

УДК 577.3; 547.963.3

ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ БИОМАКРОМОЛЕКУЛ

В.П. КАЛАНТАРЯН^{1*}, С.Н. АКОПЯН², П.О. ВАРДЕВАНЯН¹

¹Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

²Государственный инженерный университет, Ереван, Армения

*e-mail: vkalantaryan@ysu.am

(Поступила в редакцию 19 декабря 2017 г.)

Исследованы зависимости плотности (ρ) и коэффициента теплового расширения (α) дистиллированной воды, физиологического раствора и водно-солевого раствора ДНК при облучении растворов миллиметровыми электромагнитными волнами нетепловой интенсивности с частотами 64.5 и 50.3 ГГц от температуры. Показано, что при нагревании растворов плотность необлученных и облученных растворов уменьшается, однако имеется существенное отличие между ходом зависимости $\rho(t)$ для облученных и необлученных водно-солевых растворов. Расчеты показали, что для исследованных растворов коэффициент теплового расширения увеличивается с увеличением температуры, причем рост α происходит по разному для облученных растворов.

1. Введение

В настоящее время миллиметровые электромагнитные волны (МЭМВ) нетепловой интенсивности успешно применяются в клинической медицине, в различных областях, несмотря на то, что механизмы их действия на биологические объекты остаются до конца не исследованными. Обнаружены многочисленные эффекты МЭМВ низкой интенсивности на организм человека и животных, а также на клеточном уровне [1, 2]. Показано существование как селективных частотно-зависимых эффектов [3], так и неселективных, независимых от частоты воздействий [4, 5]. Однако до настоящего времени первичные мишени восприятия этих волн однозначно не выяснены. В ряде исследований показано, что МЭМВ могут изменять объемные свойства водных растворов, в частности, изменять структурированность воды [6, 7]. Недавно нами было показано [8], что МЭМВ не поглощаются поверхностным слоем водных растворов, проникают в более глубокие слои жидкости и приводят к дегидратации присутствующих в растворе ионов, вследствие чего увеличивается плотность растворов.

Целью настоящей работы было исследование плотности водно-солевых растворов и водно-солевых растворов дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК) в зависимости от температуры и определение коэффициента теплового расширения облученных низкоэнергетическими когерентными МЭМВ с частотами 50.3 и 64.5 ГГц, совпадающими с резонансными частотами колебаний молекулярных водных структур [9].

2. Материалы и методы исследований

В работе использовали ДНК тимуса теленка фирмы Sigma и NaCl фирмы Serva. Растворы ДНК были приготовлены в физиологическом растворе (0.15 М NaCl). Исследуемые водно-солевые растворы готовили за час до измерений. Плотность образцов определяли на денситометре DMA 4500 Anton Paar с чувствительностью 10^{-5} г/см³. Для облучения растворов применялись генераторы Г4-141 и Г4-142, работающие на основе лампы обратной волны, что подробно описано в работах [4, 8]. Диапазон частот излучения для Г4-141 составлял 37.5–53.37 ГГц (плотность потока мощности в месте нахождения образца 60 мкВт/см²), а для Г4-142 – 53.3–78.33 ГГц (плотность потока мощности 50 мкВт/см²). Измерения проводились в интервале температур $20^{\circ}\text{C} \leq t \leq 70^{\circ}\text{C}$. Точность определения температуры $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$.

3. Результаты и обсуждение

В работе [8] было показано, что под действием МЭМВ нетепловой интенсивности плотность водно-солевых растворов и растворов ДНК увеличивается, достигая максимального значения при облучении 90 мин с частотой 50.3 ГГц, совпадающей с резонансной частотой колебаний гексагональных структур воды [9]: увеличение плотности физиологического раствора и водно-солевого раствора ДНК составляет 10^{-4} г/см³. Принято считать электромагнитное излучение нетепловым, если плотность потока мощности не превышает 10 мВт/см². Поэтому была исследована зависимость плотности водно-солевых растворов и растворов ДНК от температуры, когда растворы облучались 90 мин с резонансными частотами 50.3 и 64.5 ГГц колебаний молекулярных водных структур. Как следует из табл.1, где приведены значения плотности необлученных и облученных образцов при разных температурах, при нагревании растворов плотность необлученных и облученных водно-солевых растворов и растворов ДНК уменьшается, однако имеется существенное отличие между ходом зависимости для облученных и необлученных растворов ДНК, особенно в области $t \geq 60^{\circ}\text{C}$, когда начинает плавиться двуспиральная структура ДНК [4, 5]. В водно-солевых растворах ДНК концентрация ДНК остается постоянной, равной 6×10^{-8} г/см³.

Табл.1. Плотность ρ необлученных и облученных бидистиллированной воды, водно-солевого раствора и раствора ДНК

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Плотность необлученного раствора ρ , г/см^3			Плотность облученного раствора $\rho, \text{г/см}^3$		
	Бидистиллированная вода	Водно-солевой раствор	Раствор ДНК	Бидистиллированная вода	Водно-солевой раствор	Раствор ДНК
20	0.99823	0.99924	0.99924	0.99822	0.99935	0.99938
30	0.99568	0.99587	0.99588	0.99567	0.99592	0.99592
40	0.99225	0.99238	0.99236	0.99227	0.99245	0.99243
45	0.99025	0.99056	0.99062	0.99024	0.99068	0.99080
50	0.98807	0.98858	0.98858	0.98810	0.98863	0.98862
55	0.98573	0.98610	0.98610	0.98572	0.98609	0.98623
60	0.98324	0.98400	0.98400	0.98325	0.98402	0.98437
65	0.98060	0.98132	0.98132	0.98062	0.98133	0.98155
70	0.97782	0.97800	0.97815	0.97780	0.97818	0.97839

В табл.1 приведены среднеарифметические значения из 6-ти независимых измерений.

Имея значения плотности в температурном интервале 20–70°C для необлученных и облученных растворов (бидистиллированная вода, водно-солевой раствор и раствор ДНК), вычисляли коэффициент теплового расширения в указанном диапазоне температур по следующей формуле [10]:

$$\alpha(t) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{d \ln \rho}{dt}. \quad (1)$$

В табл.2 приведены значения коэффициента теплового расширения, вычисленные по формуле (1) и значения плотности для вышеуказанных растворов при различных температурах (табл.1).

Известно, что вода по сравнению с другими жидкостями имеет наименьшее значение α , которое объясняется структурными особенностями воды. В жидкой фазе молекулы образуют ассоциаты. Если за основу принять гексагональную структуру воды, то часть свободных молекул внедряется в пустоты гексагональных структур [11]. Как следует из табл.2, с увеличением температуры наблюдается увеличение α для исследованных растворов. Обычно увеличение молярного объема объясняется вытеснением части молекул воды из пустот гексагональной структуры и увеличением доли линейных водородных связей [10]. Для исследованных растворов рост α с повышением температуры происходит по-разному. Рост α гораздо сильнее для водно-солевого раствора, особенно при температурах выше 50°C. В присутствии ДНК при температурах выше 50°C α увеличивается,

Табл.2. Значения коэффициента теплового расширения α при разных температурах для исследованных растворов

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Необлученный раствор, $\alpha, \times 10^5$			Облученный раствор, $\alpha, \times 10^5$			
				Частота 50.3 ГГц			Частота 64.5 ГГц
	Бидистиллированная вода	Водно-солевой раствор	Раствор ДНК	Бидистиллированная вода	Водно-солевой раствор	Раствор ДНК	Раствор ДНК
20	23.1	23.4	23.4	22.8	23.5	23.6	23.6
30	30.0	30.3	30.4	30.2	30.4	30.6	30.5
40	37.9	37.9	38.1	38.1	38.2	38.1	38.3
45	41.4	42.5	42.0	41.4	42.8	42.9	41.8
50	44.7	46.9	44.8	44.6	45.9	45.9	46.2
55	47.7	51.1	50.1	47.5	47.1	46.9	47.0
60	50.5	56.3	52.2	50.7	50.3	48.7	51.3
65	53.2	86.4	53.7	53.5	56.0	53.0	52.6
70	56.4	89.6	58.1	54.0	76.9	55.2	57.0

но не так сильно, как это имеет место для водно-солевого раствора. Вполне возможно, что такое поведение зависимости $\alpha(t)$ для водно-солевого раствора ДНК обусловлено плавлением ДНК вследствие нагревания.

В температурном интервале 20–50°C облучение растворов резонансными частотами колебаний водных структур почти не влияет на значение α (табл.2). При температурах выше 50°C α меньше для облученных образцов по сравнению с соответствующими необлученными растворами.

Из табл.2 следует, что ход зависимости $\Delta\alpha(t)$ (изменение коэффициента теплового расширения вследствие облучения) почти одинаков для облученных резонансными частотами водно-солевых растворов ДНК и отличается от аналогичной зависимости для бидистиллированной воды. Полученные экспериментальные данные можно объяснить, предполагая, что происходящие структурные изменения воды вследствие облучения затрудняют возможность образования линейных водородных связей при повышении температуры. Наличие максимума на всех кривых зависимости позволяет предположить, что существует некоторое оптимальное соотношение между частотой облучения и энергией образования водородных связей в воде.

4. Заключение

Под действием резонансных МЭМВ нетепловой интенсивности происходят определенные изменения в молекулярной структуре воды, вследствие чего плотность и коэффициент теплового расширения растворов в зависимости от

температуры в количественном отношении изменяются по-разному. Полученные нами данные позволяют предположить, что низкоинтенсивные МЭМВ имеют определенный эффект в условиях *in vitro* и могут влиять на биосистемы опосредованно, через воду. Учитывая тот факт, что термодинамические свойства воды во многом определяются образованием водородных связей между ее молекулами, можно предположить, что облучение в миллиметровом диапазоне инициирует именно их образование и, таким образом, влияет на кластеризацию воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. O.V. Betskii, S.V. Savelev, L.A. Morozova. Biomedical Radioelectronics, **4**, 42 (2017).
2. M.K. Logani, I. Szabo, V.R. Makar, A. Bhanushali, S.I. Alekseev, M.C. Ziskin. Bioelectromag., **27**, 258 (2007).
3. A.B. Gapeyev, E.N. Mikhailik, N.K. Chemers. Bioelectromag., **29**, 197 (2008).
4. V. Kalantaryan, R. Martirosyan, Yu. Babayan, L. Nersesyan. Amer. J. Med. Biol. Res., **2**, 18 (2014).
5. S.N. Hakobyan, M.A. Shahinyan, Yu.S. Babayan. Biophys. Rev. Lett., **11**, 139 (2016).
6. V.P. Kalantaryan, Y.S. Babayan, E.S. Gevorgyan, S.N. Hakobyan, A.P. Antonyan, P.O. Vardevanyan. Prog. Electromag. Res. Lett., **13**, 1 (2010).
7. Ю.С. Бабаян, А.Ш. Маркарян, В.П. Калантарян, Р.С. Казарян, М.А. Парсаданян, П.О. Вардеванян. Биофизика, **52**, 382 (2007).
8. В.П. Калантарян, С.Н. Акопян, Ю.С. Бабаян. Известия НАН Армении, Физика, **52**, 79 (2017).
9. V.I. Petrosyan, N.I. Sinitsyn, V.A. Elkin, N.D. Devyatkov. Biomed. Radioelectronics, **5**, 62 (2001).
10. Г.И. Егоров, А.А. Сырбу, А.А. Колкер. Журнал общей химии, **72**, 744 (2002).
11. В.И. Петросян, А.В. Майбородин, С.А. Дубовицкий. Миллиметровые волны в биол. мед., **1**, 18 (2005).

EFFECT OF LOW ELECTROMAGNETIC WAVES ON THERMAL PROPERTIES OF BIOMACROMOLECULE WATER SOLUTIONS

V.P. KALANTARYAN, S.N. AKOPYAN, P.O. VARDEVANYAN

Dependences of density (ρ) and thermal expansion coefficient (α) of distilled water, physiological solution and water-saline solution of DNA on the temperature were studied under irradiation of solutions by millimeter electromagnetic waves of non-thermal intensity with 64.5 and 50.3 GHz frequencies. It was shown that at the heating of solutions the density of non-irradiated and irradiated solutions decreases, meanwhile there is a significant difference between variation of the dependence of $\rho(t)$ for irradiated and non-irradiated water-saline solutions. Calculations showed that for the studied solutions the thermal expansion coefficient increases with the temperature enhancement, moreover, the α growth occurs differently for the irradiated solutions.