

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ВЯЗКОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ

В.П. КАЛАНТАРЯН¹, Р.С. КАЗАРЯН¹, Ю.С. БАБАЯН^{2*}, А.А. ТАДЕВОСЯН³

¹Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

²Национальный университет архитектуры и строительства, Ереван, Армения

³Ереванский государственный медицинский университет, Ереван, Армения

*e-mail: babayanyura@gmail.com

(Поступила в редакцию 1 марта 2022 г.)

Исследованы плотности водно-солевого раствора и водно-солевого раствора ДНК в зависимости от концентрации NaCl в растворе при облучении их миллиметровыми электромагнитными волнами нетепловой интенсивности резонансными для колебаний гексагональных водных молекулярных структур частотой 50.3 ГГц. Исследования показали, что при облучении плотность растворов увеличивается. Изменение плотности из-за облучения минимально для 0.9% раствора NaCl (физиологического раствора). Вискозиметрические измерения показали, что для физиологического раствора ДНК облучение (которое приводит к дегидратации ДНК) не приводит к заметному изменению вторичной и третичной структуры ДНК.

1. Введение

Анализ существующих в литературе экспериментальных данных указывает на то, что в живых организмах первичной мишенью для миллиметровых электромагнитных волн (МЭМВ) низкой интенсивности служит вода, которая играет уникальную роль в функционировании живых организмов, а также в формировании и стабилизации вторичной и третичной структуры белков и нуклеиновых кислот. Предполагается, что слабые МЭМВ могут изменять свойства водных растворов, в частности, структурированность воды [1–4]. В настоящее время обнаружены многочисленные эффекты МЭМВ нетепловой интенсивности на клеточном [5,6] и молекулярном [7–9] уровне организмов.

Недавно нами было показано [1–3], что МЭМВ нетепловой интенсивности на резонансных для водных структур частотах 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 данной работы было исследование плотности и вязкости водно-

солевых растворов без и водно-солевых растворов дезоксирибонуклеиновой кислотой (ДНК) в зависимости от концентрации соли, когда растворы облучались низкоэнергетическими МЭМВ частотой 50.3 ГГц, совпадающей с резонансной частотой собственных колебаний гексагональных колец молекулярных водных структур.

2. Материалы и методы исследований

В работе использована ДНК тимуса теленка фирмы Sigma. Растворы ДНК были приготовлены в физиологическом растворе (0.9% NaCl). Плотность растворов определялась на денситометре ДМА 4500 Anton Paar с чувствительностью 10^{-5} г/см³. Для облучения применялся генератор Г4-141, имеющий диапазон частот излучений 37.5–53.37 ГГц (плотность потока мощности в месте нахождения образца составляла 60 мкВт/см²), что подробно описано в работе [3].

Для выяснения изменений вторичной или третичной структуры ДНК вследствие облучения МЭМВ исследовалась вязкость растворов ДНК. Относительное изменение вязкости растворов исследовано при помощи вискозиметра Убеллоде. Время прохождения 2 см³ объема раствора ДНК через капилляр вискозиметра составляет примерно 80 с. Учитывая, что коэффициент вязкости (η) прямо пропорционален времени прохождения раствора через капилляр вискозиметра, определялось относительное изменение η вследствие облучения МЭМВ.

3. Результаты и их обсуждение

В работах [1–3] было показано, что под действием МЭМВ нетепловой интенсивности плотность водно-солевых растворов и растворов ДНК увеличивается, достигая наибольшего значения при облучении 90 мин., резонансного для водных структур частотой 50.3 ГГц. Принято считать электромагнитное излучение нетепловым если плотность потока мощности в месте нахождения образца не превышает 10 мВт/см². Поэтому была исследована зависимость плотности водно-солевых растворов и растворов ДНК от концентрации соли, когда растворы облучались 90 мин. резонансной частотой колебаний гексагональных водных структур 50.3 ГГц [10,11]. Как следует из табл.1, где приведены плотности необлученных и облученных частотой 50.3 ГГц при 20°C образцов, вследствие облучения резонансной частотой, плотности водно-солевых растворов и растворов ДНК увеличиваются, независимо от концентрации соли. Из этих данных вычислены относительные изменения плотности ($\Delta\rho$) исследованных растворов вследствие облучения (табл. 2). Из табл. 2 следует, что при увеличении концентрации NaCl, приблизительно до 1% $\Delta\rho$ уменьшается в исследуемых растворах, причем для растворов ДНК немного больше, чем для водно-солевых растворов. Дальнейшее увеличение концентрации NaCl в растворах приводит к увеличению $\Delta\rho$. Известно, что

Табл.1. Плотность (г/см³) необлученных и облученных 90 мин частотой 50.3 ГГц водно-солевого раствора и водно-солевого раствора ДНК при некоторых концентрациях NaCl, при 20°C. В растворах концентрация ДНК остается постоянной, равной 0.2 мг/л

Концентрация NaCl, массовая доля, %	Необлученный раствор		Облученный раствор	
	Водно-солевой раствор без ДНК	Водно-солевой раствор с ДНК	Водно-солевой раствор без ДНК	Водно-солевой раствор с ДНК
0.5	0.99835 ± 0.00002	0.99837 ± 0.00002	0.99850 ± 0.00003	0.99855 ± 0.00002
0.7	0.99904 ± 0.00003	0.99913 ± 0.00002	0.99918 ± 0.00002	0.99930 ± 0.00003
0.9	0.99921 ± 0.00002	0.99923 ± 0.00002	0.99932 ± 0.00003	0.99938 ± 0.00002
1.0	1.00528 ± 0.00003	1.00530 ± 0.00003	1.00540 ± 0.00002	1.00545 ± 0.00003
2.0	1.01234 ± 0.00002	1.01237 ± 0.00003	1.01247 ± 0.00002	1.01253 ± 0.00002
3.0	1.01897 ± 0.00003	1.01901 ± 0.00002	1.01910 ± 0.00003	1.01918 ± 0.00002
4.0	1.02678 ± 0.00003	1.02681 ± 0.00003	1.02693 ± 0.00002	1.02700 ± 0.00003
5.0	1.03396 ± 0.00003	1.03399 ± 0.00002	1.03412 ± 0.00002	1.03419 ± 0.00002
6.0	1.04008 ± 0.00002	1.04011 ± 0.00003	1.04025 ± 0.00003	1.04031 ± 0.00003
7.0	1.04765 ± 0.00003	1.04767 ± 0.00002	1.04782 ± 0.00003	1.04788 ± 0.00003

Примечание. Значения приведенных данных представляют собой средние арифметические из 5–6 независимых измерений. Среднее квадратичное отклонение оценивалось по формуле $(\sum_{i=1}^n d_i^2 / (n - 1))^{1/2}$ где d_i^2 – отклонение от среднего арифметического для i -го измерения, n – количество измерений.

гидратное окружение ДНК играет определяющую роль в формировании стабильных структур ДНК и ответственно за их динамическое поведение [12,13]. Следовательно, в физиологических условиях (при 0.9% раствора NaCl) образуются гидратированные структуры ДНК и ионов, которые более устойчивы к внешним МЭМВ воздействиям (вследствие облучения изменение $\Delta\rho$ наименьшее). Нами было показано [1–3], что при облучении водно-солевого раствора и раствора ДНК резонансными для колебаний водных структур частотами, происходит дегидратация присутствующих в растворе ионов Na⁺ и ДНК. Часть освободившихся молекул воды заполняют пустоты гексагональных структур, вследствие чего и увеличивается плотность растворов. Согласно нашим экспериментальным данным в физиологических условиях под воздействием МЭМВ изменение гидратации ДНК и ионов Na⁺ наименьшее. Вследствие дегидратации ДНК может изменяться вторичная или третичная структура ДНК [14,15], которое можно выявить, исследуя вязкость необлученных и облученных растворов ДНК.

Было определено время (t) прохождения необлученных и облученных 2см³ образцов через капилляр вискозиметра Убеллоде. Считая, что коэффициент вязкости (η) прямо пропорционален времени прохождения растворов через капилляр ($\eta \sim t$), определено относительное изменение коэффициента вязкости (η/η_0) вследствие облучения 0.9% водно-солевого раствора ДНК (η_0 – коэффициент вязкости необлученного 0.9% раствора ДНК). Эксперимент показал, что вследствие

Табл.2. Изменение плотности ($\Delta\rho$) водно-солевых растворов без ДНК и водно-солевых растворов с ДНК вследствие облучения 90 мин. МЭМВ частотой 50.3 ГГц при 20°C

Концентрация NaCl, массовая доля, %	$\Delta\rho \times 10^4$	
	Водно-солевой раствор без ДНК	Водно-солевой раствор с ДНК
0.5	1.5	1.8
0.7	1.4	1.7
0.9	1.1	1.5
1.0	1.2	1.5
2.0	1.3	1.6
3.0	1.3	1.7
4.0	1.5	1.9
5.0	1.6	2.0
6.0	1.7	2.0
7.0	1.7	2.1

облучения время прохождения растворов ДНК через капилляр вискозиметра в пределах погрешности эксперимента не меняется. Следовательно, можно считать, что вязкость 0.9% солевого раствора ДНК не меняется вследствие облучения: облучение не приводит к заметным изменениям во вторичной и третичной структуре ДНК, которое можно было бы регистрировать при помощи вискозиметрии.

4. Заключение

В клетках живых организмов вода содержит 0.9% NaCl, который обеспечивает нормальное функционирование клеточных молекул и надмолекулярных структур. Показано, что под воздействием резонансной для колебаний гексагональных молекулярных водных структур частоты 50.3 ГГц происходит дегидратация ДНК и ионов Na^+ , однако в физиологических условиях это не приводит к изменению пространственной структуры двойной спирали ДНК.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.П. Калантарян, С.Н. Акопян, Ю.С. Бабаян. Известия НАН Армении, Физика, **52**, 79 (2017).
2. В.П. Калантарян, С.Н. Акопян, П.О. Вардеванян. Известия НАН Армении, Физика, **53**, 231 (2018).
3. V. Kalantaryan, R. Martirosyan, Yu. Babayan, R. Ghazaryan. Prog. Electromag. Res. Let., **91**, 49 (2020).
4. В.И. Петросян, А.В. Майбородин, С.А. Дубовицкий. Миллиметровые волны в биологии и медицине, **1**, 18 (2005).
5. O.V. Betskii, S.V. Savelev, L.A. Morozowa. Biomedical Radioelectronics, **4**, 42 (2017).
6. M.K. Logani, I. Szabo, V.R. Makar, A. Bhanushali, S.I. Alekseev, M.C. Ziskin. Bioelectromagnetics, **27**, 258 (2007).
7. S.I. Alekseev, M.C. Ziskin. Ibid, **22**, 288 (2001).
8. V.R. Makar, M.K. Logani, A. Bhanashali, M. Kataoka, M.C. Ziskin. Ibid, **26**, 10 (2005).

9. **В.Н. Никифоров, А.В. Иванов, Е.К. Иванова, К.П. Тамаров.** Биофизика, **61**, 255 (2016).
10. **V.I. Petrosyan, N.I. Sinitsin, V.A. Elkin, N.D. Devyatkov.** Biomedical Radioelectronics, **5**, 62 (2001).
11. **V.I. Petrosyan, N.I. Sinitsin, V.A. Elkin, N.D. Devyatkov, Yu.V. Gulyaev.** Biomedical Radioelectronics, **5**, 62 (2001).
12. **В. Зенгер.** Принципы структурной организации нуклеиновых кислот: Пер. с англ. М.: Мир, 584 (1987).
13. **I. Hag.** Arch. Biochem. Biophys., **403**, 1 (2002).
14. **M. Guran, P. Plateau, M. Fioche.** J. Biophys., **88**, 1693 (2005).
15. **T.V. Chalikian.** J. Phys. Chem., **105**, 12566 (2001).

ՑԱՐԴ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՆՈՑ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՄԱԿԱՆ
ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋՈՒՐ-ԱՂԱՅԻՆ ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ
ԽՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՄԱԾՈՒԾԻԿՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Վ.Պ. ՔԱԼԱՆԹԱՐՅԱՆ, Ռ.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՅՆԱ.Ս. ԲԱԲԱՅԱՆ, Ա.Ա. ԹԱԴԵՎՈՍՅԱՆ

Ուսումնասիրվել է ջուր-աղային և ԴՆԹ-ի ջուր-աղային լուծույթների խտությունը՝ կախված լուծույթում NaCl-ի կոնցենտրացիայից, երբ լուծույթները ճառագայթվել են ոչ ջերմային միլիմետրային տիրույթի ջրի հեքսագոնալ մոլեկուլյար կառուցվածքների տատանումների ռեզոնանսային 50.3 ԳՀց հաճախության էլեկտրամագնիսական ալիքներով: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ճառագայթման հետևանքով մեծանում է լուծույթի խտությունը: Ճառագայթման հետևանքով խտության նվազագույն փոփոխությունը դիտվում է 0.9% NaCl (ֆիզիոլոգիական լուծույթ) դեպքում: ԴՆԹ-ի ֆիզիոլոգիական լուծույթի մածուցիկաչափության տվյալները վկայում են, որ ճառագայթումը (որը բերում է ԴՆԹ-ի դեհիդրատացիայի) չի ուղեկցվում ԴՆԹ-ի երկրորդային և երրորդային կառուցվածքների նկատելի փոփոխությամբ:

INFLUENCE OF LOW INTENSITY MILLIMETER ELECTROMAGNETIC
WAVES ON THE DENSITY AND VISCOSITY OF WATER-SALT SOLUTIONS

V.P. KALANTARYAN, R.S. GHAZARYAN, Yu.S. BABAYAN, A.A. TADEVOSYAN

The density of water-salt solutions and the water-salt solutions of DNA are studied depends on the concentration of NaCl in the solutions, when the solutions are irradiated with a resonance frequency of 50.3 GHz oscillations of the hexagonal molecular structure of water in the non-thermal millimeter range. The investigations show that in the result of radiation the density of the solution increases. In the result of radiation, the minimal change of the density is observed in the case of 0.9% NaCl solution. The viscosity data of DNA solution prove that the radiation (which brings to DNA dehydration) is not accompanied by visible changes of DNA secondary and thirdly structures.