam."* — *Abstracts rep. Proc. Conf. "Problems of solvation and complex formation in solutions of the effect in solutions to new materials."*, Ivanovo, 2015, pp. 77–78.

24. Novikov S.N., Ermolaeva A.I., Timoshenko S.P., Minaev V.S. Influence of the supramolecular structure of water on the kinetics of isothermal evaporation of the surface layer. [Novikov S.N., Ermolaeva A.I., Timoshenkov S.P., Minaev V.S. Vliyanie nadmolekulyarnoj struktury vody na kinetiku izotermicheskogo ispareniya poverxnostnogo sloya]. *Zhurn. fiz. ximii — Journal of Physical Chemistry*, 2010, vol. 84, no. 4, p. 614.

25. Belousov V.P., Panov M.Yu. Thermodynamics of aqueous solutions of non-electrolytes. [Belousov V.P., Panov M.Yu. Termodinamika vodnyx rastvorov nee'lektrolitov]. Leningrad:

Chemistry, 1983, 264 p.

26. Krestov G.A. Thermodynamics of processes in solution. [Krestov G.A. Termodinamika processov v rastvorax]. Leningrad: Chemistry, 1984, 272 p.

27. Ravdel A.A., Ponomareva A.M. Quick Reference physico-chemical quantities. [Ravdel' A.A., Ponomareva A.M. Kratkij spravochnik fiziko-ximicheskix velichin]. Moscow: TTI "Az-book", 2009, 239 p.

28. Frolov F.G. Course of Colloid Chemistry. [Frolov F.G. Kurs kolloidnoj ximii]. Moscow: Chemistry, 1989, 254 p.

29. Zenin S.V. The aqueous medium as an information matrix of biological processes. [Zenin S.V. Vodnaya sreda kak informacionnaya matrica biologicheskix processov]. *Mater. I Mezhdunar. simpoziuma "Fundamental'nye nauki i al'ternativnaya medicina" — Mater. I Intern. Symposium "Fundamental science and alternative medicine"*, Pushchino, 1997, pp. 12–17.

30. Structural self-organization in solution and at interfaces. Ed section. Ed. Tsivadze A.Yu.. [Strukturnaya samoorganizaciya v rastvorax i na granice razdela faz. Otv. red. A.Yu. Civadze]. Moscow: Publishing House of the LCI, 2008, 544 p.

Чиркова Варвара Юрьевна, Алтайский Государственный Университет, аспирант кафедры физической и неорганической химии, Барнаул, Россия
E-mail: varvara.chirkova@gmail.com
Тел.: 8-913-218-47-06

Chirkova Varvara Yu., Altai State University, post-graduate student of the Physical and Inorganic Chemistry Department, Barnaul, Russia
E-mail: varvara.chirkova@gmail.com
Tel.: 8-913-218-47-06

Стась Ирина Евгеньевна, Алтайский Государственный Университет, доцент кафедры физической и неорганической химии, Барнаул, Россия
E-mail: irinastas@gmail.com
Тел.: 8-913-368-11-94

Stas Irina E, Altai State University, assistant professor of the Physical and Inorganic Chemistry Department, Barnaul, Russia
E-mail: irinastas@gmail.com
Tel.: 8-913-368-11-94