

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДНК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В.П. КАЛАНТАРЯН¹, Р.С. КАЗАРЯН¹, Н.Г. КАРАПЕТЯН¹,
Г.В. АНАНЯН^{1*}, М. Л. МОВСИСЯН¹, Ю.С. БАБАЯН²

¹Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

²Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван, Армения

*e-mail: angay@ysu.am

(Поступила в редакцию 1 октября 2025 г.)

Исследовано влияние низкоинтенсивных нетепловых электромагнитных волн миллиметрового диапазона (ММЭМВ) на поверхностные и объемные свойства воды, солевых растворов и растворов ДНК. Показано, что ММЭМВ, совпадающие по частоте с резонансными частотами колебаний водных структур, проявляют определённый эффект *in vivo* и *in vitro* [1–3], воздействуя на живые организмы через водную составляющую среды. ММЭМВ проникают в более глубокие слои растворов, что приводит к дегидратации ионов соли и ДНК и повышению плотности водных растворов. Облучение растворов ДНК низкоинтенсивными колебаниями с частотами, резонансными частотам водных молекулярных структур в течение 90 минут, приводит к повышению термостабильности ДНК примерно на 1°C. Плотность необлученных и облученных растворов уменьшается с повышением температуры. Наблюдается существенное различие в поведении зависимости плотности от температуры для необлученных и облученных солевых растворов и растворов ДНК. Расчеты показывают, что для исследованных растворов коэффициент теплового расширения (α) увеличивается с ростом температуры, причем увеличение α происходит по-разному для водных структур, облученных и не облученных резонансными частотами колебаний.

1. Введение

Многочисленные физические факторы окружающей среды, играющие важную роль в процессах жизнедеятельности, имеют электромагнитную природу. Искусственные электромагнитные волны различных частот оказывают выраженное воздействие на живые организмы и находят широкое практическое применение [4, 5]. Особо актуально изучение возможного неблагоприятного воздействия электромагнитных волн на живые организмы и медико-биологические аспекты их использования в терапевтических целях [5–10]. Одним из актуальных направлений современной магнитобиологии является изучение физико-химических механизмов воздействия электромагнитных волн на биологические системы различных уровней организации. Несмотря на большое количество исследований, посвященных биомедицинским эффектам электромагнитных волн, до сих

пор нет однозначного понимания этих механизмов. В настоящее время электромагнитные волны миллиметрового диапазона (ММЭМВ) нетепловой интенсивности успешно применяются в клинической медицине несмотря на то, что механизмы их действий на биологические объекты до сих пор не ясны.

Обнаружены многочисленные эффекты низкоинтенсивных ММЭМВ на уровне организмов человека и животных, а также воздействие на прокариотические и эукариотические клетки [10–15]. Показано существование как селективных, частотно-зависимых эффектов [10–14], так и «неселективных», не зависящих от частоты воздействия [15]. Однако до настоящего времени основные мишени восприятия этих волн и механизмы их действия в биологических системах остаются невыясненными. В настоящее время всё больше подтверждается концепция, что нетепловые эффекты ММЭМВ в биологических системах обусловлены их воздействием на воду [12, 14–18]. В связи с этим исследования влияния нетепловых интенсивных ММЭМВ на структуру и физико-химические свойства воды и водных растворов биополимеров очень актуальны.

2. Материалы и методы исследований

Плотность бидистиллированной воды, солевого раствора 0.02M NaCl и ДНК (Sigma Aldrich) в растворе 0.02M NaCl определяли на денситометре DMA 4500 Anton Paar (Австрия) с чувствительностью 10^{-5} г/см³. Коэффициент поверхностного натяжения определяли на тензиометре SITA. Облучение растворов проводили в специальной стеклянной ёмкости. Сверху растворы покрывали тонкой плёнкой винилхлорида, прозрачной для излучения. В качестве источника ММ-излучения использовали генераторы когерентных крайне высокочастотных колебаний Г4-141 и Г4-142 (Россия). Диапазон частот для Г4-141 составляет 37.5–53.37 ГГц (плотность потока на месте расположения образца составляет 0.6 мВт/см²), а для Г4-142 соответственно 53.3–78.33 ГГц (плотность потока – 50 мкВт/см²). Стабильность частоты сигнала генератора составляла $\pm 0.05\%$. Коническая излучающая антенна расположена на выходе генератора.

Спектры поглощения и кривые плавления ДНК были получены на спектрофотометрах Unicam SP-8–100 (Англия) и Cary-219 (США). Термостатирование проводилось в ячейках термостата с использованием кварцевых кювет с длиной оптического пути 10 мм и герметичными крышками. Точность измерения температуры составляла $\pm 0.05^\circ\text{C}$, поглощения – 10^{-4} оптических единиц. Каждый день перед измерениями готовили 25 мл раствора ДНК (из расчета на шесть измерений) с концентрацией около 10^{-4} М/Р. Кривые плавления ДНК, т.е. изменение поглощения в зависимости от температуры при длине волны 260 нм, снимали путем непрерывного нагревания растворов ДНК со скоростью $0.25^\circ\text{C}/\text{мин}$. Концентрация ДНК в водно-солевых растворах составляла 6×10^{-8} г/см³. В таблицах представлены средние арифметические значения шести независимых измерений. Для облучения использовались частоты 50.3 и 64.5 ГГц (которые совпадают с резонансными частотами колебаний молекулярных структур гексагональных и тригональных структур воды), а также частота 48.3 ГГц, не совпадающая с резонансными частотами [16].

3. Результаты и обсуждение

3.1. Влияние миллиметрового электромагнитного излучения нетепловой интенсивности на поверхностные и объемные свойства водных растворов

Известно, что поверхностный слой воды и водных растворов сильно поглощает ММЭМВ. Поэтому было изучено поведение коэффициента поверхностного натяжения (σ) бидистиллированной воды, водно-солевого раствора и растворов ДНК в зависимости от температуры при облучении образцов в течение 90 минут ММЭМВ нетепловой интенсивности с резонансными (50.3 и 64.5 ГГц) и нерезонансными (48.3 ГГц) частотами колебаний молекулярных структур воды.

Электромагнитное излучение считается нетепловым, если плотность потока мощности не превышает 10 мВт/см^2 . Эксперименты показали, что коэффициент поверхностного натяжения исследуемых образцов σ не изменяется под воздействием облучения и линейно уменьшается с повышением температуры [17]. Следовательно, поверхностный слой раствора не поглощает нетепловые, слабые ММЭМВ, которые проникают в более глубокие слои жидкости. В результате могут изменяться объемные характеристики растворов, в частности, плотность.

Для определения влияния низкоэнергетических когерентных волн ММЭМВ на физико-химические свойства водных растворов образцы ДНК облучали в течение 30, 40, 60, 90 и 120 мин, после чего определяли плотности облученных и необлученных растворов. Исследования показали, что плотность бидистиллированной воды практически не изменяется при облучении ММЭМВ с частотами 50.3, 64.5 и 48.3 ГГц. Плотность физиологического раствора и раствора ДНК увеличивается при облучении на частотах 50.3 и 64.5 ГГц, и не изменяется при облучении на частоте 48.3 ГГц [17]. Причём увеличение более заметно при облучении на частоте 50.3 ГГц, что совпадает с резонансной частотой колебаний гексагональных структур воды [16]. Увеличение плотности солевого раствора и раствора ДНК составляет примерно 10^{-4} г/см^3 и происходит преимущественно при облучении до 90 минут. Увеличение плотности солевого раствора и раствора ДНК при облучении частотами 64.5 и 50.3 ГГц вероятнее всего связано с изменением структуры воды под действием облучения, поскольку резонансные частоты ДНК находятся в диапазоне 2–9 ГГц [9, 17]. Для солевого раствора и раствора ДНК наблюдается идентичная динамика изменения плотности [17].

Обобщая приведенные выше экспериментальные данные, можно предположить, что структура бидистиллированной воды не меняется в результате облучения, поскольку в этих условиях молекулы воды образуют термодинамически наиболее устойчивую структуру. Изменение упорядоченности воды после облучения становится термодинамически невыгодным, поэтому плотность воды не должна меняться под воздействием облучения.

При облучении солевого раствора и раствора ДНК происходит дегидратация присутствующих в растворе ионов Na^+ и ДНК. Часть высвобождающихся молекул воды заполняет пустоты гексагональных структур [2, 16, 19, 20], что приводит к увеличению плотности растворов. При этом проявляются полианионные свойства молекулы ДНК.

Таким образом, полученные данные дают основание предположить, что нетепловые ММЭМ волны, совпадающие по частоте с резонансными колебаниями водных структур, оказывают определённый эффект в условиях *in vitro* и

воздействуют на живые организмы через водную составляющую среды. Поверхностный слой водных растворов их не поглощает, они проникают в более глубокие слои жидкости и приводят к дегидратации ионов, присутствующих в растворе, что обуславливает увеличение плотности растворов.

3.2. Влияние нетеплового электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на некоторые свойства растворов ДНК

Исследовалось влияние низкоэнергетических когерентных ММЭМ волн на термостабильность ДНК. Получены кривые плавления необлученных и облученных в течение 30, 40, 60, 90 и 120 минут растворов ДНК. Определены основные характеристики плавления: температура плавления T_m и интервал плавления ΔT (табл.1). Кривые плавления получены сразу после облучения растворов, а также через 10 и 24 часа после облучения. Исследования показали, что форма кривых плавления и параметры плавления T_m и ΔT не изменяются в исследованных временных интервалах через 10 и 24 часа (изменения находятся в пределах погрешности эксперимента).

Табл.1. Температура плавления (T_m) и интервал плавления (ΔT) ДНК, облученной ММЭМВ в растворе с $[\text{Na}^+] = 0.02$

Время облучения, мин	0	30	40	60	90	120
Частота облучения 64.5 ГГц						
$T_m, ^\circ\text{C}$	69.4±0.1	69.4±0.1	69.5±0.1	69.7±0.1	70.3±0.1	70.3±0.1
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	7.2±0.2	7.2±0.2	7.1±0.2	7.1±0.1	7.0±0.1	6.9±0.2
Частота облучения 50.3 ГГц						
$T_m, ^\circ\text{C}$	69.4±0.1	69.5±0.1	69.6±0.1	69.8±0.1	70.3±0.1	70.4±0.1
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	7.2±0.2	7.1±0.2	7.1±0.2	7.1±0.2	7.0±0.2	7.0±0.2
Частота облучения 48.3 ГГц						
$T_m, ^\circ\text{C}$	69.4±0.1	69.4±0.1	69.5±0.1	69.5±0.1	69.6±0.1	69.6±0.1
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	7.2 ±0.2	7.1±0.2	7.1±0.2	7.2±0.1	7.2±0.2	7.1 ±0.2

Также установлено, что изменение pH растворов ДНК при облучении находится в пределах погрешности эксперимента ($pH\ 7.3 \pm 0.02$). Было установлено, что в зависимости от времени облучения растворов волнами с частотой 50.3 ГГц (резонансные частоты колебаний гексагональных структур воды) и 64.5 ГГц (резонансные частоты колебаний триадных структур воды) [16], термостабильность T_m ДНК увеличивается (табл.1).

Как следует из табл.1, с увеличением времени облучения растворов ДНК T_m увеличивается примерно на 1°C , а ΔT незначительно уменьшается (в пределах погрешности эксперимента). Поскольку резонансные частоты поглощения ДНК

находятся в диапазоне 2–9 ГГц [9, 17], можно предположить, что при облучении с резонансными частотами (64.5 и 50.3 ГГц) изменения значений T_m и ΔT обусловлены опосредованным через воду воздействием облучения на ДНК. Этот факт подтверждается экспериментами, где сначала облучался только солевой раствор, а затем готовились образцы ДНК в облученном растворе. Полученные для данных образцов кривые плавления практически не отличаются от кривых, полученных при облучении растворов ДНК. Растворы ДНК также облучались на нерезонансной частоте колебаний молекулярных структур воды 48.3 ГГц. Как видно из табл.1, параметры плавления практически не изменяются.

Следовательно, можно предположить, что наблюдаемые изменения параметров плавления ДНК, облученной на частотах, резонансных для колебаний структур воды, обусловлены именно изменениями структуры воды, возникающими в результате облучения. Следует отметить, что полученные данные по плавлению ДНК хорошо согласуются с данными денситометрии [17]. Согласно предложенной выше версии, происходит дегидратация ионов Na^+ , в результате чего они более эффективно экранируют отрицательно заряженные фосфатные группы ДНК, что увеличивает термостабильность ДНК (табл.1).

Исследования зависимости плотности бидистиллированной воды, солевого раствора и раствора ДНК от температуры после облучения на резонансной частоте 50.3 ГГц в течение 90 мин показали, что плотность исследуемых облученных и необлученных растворов уменьшается с ростом температуры (табл.2). Однако наблюдается существенное различие в поведении зависимости $\rho(T)$ для облученных и необлученных растворов ДНК. На рис.1 представлена зависимость

Табл.2. Плотность (ρ) необлученных и облученных (50.3 ГГц) бидистиллированной воды, солевого раствора и растворов ДНК при различных температурах

T, K	$\rho, г/см^3$					
	Необлученный раствор			Облученный раствор		
	Бидистил. вода	Солевой раствор	Раствор ДНК	Бидистил. вода	Солевой раствор	Раствор ДНК
293.15	0.99820	0.99921	0.99923	0.99820	0.99932	0.99938
303.15	0.99568	0.99587	0.99588	0.99567	0.99599	0.99608
313.15	0.99225	0.99238	0.99236	0.99227	0.99249	0.99258
318.15	0.99025	0.99056	0.99062	0.99024	0.99064	0.99063
323.15	0.98807	0.98858	0.98858	0.98810	0.98866	0.98847
328.15	0.98573	0.98610	0.98610	0.98572	0.98620	0.98588
333.15	0.98324	0.98400	0.98400	0.98325	0.98412	0.98367
338.15	0.98060	0.98132	0.98132	0.98062	0.98133	0.98095
343.15	0.97782	0.97800	0.97815	0.97780	0.97818	0.97777
348.15	0.97692	0.97793	0.97812	0.97693	0.97802	0.97809
350.15	0.97687	0.97787	0.97808	0.97687	0.97796	0.97848

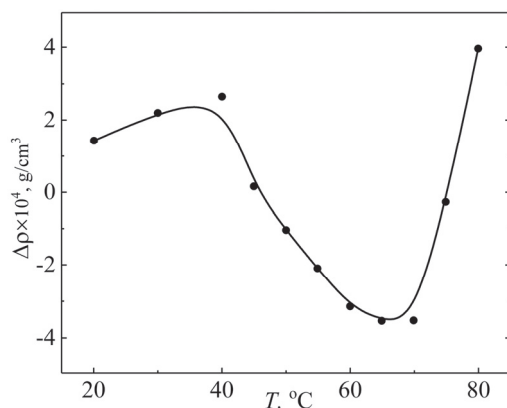


Рис.1. Зависимость разности плотностей ($\Delta\rho$) раствора ДНК, облученного частотой 50.3 ГГц в течение 90 мин, и необлученного раствора ДНК от температуры.

разности плотностей $\Delta\rho(T)$ облученных и необлученных растворов ДНК от температуры. Аналогичная зависимость получена при облучении на частоте 64.5 ГГц. Как видно из рис.1, $\Delta\rho$ незначительно увеличивается в диапазоне температур $20^\circ\text{C} \leq T \leq 40^\circ\text{C}$ и уменьшается в диапазоне $40^\circ\text{C} \leq T \leq 70^\circ\text{C}$. При дальнейшем повышении температуры ($T > 70^\circ\text{C}$) $\Delta\rho$ резко увеличивается, в результате чего на кривой зависимости $\Delta\rho$ от T наблюдается минимум при температуре около 70°C , что соответствует температуре плавления ДНК (табл.1).

Плавление ДНК происходит при температурном диапазоне $60^\circ\text{C} < T < 85^\circ\text{C}$. Такое поведение кривой $\Delta\rho(T)$ может быть связано с тем, что с ростом температуры степень дегидратации облученной ДНК увеличивается по сравнению с необлученной. При $T = 70^\circ\text{C}$, когда расплавлена половина азотистых оснований ДНК, уменьшение степени гидратации облученной ДНК наибольшее. Дальнейшее повышение температуры приводит к резкому увеличению $\Delta\rho$. Резкое увеличение $\Delta\rho$ при $T > 70^\circ\text{C}$ можно объяснить тем обстоятельством, что в денатурированном, одноцепочечном состоянии молекула облученной ДНК более гидратирована, чем необлученная молекула. Одноцепочечные облученные молекулы ДНК, вероятно, становятся «центрами кристаллизации» свободных молекул воды, в результате чего плотность системы «вода–облученная одноцепочечная ДНК» увеличивается по сравнению с необлученной ДНК. Мы предполагаем, что при облучении на резонансных частотах (50.3 и 64.5 ГГц) часть «свободных» молекул воды, входивших в состав гидратной оболочки ДНК, высвобождается после облучения, что приводит к резкому снижению плотности системы «вода–ДНК», поскольку в случае необлученной ДНК аналогичное явление не происходит. Плотность последней претерпевает незначительное изменение. В дальнейшем, с повышением температуры увеличивается лабильность как макромолекулы, так и гексагональных структур воды, в результате чего, по всей вероятности, эти структуры включаются в состав гидратной оболочки макромолекулы, и плотность этой системы увеличивается.

Основываясь на значениях плотностей бидистиллированной воды, солевого раствора и раствора ДНК необлученных и облученных на частотах 64.5 и 50.3 ГГц в диапазоне температур $20\text{--}76^\circ\text{C}$, был рассчитан коэффициент теплового расширения α по следующей формуле [21]:

$$\alpha(T) = -\frac{1}{\rho} \times \frac{d\rho(T)}{dT} = -\frac{d \ln \rho(T)}{dT}. \quad (1)$$

Используя значения плотности исследуемых растворов при различных температурах после облучения в течение 90 минут (табл.2), был рассчитан коэффициент теплового расширения. Наименьший коэффициент теплового расширения наблюдается для бидистиллированной воды, что объясняется структурными особенностями воды. В жидкой фазе молекулы воды образуют ассоциаты. Поскольку вода имеет гексагональную структуру, часть свободных молекул проникает в пустоты гексагональных структур [19, 20, 22]. Для исследуемых растворов с повышением температуры наблюдается увеличение α .

Увеличение молярного объема можно объяснить вытеснением части молекул воды из пустот гексагональной структуры и увеличением количества линейных водородных связей [21]. Увеличение α с повышением температуры происходит по-разному для исследуемых растворов. Увеличение α более значимо для солевого раствора при температурах выше 50°C. В диапазоне температур 20–50°C облучение исследуемых растворов колебаниями резонансными частотам для водных структур практически не влияет на значения α . При температурах выше 50°C коэффициент теплового расширения α облученных образцов меньше, чем соответствующих необлученных растворов. На рис.2 представлены зависимости изменения коэффициента теплового расширения (α) под воздействием облучения для бидистиллированной воды (1) и растворов ДНК, облученных резонансными частотами 50.3 (2) и 64.5 ГГц (3).

Из рис.2 видно, что поведение $\Delta\alpha(T)$ практически одинаково для растворов ДНК, облученных на разных резонансных частотах, и существенно отличается от аналогичной зависимости для бидистиллированной воды. Полученные экспериментальные данные можно объяснить предположив, что структурные изменения, происходящие в воде под действием облучения, затрудняют образование линейных водородных связей вследствие повышения температуры.

Наличие максимума на всех кривых зависимостей $\Delta\alpha(T)$ (рис.2) позволяет предположить существование некоего оптимального соотношения между частотой облучения и энергией образования водородных связей в воде.

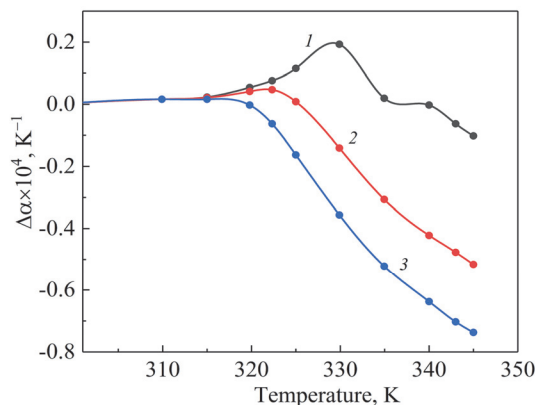


Рис.2. Кривые зависимости разности коэффициентов теплового расширения $\Delta\alpha$ от температуры для необлученных и облученных в течение 90 мин растворов: 1 – вода, облученная с частотой 50.3 ГГц; 2 – растворы ДНК, облученные с частотой 50.3 ГГц; 3 – растворы ДНК, облученные с частотой 64.5 ГГц.

4. Заключение

В работе исследованы изменения молекулярной структуры воды под воздействием облучения, а также поведение физических свойств молекулы ДНК, в частности термической стабильности, в зависимости от частоты и времени воздействия облучения. Полученные данные свидетельствуют о том, что миллиметровые электромагнитные волны нетепловой интенсивности, резонансные для колебаний молекулярных структур воды, не поглощаются поверхностным слоем солевых растворов, а проникают в более глубокие слои. В результате в молекулярной структуре воды происходят определенные изменения, приводящие к увеличению плотности солевого раствора и изменению зависимости коэффициента теплового расширения от температуры. Показано, что разница в коэффициентах теплового расширения облученных и необлученных растворов в зависимости от температуры количественно по-разному меняется для бидистиллированной воды и солевого раствора.

Предлагаемый в данной работе подход заключается в том, что, изучая возможные структурные изменения молекулы ДНК под воздействием радиации, можно составить представление о возможных изменениях молекулярной структуры воды. Известно, что резонансные частоты колебаний молекул ДНК находятся в диапазоне 2–9 ГГц. Следовательно, наблюдаемое повышение термостабильности ДНК при воздействии частот 64.5 и 50.3 ГГц обусловлено их влиянием на молекулярные структуры воды, которые косвенно влияют на термостабильность ДНК. В результате исследования термостабильности молекулы ДНК установлено, что изменения в молекулярной структуре воды под воздействием радиации сохраняются не менее 24 часов. При этом повышение термостабильности ДНК под воздействием радиации не зависит от того, подвергалась ли система вода–ДНК облучению или ДНК была растворена в облученной воде. Полученные результаты свидетельствуют о том, что низкоинтенсивные электромагнитные волны миллиметрового диапазона оказывают специфическое действие *in vitro* и могут опосредованно влиять на биологические системы через воду. Поскольку термодинамические свойства воды определяются прежде всего образованием водородных связей между ее молекулами, можно предположить, что облучение миллиметрового диапазона инициируется именно их образованием и влияет на кластеризацию воды. В то же время полученные результаты свидетельствуют о том, что влияние ММЭМВ на структуру и функциональные характеристики биомакромолекул может быть существенным при различных патологических состояниях биосистемы.

Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов, требующего заявления.

Работа выполнена при поддержке Комитета по науке РА в рамках гранта № 25RG-1F152.

ЛИТЕРАТУРА

1. I.Y. Belyaev, V.S. Shcheglov, Y.D. Alipov, V.A. Polunin. Bioelectromagnetics, 17, 312 (1996).
2. E.E. Fesenko, A.Ya. Gluvstein. FEBS Letters, 367, 53 (1995).
3. D.F. Zou, Z.H. Li, Y.B. Liu, C.Z. Wang. Electromagnetic Biology and Medicine, 44, 212

- (2025).
4. **V.R. Makar, M.K. Logani, A. Bhanushali, M. Kataoka, M.C. Ziskin.** Bioelectromagnetics, **26**, 10 (2005).
 5. **M.K. Logani, I. Szabo, V. Makar, A. Bhanushali, S. Alekseev, M.C. Ziskin.** Bioelectromagnetics. **27**, 258 (2006).
 6. **L.M. Pall.** Reviews on Environmental Health, **37**, 247 (2022).
 7. **H. Wang, L. Lu, P. Liu, J. Zhang, S. Liu, Y. Xie, T. Huo, H. Zhou, M. Xue, Y. Fang, J. Yang, Zh. Ye.** Intelligent Medicine, **4**, 16 (2024).
 8. **A.B. Gapeyev, E.N. Mikhailik, N.K. Chemeris.** Bioelectromagnetics, **29**, 197 (2008).
 9. **V. Kalantaryan, R. Martirosyan, Yu. Babayan, L. Nersesyan, H. Stepanyan.** American J. Med. Biolog. Research, **2**, 18 (2014).
 10. **V. Kalantaryan, R. Martirosyan, Yu. Babayan, P. Vardevanyan.** European J. Med. Phys., **52**, 96 (2018).
 11. **V. Kalantaryan, R. Martirosyan, L. Nersesyan, A. Aharonyan, I. Danielyan, H. Stepanyan, J. Gharibyan, N. Khudaverdyan.** Progress In Electromag. Res. Lett., **20**, 97 (2011).
 12. **V. Kalantaryan, R. Martirosyan, Yu. Babayan, V. Petrosyan.** Comput. Struct. Biotech. J., **21**, 3437 (2023).
 13. **V.R. Makar, M.K. Logani, A. Bhanushali, S.I. Alekseev, M.C. Ziskin.** Bioelectromag., **27**, 458 (2006).
 14. **V. Kalantaryan, S. Hakobyan, R. Ghazaryan, R. Martirosyan.** American J. Med. Biol. Res., **4**, 73 (2016).
 15. **K.L. Mahendra, A. Bhanushali, A. Anga, A. Majmundar, I. Szabo, M.C. Ziskin.** Bioelectromagnetics, **25**, 516 (2004).
 16. **V.I. Petrosyan, N.I. Sinitsin, V.A. Elkin, N.D. Devyatkov, O.V. Betskii.** Biomed. Radioeng., **5**, 62 (2001).
 17. **V.P. Kalantaryan, S.N. Hakobyan, Yu.S. Babayan.** J. Contemp. Phys., **52**, 58 (2017).
 18. **V.P. Kalantaryan, S.N. Hakobyan, P.O. Vardevanyan.** J. Contemp. Phys., **53**, 175 (2018).
 19. **B. Schneider, H.M. Berman.** Biophys. J., **69**, 2661 (1995).
 20. **C. Messori.** Open Access Library Journal, **6**, 5435 (2019).
 21. **G.I. Egorov, A.A. Syrbu, A.M. Kolker.** Russian J. General Chem., **72**, 693 (2002).
 22. **G.M. Kontogeorgis, A. Holster, N. Kottaki, E. Tsochantaris, E. Topsoe, J. Poulsen, M. Bache, X. Liang, B.N. Sorgenfrei, J. Kronholm.** Chem. Thermodynamics and Thermal Analysis, **6**, 2667 (2022).

ՈՉ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՋՐԻ ԵՎ ԴՆԹ-Ի ՋՐԱՅԻՆ
ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ

Վ.Պ. ՔԱԼԱՆԹԱՐՅԱՆ, Ռ.Ս. ԴԱԶԱՐՅԱՆ, Ն.Հ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ,
Գ.Վ. ԱՆԱՆՅԱՆ, Մ.Լ. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ, ՅՈՒ.Ս. ԲԱԲԱՅԱՆ

Ուսումնասիրվել է ցածր ինտենսիվության ոչ ջերմային միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների (ՄՄԷՄԱ) ազդեցությունը ջրի, աղային լուծույթների և ԴՆԹ-ի աղային լուծույթների մակերևութային և ծավալային հատկությունների վրա: Ապացուցված է, որ ոչ ջերմային ՄՄԷՄ ալիքները, որոնք հաճախականությամբ համընկնում են ջրային կառուցվածքների տատանումների ռեզոնանսային հաճախականությունների հետ, որոշակի ազդեցություն են ունենում կենդանի օրգանիզմների վրա *in vivo* և *in vitro* պայմաններում [1-3], ազդելով միջավայրի ջրային բաղադրիչի միջոցով: ՄՄԷՄ ալիքները ներթափանցում են լուծույթների ավելի խորը շերտեր, ինչը հանգեցնում է աղի իոնների և ԴՆԹ-ի դեհիդրատացմանը և ջրային լուծույթների խտության աճին: ԴՆԹ-ի ջրային լուծույթների ճառագայթահարումը ցածր ինտենսիվության ռեզոնանսային հաճախականություններով 90 րոպե տևողությամբ հանգեցնում է ԴՆԹ-ի ջերմակայունության աճին մոտ 1°C-ով: Ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց ճառագայթահարված և չճառագայթահարված լուծույթների խտությունը նվազում է: Էական տարբերություն է դիտվում չճառագայթահարված և ճառագայթահարված աղային լուծույթների և ԴՆԹ-ի լուծույթների խտության՝ ջերմաստիճանից կախվածության վարքագծում: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ ջերմային ընդարձակման գործակիցը (α) ուսումնասիրված լուծույթների համար աճում է ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց, ընդ որում α -ի աճը տարբերվում է ռեզոնանսային տատանումների հաճախականություններով ճառագայթահարված և չճառագայթահարված ջրային կառուցվածքների դեպքում:

PHYSICAL PROPERTIES OF WATER AND AQUEOUS DNA SOLUTIONS
UNDER THE INFLUENCE OF NON-THERMAL ELECTROMAGNETIC
WAVES OF THE MILLIMETER RANGE

V.P. KALANTARYAN, R.S. GHAZARYAN, N.H. KARAPETYAN,
G.V. ANANYAN, M.L. MOVSISYAN, YU.S. BABAYAN

The influence of low-intensity non-thermal electromagnetic waves of the millimeter range on the surface and volume properties of water, saline and DNA solutions was studied. It has been shown that non-thermal millimeter electromagnetic waves (MMEMW) coinciding in frequency with the resonant frequencies of oscillations of water structures, produce a certain effect *in vivo* and *in vitro* [1-3], affecting living organisms through the aqueous component of the environment. NTEW is not absorbed by the surface layer of aqueous solutions and penetrates deeper layers of liquid, which leads to dehydration of salt ions and DNA and an increase in the density of aqueous solutions. Irradiation of DNA solutions with low-intensity resonance frequencies for aqueous molecular structures for 90 minutes leads to an increase in the thermal stability of DNA by approximately 1°C. As the temperature increases, the density of non-irradiated and irradiated solutions decreases. However, there is a significant difference between the behavior of the density dependence on temperature for non-irradiated and irradiated saline and DNA solutions. Calculations show that for studied solutions, the coefficient of thermal expansion (α) increases with increasing temperature, and the growth of α occurs differently for water structures irradiated and not irradiated with resonant vibration frequencies.