

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ТЕРМОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ СРЕД
(РАСТВОРОВ, РАСТИТЕЛЬНЫХ И ЖИВОТНЫХ ОБЪЕКТОВ)**

Г.Н. СИДОРЕНКО*, Б.И. ЛАПТЕВ*, Н.П. ГОРЛЕНКО**, Ю.С. САРКИСОВ**, Л.В. АНТОШКИН***

* *Nove tehnologije d.o.o, Legatova ul. 2, Ljubljana, Slovenia, 1000*

** *Томский государственный архитектурно-строительный университет,
пл. Соляная, 2, г. Томск, 634003, Россия*

*** *Институт оптики атмосферы им.В.Е. Зуева СО РАН,
площадь Академика Зуева, 1, г. Томск, 634055, Россия*

Аннотация. На основе данных предшествующих исследований и полученных в работе результатов показано, что использование электрофизических методов исследования (определение электрической емкости и резонансного метода) в диапазоне частот от 1 до 3000 кГц позволяет при различных воздействиях оценивать структуру воды, водных растворов, животных и растительных объектов, обусловленную изменением подвижности диполей воды, ориентационной поляризации макромолекул, состоянием биомембран, а также изменением концентрации различных компонентов в этих водосодержащих средах.

Повышение (снижение) электрической емкости и добротности колебательного контура в диапазоне частот от 1 до 3000 кГц в водосодержащих средах при различных воздействиях свидетельствует об уменьшении (увеличении) структурированности этих сред.

В процессе охлаждения в различных условиях от 46°C до 29°C или нагревания от 29°C до 46°C а кривых относительного времени снижения или повышения температуры дистиллированной воды обнаружены локальные повышения (максимумы) при температуре 32°C, 39°C и 42°C, которые отражают изменения структурно-энергетического состояния воды и ее теплоемкости. При этом структурированность воды при температуре ниже 41°C существенно возрастает.

Ключевые слова: структура воды, охлаждение, нагревание, водосодержащие среды, относительное изменение температуры, кластеры воды, электрическая емкость резонанс.

**OPPORTUNITIES OF ELECTROPHYSICAL METHODS OF RESEARCH AND THERMOMETRY
TO ESTIMATE STRUCTURE OF WATER-CONTAINING MEDIUMS (SOLUTIONS, VEGETATIVE
AND ANIMAL OBJECTS)**

G.N. SIDORENKO*, B.I. LAPTEV*, N.P. GORLENKO**, Y.S. SARKOSOV**, L.V. ANTOSHKIN***

* *Nove tehnologije d.o.o, Legatova ul. 2, Ljubljana, Slovenia, 1000*

** *Tomsk State University of Architecture and Building, Solyanaya Sq., 2, Tomsk, 634003, Russia*

*** *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS (IAO SB RAS), Academician Zuev square, 1, Tomsk,
634055, Russia*

Abstract. Based on data from previous studies and the results in this article demonstrate that using electrophysical methods of research (definition of electric capacity and resonant methods) in the frequency range from 1 to 3000 kHz allows to assess changes in the structure of water, aqueous solutions, vegetable and animal objects associated with the change in the mobility of water dipoles, orientational polarization of macromolecules, biomembranes and the content of the other components of these environments.

Increase (decrease) capacitance and q-factor resonant circuit in the frequency range from 1 to 3000 kHz in aqueous environments under various effects indicates a decrease (increase) structuring in these environments.

In the process of cooling in different conditions from 46°C to 29°C or heating from 29°C to 46°C on the curves relative to time reducing or increasing the temperature of the distilled water detected local increase (maximums) at a temperature of 32°C, 42°C, 39°C which reflect the changes of structural-energy state of the water due to a change in its heat capacity. At a temperature below 41°C the structure of water has significant increase.

Key words: water structure; water clusters; water-containing mediums, cooling, warming, relative change of temperature, electric capacitance, resonance.

Введение. В настоящее время исследования, посвященные изучению структуры воды и водосодержащих сред активно развиваются, а полученные данные используются для разработки технологий профилактики и лечения заболеваний, оздоровления населения, а также технологий, позволяющих увеличить урожайность растений и повысить содержания в них полезных веществ и др. [4, 13, 15].

Так, было установлено, что с использованием электрофизических методов исследования и термометрии можно оценивать структуру водосодержащих сред [2, 7, 10, 12]. Показано, что сдвиги таких параметров как электрическая емкость воды и водных растворов, а также добротность колебательного контура (при включении образцов изучаемой жидкости между обкладками конденсатора) отражают изменения в подвижности диполей воды, ее структурированности и могут использоваться для оценки структуры воды и водных систем при различных воздействиях [9, 10-12]. Изменения же динамики относительного снижения температуры воды и водных растворов позволяют выявить значения температуры, при которых происходят более значительные изменения структурно-энергетического состояния водных систем [2, 7].

Цель исследования – дальнейшее изучение возможности электрофизических методов исследования и термометрии для оценки структуры водосодержащих сред, включающих водные растворы хлорида и гидроксида натрия, хлороводородной кислоты, яичный белок, желток, яблоко, картофель и обобщение полученных ранее результатов исследований.

Методика проведения эксперимента. В опытах использовали дистиллированную воду с проводимостью 2–2,5 мкС/см, водные растворы *NaCl* в концентрациях от $10^{-6}M$ до 0,15M, растворы *HCl* и *NaOH* в концентрациях от $10^{-6}M$ до $10^{-2}M$, яичный белок и желток куриного яйца, яблоко, картофель, а также различные типы измерительных ячеек (рис. 1, 2).

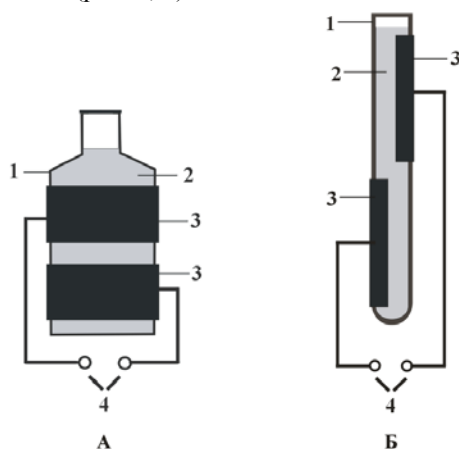


Рис. 1. Схемы измерительных ячеек для оценки изменений электрической емкости водосодержащих сред. А – стеклянный сосуд емкостью 500 мл; Б – стеклянная пробирка диаметром 20 мм. 1 – емкость для изучаемого объекта, 2 – изучаемый объект, 3 – обкладки конденсатора из немагнитного материала без непосредственного контакта с изучаемым объектом, 4 – клеммы для подключения сигнала от генератора синусоидальных колебаний

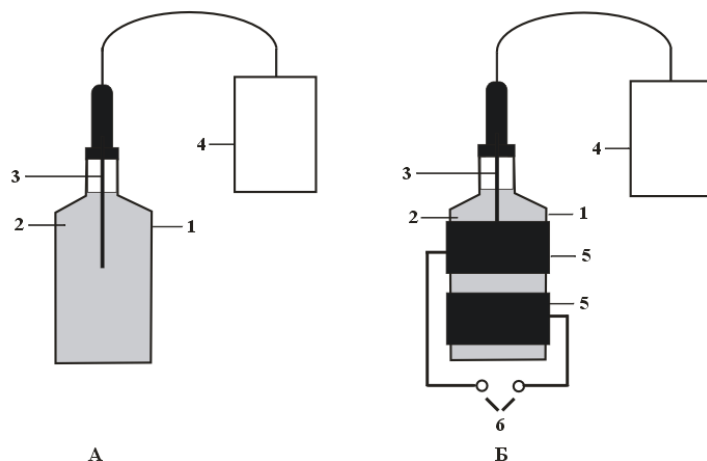


Рис. 2. Схема измерения температуры и электрической емкости при остывании дистиллированной воды. А – стеклянный сосуд емкостью 100 мл; Б – стеклянный сосуд емкостью 200 мл. 1 – стеклянный сосуд, 2 – исследуемая жидкость, 3 – погружной датчик температуры, 4 – цифровой термометр GTH 175/Pt, 5 – обкладки конденсатора из немагнитного материала без непосредственного контакта с исследуемой жидкостью

Первая ячейка (рис. 1А) включает цилиндрический стеклянный сосуд диаметром 8 см, в который помещают исследуемые жидкости в количестве 500 мл, а также две обкладки конденсатора из немагнитного материала (площадью 60 см² каждый), расположенные вокруг сосуда на расстоянии 10 мм друг от друга. Указанное выше расположение обкладок конденсатора и их площадь позволяет снизить напряженность электрического поля в жидкости, а также уменьшить электрическую емкость между обкладками конденсатора измерительных ячеек и плотность тока до 20 нА/см². Эта ячейка использовалась для оценки структуры водных растворов хлорида натрия.

Вторая измерительная ячейка (рис. 1Б) включает стандартную стеклянную пробирку диаметром 20 мм и длиной 200 мм, на которой размещены две обкладки конденсатора из немагнитного материала (площадью 22 см² каждая). При этом обкладки конденсатора смещены относительно друг друга в параллельных плоскостях и не имеют поверхности, расположенной напротив друг друга. Эта ячейка использовалась для оценки структуры растворов *NaOH* и *HCl* в концентрациях от 10⁻⁶М до 10⁻²М и таких водосодержащих сред как яичный белок и желток.

Для оценки динамики снижения температуры дистиллированной воды ее предварительно нагревали до 75°C, а затем помещали в сосуд емкостью 100 мл (рис. 2А), в котором воду охлаждали до 29°C путем погружения сосуда в водопроводную воду при температуре (3±1)°С. Для оценки динамики повышения температуры дистиллированной воды ее нагревали от комнатной температуры до 46°C путем погружения сосуда в водопроводную воду с температурой (75±2)°С.

Температуру жидкостей измеряли с использованием цифрового термометра *GTH 175/Pt* с разрешением 0,1°C. Время изменения температуры на 1°C составляло не менее 40 сек.

При одновременном использовании термометрии и электрофизических методов исследования изучаемую жидкость помещали в цилиндрический стеклянный сосуд емкостью 200 мл, на котором на расстоянии 5 мм друг от друга располагались две обкладки конденсатора из немагнитного материала (площадью 45 см² каждая) (рис. 2Б). При этом, частота тока, подводимого к обкладкам конденсатора составляла 10 кГц, а плотность тока на обкладках конденсатора не превышала 30 нА/см².

Для оценки динамики снижения или повышения температуры рассчитывали относительное время снижения или повышения температуры (в %) по следующей формуле:

$$T_i (\%) = \frac{\Delta t_i - \Delta t_{i-1}}{t_i} \cdot 100$$

где $T_i (\%)$ – относительное изменение температуры (в %) при i градусе, Δt_i – время изменения температуры на 1 градус при температуре t_i градусов (сек), Δt_{i-1} – время изменения температуры на 1 градус при температуре $(t_i - 1)$ градусов (сек).

В опытах с растительными объектами измерительная ячейка включала расположенные на расстоянии 25 мм и параллельно друг другу изолированные пластины конденсатора между которыми находились срезы яблока или картофеля.

Напряжение к измерительным ячейкам подавалось от генератора синусоидальных колебаний *AFG 2025*, сигнал с ячейки усиливался инструментальным усилителем на основе микросхемы *AD8067* и измерялся на осциллографе *PDS5022S*.

Установка позволяет измерять электрическую емкость жидкостей на частотах 1-3000 кГц (по изменению величины реактивного тока через них, но после вычитания из общей емкости конденсатора емкости измерительной ячейки без жидкости), а также добротность колебательного контура на частотах 30, 100 и 300 кГц с включением в него исследуемой жидкости. При этом величина напряжения генератора, подводимого к пластинам конденсатора, уменьшалась обратно пропорциональна его частоте. Детали методики описаны ранее [10, 12].

Результаты и их обсуждение. При температуре 20°C с увеличением частоты реактивного тока от 1 до 100 кГц электрическая емкость дистиллированной воды многократно (до 34% от исходного уровня, $P < 0,001$) снижается (рис. 3). Следует отметить, что уже при частоте 3 кГц емкость достоверно уменьшается по сравнению с частотой 1 кГц ($P < 0,001$). При дальнейшем повышении частоты от 100 до 3000 кГц электрическая емкость снижается только на 3%.

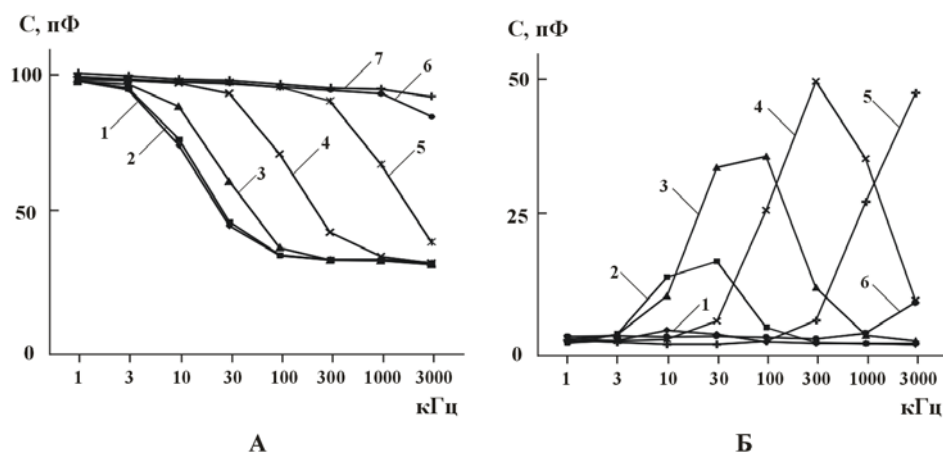


Рис. 3. А – зависимость электрической ёмкости дистиллированной воды и водных растворов от частоты реактивного тока: 1–дистиллированная вода, 2, 3, 4, 5, 6 и 7– растворы соли хлорида натрия в концентрациях $1 \times 10^{-6} M$, $1 \times 10^{-5} M$, $1 \times 10^{-4} M$, $1 \times 10^{-3} M$, $1 \times 10^{-2} M$ и $1,5 \times 10^{-1} M$ соответственно. Б – относительное изменение электрической ёмкости при различных частотах реактивного тока и концентрациях раствора $NaCl$: 1 – $1 \times 10^{-6} M$ раствор по сравнению с дистиллированной водой; 2 – $1 \times 10^{-5} M$ раствор по сравнению с $1 \times 10^{-6} M$ раствором; 3 – $1 \times 10^{-4} M$ раствор по сравнению с $1 \times 10^{-5} M$ раствором; 4 – $1 \times 10^{-3} M$ раствор по сравнению с $1 \times 10^{-4} M$ раствором; 5 – $1 \times 10^{-2} M$ раствор по сравнению с $1 \times 10^{-3} M$ раствором, 6 – $1,5 \times 10^{-1} M$ раствор по сравнению с $1 \times 10^{-2} M$ раствором

Электрическая ёмкость водных растворов $NaCl$ повышается с увеличением концентрации раствора. Так, при концентрации водного раствора $NaCl$ $1 \times 10^{-6} M$ возрастание его электрической ёмкости (по сравнению с ёмкостью дистиллированной воды) наблюдается на частотах 10 и 30 кГц с максимумом на частоте 10 кГц (рис. 3А и Б, $P < 0,05$ в обоих случаях). При концентрации $1 \times 10^{-5} M$ ёмкость раствора (по сравнению с $1 \times 10^{-6} M$ раствором $NaCl$) максимально возрастает на частоте 30 кГц, а при концентрации $10^{-4} M$ (по сравнению с $10^{-5} M$ раствором) максимальное увеличение этого параметра наблюдается на частоте 100 кГц ($P < 0,001$). При дальнейшем повышении концентрации раствора до $1 \times 10^{-3} M$, $1 \times 10^{-2} M$ и до $1,5 \times 10^{-1} M$ максимальное относительное возрастание ёмкости происходит на частотах 300 и 3000 кГц ($P < 0,001$ во всех случаях). При максимальной же концентрации раствора $NaCl$ ($1,5 \times 10^{-1} M$) снижение ёмкости дистиллированной воды при повышении частоты от 1 до 3000 кГц составляет всего 8,7%. Таким образом, при повышении концентрации растворов солей происходит последовательное увеличение их ёмкости сначала на низких, а затем и на более высоких частотах. Аналогичные результаты наблюдались в проведенных нами ранее исследованиях [10].

При нахождении дистиллированной воды между обкладками конденсатора добротность колебательного контура на резонансных частотах 30, 100, и 300 кГц (рис. 4) составляет соответственно $6,0 \pm 0,2$; $13,6 \pm 0,5$ и $34,9 \pm 0,9$, то есть увеличивается с повышением резонансной частоты ($P < 0,001$ во всех случаях).

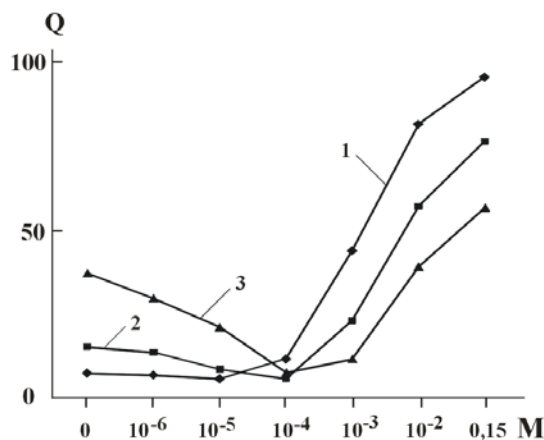


Рис. 4. Изменение добротности (Q) колебательного контура с увеличением концентрации раствора $NaCl$ при резонансной частоте 30 кГц (1), 100 кГц (2) и 300 кГц (3)

В опытах с растворами $NaCl$ при увеличении их концентрации более $10^{-5}M$ происходит снижение величины индуктивности, необходимой для достижения резонанса на указанных частотах ($P<0,001$). Это свидетельствует о том, что по сравнению с дистиллированной водой в растворах соли происходит изменение структуры, приводящее к увеличению количества диполей, совершающих колебательные движения при резонансных частотах 30, 100 и 300 кГц. Однако добротность колебательного контура, по сравнению с дистиллированной водой, при использовании $10^{-5} M$ раствора $NaCl$ снижается при частоте 30 кГц на 27%, при частоте 100 кГц – на 47% и при частоте 300 кГц – на 44%.

При больших концентрациях раствора $NaCl$ добротность начинает возрастать сначала при резонансной частоте 30 кГц, а затем при более высоких резонансных частотах – 100 и 300 кГц (рис. 4). Так, при максимальной концентрации раствора $NaCl$ ($1,5 \times 10^{-1} M$) добротность колебательного контура при резонансных частотах 30, 100, и 300 кГц составляет соответственно $91,6 \pm 0,6$; $73,0 \pm 0,5$ и $53,8 \pm 0,4$, то есть, в отличие от дистиллированной воды, добротность снижается с повышением резонансной частоты ($P<0,001$ во всех случаях). При этом по сравнению с дистиллированной водой добротность при 30, 100, и 300 кГц возрастает в 14 раз, 4 раза и в 1,5 раза соответственно.

Следует отметить, что возрастание добротности наблюдается лишь после начала повышения емкости на соответствующей частоте и при такой концентрации раствора, когда величина емкости достигнет величины, близкой к таковой при максимальной концентрации раствора (рис. 2, 3).

В проведенных ранее исследованиях с использованием других измерительных ячеек [9, 12] также наблюдались подобные изменения электрической емкости и добротности колебательного контура при возрастании концентрации водных растворов $NaCl$, KCl , $CaCl_2$, $MgCl_2$.

Снижение добротности колебательного контура при повышении концентрации водных растворов до 10^{-5} - $10^{-4}M$ (рис. 4) могло быть обусловлено «конкуренцией» кластеров воды и гидратных образований ионов за молекулы воды (включая несвязанные между собой молекулы), приводящей к уменьшению размеров кластеров, увеличению количества молекул воды, находящихся в гидратных образованиях. Эти изменения могут приводить к повышению неоднородности структуры растворов и снижению подвижности диполей воды в резонансном режиме.

При дальнейшем возрастании концентрации растворов размеры кластеров воды и количество молекул воды, находящихся в них, продолжает уменьшаться, но возрастает количество молекул воды, находящихся в области дальней гидратации ионов, где они меньше связаны между собой, чем в кластерах или в области ближней гидратации. Это приводит к относительному возрастанию подвижности диполей воды в резонансном режиме и, соответственно, к увеличению добротности колебательного контура (преимущественно на низкой резонансной частоте), а также к дальнейшему увеличению электрической емкости воды.

Вероятно, что наблюдаемое в исследовании с дистиллированной водой возрастание добротности колебательного контура с повышением резонансной частоты от 30 до 300 кГц, и снижение этого показателя с повышением резонансной частоты от 30 до 300 кГц в растворах $NaCl$ с концентрацией выше $10^{-4} M$ также подтверждает сделанное выше предположение.

С учетом полученных результатов целесообразно было оценить динамику изучаемых электрофизических параметров воды при изменении pH . Для этого использовали растворы $NaOH$ и HCl в концентрациях от $10^{-6}M$ до $10^{-2}M$.

Оказалось, что с повышением концентрации $NaOH$ и HCl электрическая емкость растворов возрастала (рис. 5 А и Б). При этом характер этой зависимости был подобен той, которая наблюдалась при увеличении концентрации растворов солей, но повышение электрической емкости было более выражено в растворах кислоты. Так, в при концентрации растворов $10^{-2}M$ электрическая емкость раствора HCl по отношению к дистиллированной воде на частоте 3000 кГц возрастала в 15 раз, а электрическая емкость раствора $NaOH$ увеличилась лишь в 10 раз ($P<0,001$).

Добротность колебательного контура при повышении концентрации обоих растворов до 10^{-4} - $10^{-3}M$, также как при увеличении концентрации растворов солей, снижалась, но при дальнейшем возрастании концентрации растворов кислоты и щелочи добротность колебательного контура увеличивалась. Однако, выраженность изменений добротности колебательного контура была больше в растворах соляной кислоты. Так, при концентрации растворов $10^{-2}M$ добротность колебательного контура раствора HCl по отношению к дистиллированной воде на частоте 30 кГц возрастала в 7 раз, а добротность колебательного контура раствора $NaOH$ увеличилась лишь в 5,9 раз ($P<0,001$).

С учетом вышеизложенного, можно предположить, что частотно-зависимая динамика электрической емкости воды и ее растворов, а также добротности колебательного контура при различных воздействиях обусловлена изменением подвижности диполей воды, которая зависит от соотношения свободных и ассоциированных, например, в кластеры, и гидратные образования молекул воды.

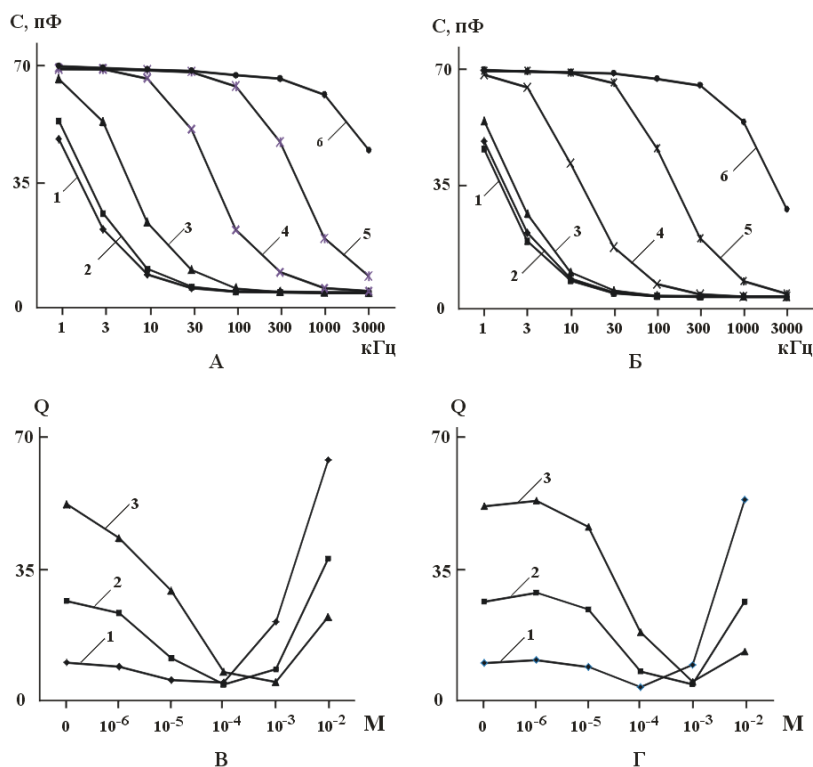


Рис. 5. А и Б – зависимость электрической ёмкости (С, пФ) водных растворов *HCl* (А) и *NaOH* (Б) от частоты реактивного тока. 1 – дистиллированная вода, 2, 3, 4, 5 и 6 – растворы в концентрациях $1 \times 10^{-6} M$, $1 \times 10^{-5} M$, $1 \times 10^{-4} M$, $1 \times 10^{-3} M$ и $1 \times 10^{-2} M$. В и Г – зависимость добротности колебательного контура (Q) водных растворов *HCl* (В) и *NaOH* (Г) от концентрации этих растворов (M). 1 – резонансная частота 30 кГц, 2 – резонансная частота 100 кГц, 3 – резонансная частота 300 кГц

Далее проводили сравнительную оценку изменения температуры воды при ее нагревании или охлаждении (рис.6). Оказалось, что на кривой относительного времени снижения температуры имеются локальные повышения (максимумы) при температурах 32°C, 35°C, 39°C и 42°C, а также локальные снижения (минимумы) при температурах 33°C, 37°C, 40°C и 43°C.

Кривая относительного времени повышения температуры дистиллированной воды также изменялась не монотонно. На ней отмечаются локальные повышения (максимумы) при температурах 32°C, 37°C, 39°C и 42°C, а также локальные снижения (минимумы) при температуре 35°C, 38°C и 44°C. Интересно отметить, что значения кривых относительного времени снижения и повышения температуры достоверно коррелируют между собой ($r=0,524$ $P<0,01$). На кривой же средних арифметических значений этих кривых также отмечаются локальные повышения (максимумы) при температуре 32°C, 39°C и 42°C, а также локальные снижения (минимумы) при температурах 40°C и 43°C. При этом в диапазоне температур от 33°C до 38°C значения этой кривой практически не изменялись.

В проведенном ранее исследовании также было показано, что кривая относительного времени охлаждения $1,5 \times 10^{-1} M$ раствора *CaCl₂* также имеет локальные повышения при температуре 39°C и 42°C [12].

С учетом того, что при повышении температуры дистиллированной воды и растворов солей до 40°C в них происходит разрушение кластеров с размерами от 2 до 40 мкм с поглощением энергии [5], можно предположить, что локальные максимумы на кривых относительного времени снижения или повышения температуры воды при 32°C, 39°C и 42°C являются следствием замедления процессов охлаждения (или нагревания) воды при этих температурах с выделением (или поглощением) энергии и изменением структуры воды.

С учетом вышеизложенного целесообразно было оценить связь между изменением температуры дистиллированной воды и ее электрической емкости, которая отражает количество диполей воды, повращивающихся в переменном электрическом поле и зависит от степени структурированности воды. Оказалось, что при остывании дистиллированной воды происходило снижение ее электрической емкости и это уменьшение было более выражено при более низких температурах. Так, при снижении температуры от 46°C до 41°C уменьшение электрической емкости составило лишь 3,6%, тогда как при снижении температуры от 41°C до 36°C этот параметр уменьшался на 16% ($P<0,001$), а при понижении температуры от 36°C до 31°C электрическая емкость уменьшалась на 10% ($P<0,001$). Принимая во внимание результаты проведенных нами ранее исследований [9, 10, 12] и данных других исследователей [5] логично предпо-

ложить, что большая выраженность снижения электрической емкости дистиллированной воды при снижении температуры ниже 41°C может быть обусловлена более интенсивным образованием кластеров и уменьшением вследствие этого подвижности диполей воды.

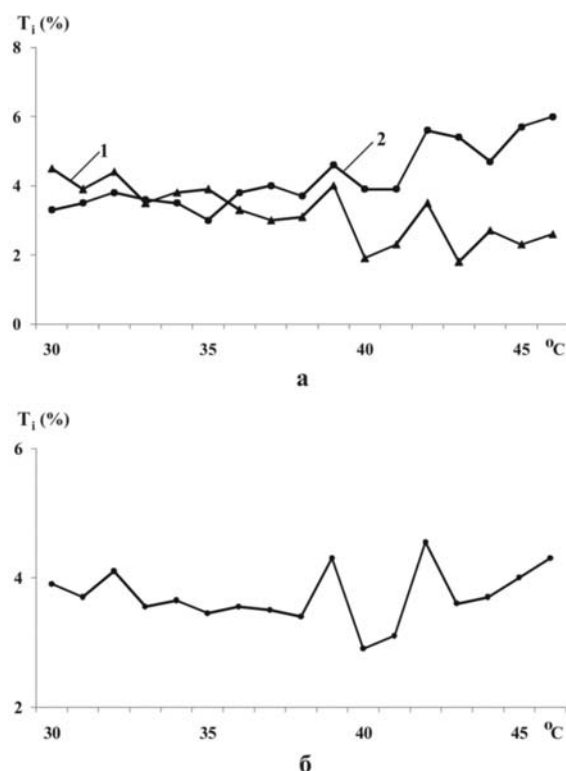


Рис. 6. Динамика относительных изменений температуры T_i (%); а – при охлаждении от 46°C до 29°C (1) и нагревании от 29°C до 46°C (2) дистиллированной воды; б – кривая средних арифметических значений кривых охлаждения и нагревания

Так как человеческое тело на две трети состоит из воды, то полученные результаты в опытах с водой и ее раствором, вероятно, можно экстраполировать и на живой организм. В этом случае вода с её зависящей от температуры переменной теплоемкостью может быть нелинейным элементом в системе терморегуляции организма, что повышает его жизнеспособность. При этом эффект всех воздействий, приводящих к существенным изменениям энергетических процессов в организме, будет частично ограничен по величине изменений температуры тела ниже 32°C и выше 39°C указанным выше механизмом структурно-энергетических изменений в воде. Нельзя также исключить, что кратковременное повышение температуры организма до 39°C , сопровождающееся отмеченном в работе изменением структурно-энергетического состояния воды и уменьшением размеров ее кластеров создает в организме условия, повышающие адаптационные возможности организма, его резистентность, например, при наличии бактериальных инфекций.

Кроме того, структурированность водных систем и, соответственно, стабильность структур организма при температурах $33\text{--}38^{\circ}\text{C}$, вероятно, достаточно велика для нормальной жизнедеятельности, но при этом сохраняется выраженная лабильность процессов, необходимая для развития адаптационных реакций при различных изменениях окружающей и внутренней среды организма. Поскольку вода при температуре 37°C имеет минимальную теплоемкость, то это позволяет теплокровному организму тратить минимальное количество энергии на поддержание гомеостаза [10].

Далее с использованием электрофизических методов проводили оценку структуры таких биологических объектов как яичный белок и желток (рис. 7). Для сравнения использовали изотонический раствор $1,5 \times 10^{-1} \text{M}$ раствор NaCl .

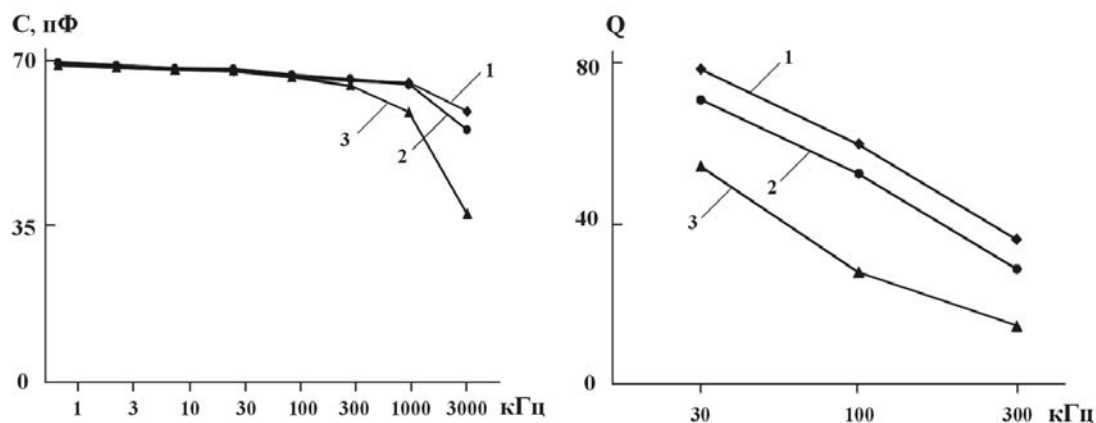


Рис. 7. Зависимость электрической ёмкости (C , пФ) и добротности колебательного контура (Q) от частоты реактивного тока. 1 – физиологический раствор, 2 – яичный белок, 3 – яичный желток

Электрическая ёмкость изотонического раствора с повышением частоты от 1 до 3000 кГц снижалась лишь на 15% ($P < 0,001$). Электрическая ёмкость белка при этом снижалась более выражено – на 21% ($P < 0,001$). В опытах с желтком наблюдалось еще более выраженное снижение электрической ёмкости (на 47%) при повышении частоты реактивного тока от 1 до 3000 кГц.

При нахождении изотонического раствора между обкладками конденсатора добротность колебательного контура на резонансных частотах 30, 100 и 300 кГц составляла соответственно $83,2,0 \pm 0,3$; $63,4 \pm 0,9$ и $38,1 \pm 0,4$, то есть снижалась с повышением резонансной частоты. В опытах с яичным белком добротность колебательного контура относительно изотонического раствора на резонансных частотах 30, 100, и 300 кГц снижалась на 10, 12 и 20% соответственно, а в опытах с яичным желтком это снижение было еще более выражено – на 31, 53 и 60% ($P < 0,001$ во всех случаях).

Полученные результаты свидетельствовали о том, что по отношению к изотоническому раствору структурированность таких водосодержащих сред как яичный желток и яичный белок была более выражена. При этом структурированность белка, по сравнению с желтком, была менее выражена.

В опытах с растительными объектами картофелем и яблоками (рис. 8) их срезы толщиной 20 мм находились между изолированными пластинами конденсатора. Оказалось, что электрическая ёмкость как яблока, так и картофеля при повышении частоты реактивного тока от 1 до 3000 кГц снижается на 54 и 44% соответственно ($P < 0,001$ в обоих случаях). Электрическая ёмкость изотонического раствора с повышением частоты от 1 до 3000 кГц снижалась лишь на 7,7%.

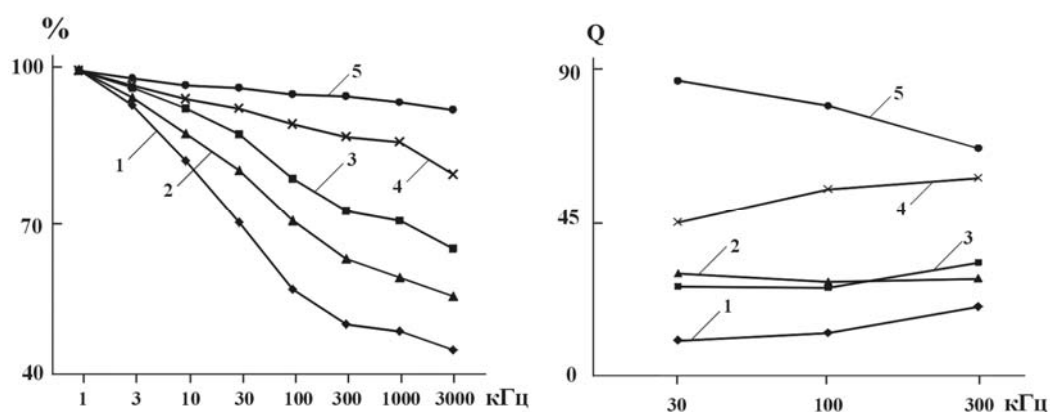


Рис. 8. Зависимость электрической ёмкости (в % от исходного уровня при частоте 1кГц) и добротности колебательного контура (Q) от частоты реактивного тока. 1 – яблоко, 2 – картофель, 3 – вареное яблоко, 4 – вареный картофель, 5 – физиологический раствор

Известно, что при воздействии внешнего электрического поля время релаксации при поляризации тканей, клеток и внутриклеточных органелл составляет от 1 до 10^{-7} сек, а ориентационная поляризация макромолекул и диполей воды – от 10^{-6} до 10^{-11} сек. С учетом этого можно предположить, что при

возрастании частоты реактивного тока до 3000 кГц значительный вклад в снижение электрической емкости водосодержащих сред (яичного белка и желтка, яблока и картофеля) имеют все отмеченные выше уровни поляризации, суммарная величина которой зависит от состоянием клеточных и внутриклеточных мембран, величины связи между макромолекулами, диполями воды.

Как известно при повышении температуры до 100°C происходит частичное разрушение клеточных структур. Электрическая же емкость вареного яблока и картофеля при повышении частоты реактивного тока от 1 до 3000 кГц снижалась в меньшей степени – на 34 и 20% соответственно ($P < 0,001$ в обоих случаях). При этом добротность колебательного контура в опытах с вареным яблоком и картофелем повышалась на резонансных частотах 30, 100 и 300 кГц на 169%, 115%, 67% и 59%, 103%, 108% соответственно ($P < 0,001$ во всех случаях).

Результаты, полученные выше с используемыми электрофизическими методами исследования, свидетельствовали об уменьшении структурированности растительных объектов после их термической обработки.

Таким образом, с использованием электрофизических методов исследования (определение электрической емкости и резонансного метода) и термометрии можно при различных воздействиях оценивать динамику структуры воды и различных водосодержащих сред, обусловленную изменением соотношения свободных и ассоциированных, например, в кластеры, и гидратные образования молекул воды, изменением ориентационной поляризации макромолекул, состоянием клеточных и внутриклеточных мембран, изменением содержания компонентов этих сред.

Использование указанных выше электрофизических методов и термометрии позволяет:

- изучать процессы структурообразования в воде, водных растворах и других водосодержащих средах [8];
- оценивать структуру воды, водных растворов и других водосодержащих сред, находящихся в различных измерительных ячейках или в емкости из диэлектрического материала [12];
- подбирать параметры каких-либо воздействий (изменение температуры, концентрации компонентов, pH среды, воздействие магнитного поля и т.д.) на воду водные растворы и другие водосодержащие среды для целенаправленного изменения их структуры при решении различных практических задач [6, 11];
- подбирать материалы для решения различных задач с учетом их влияния на структуру воды, водных растворов и других водосодержащих сред [12];
- оценивать структуру водосодержащих сред (питьевых и минеральных вод [14] с использованием разработанного критерия K_s , а также животных и растительных объектов).

С использованием таких подходов для оценки структуры воды и водосодержащих сред разработаны и продолжают активно разрабатываться технологии лечения, профилактики заболеваний и оздоровления населения, а также технологии, позволяющие увеличить урожайность растений и повысить содержания в них полезных веществ [1, 4, 13, 15].

Выводы:

1. Использование электрофизических методов исследования (определение электрической емкости и резонансного метода) в диапазоне частот от 1 до 3000 кГц и термометрии позволяет при различных воздействиях оценивать динамику структуры воды и водных растворов, связанную с изменением подвижности диполей воды, соотношения свободных и ассоциированных, например, в кластеры и гидратные образования молекул воды.
2. В процессе охлаждения в различных условиях от 46 до 29°C или нагревания от 29°C до 46°C дистиллированной воды на кривых относительного времени снижения и повышения температуры обнаружены локальные повышения (максимумы) при температуре 32°C, 39°C и 42°C, которые отражают изменения структурно-энергетического состояния воды и ее теплоемкости. При этом структурированность воды при температуре ниже 41°C существенно возрастает.
3. Использование электрофизических методов исследования (определение электрической емкости и резонансного метода) в диапазоне частот от 1 до 3000 кГц позволяет при различных воздействиях оценивать структуру животных и растительных объектов, обусловленную изменением подвижности диполей воды, ориентационной поляризации макромолекул, состоянием биомембран, а также изменением концентрации различных компонентов в этих водосодержащих средах.
4. Повышение (снижение) электрической емкости и добротности колебательного контура в диапазоне частот от 1 до 3000 кГц в водосодержащих средах при различных воздействиях свидетельствует об уменьшении (увеличении) структурированности этих сред.

Литература

1. Антошкин Л.В., Демидова Н.А., Лаптев Б.И., Пасько О.А., Семенов А.В. О влиянии людей на семена растений // Вестник новых медицинских технологий. 1996. № 4. С. 25.

2. Обнаружение в воде неравновесных фазовых переходов / Батуров Л.Н., Говор И.Н., Обухов А.С. [и др.] // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т. 93. Вып. 2. С. 92–94.
3. Белянин В., Романова Е. Жизнь, молекула воды и золотая пропорция // Наука и жизнь. 2003. № 6. С. 82–88.
4. Герасимов И.Г., Лаптев Б.И., Левицкий Е.Ф., Новиков А.С., Субботина Т.И., Хадарцев А.А., Яшин А.А., Яшин М.А. Электромагнитобиология и клинический эксперимент в физиотерапии: Монография (Серия монографий «Экспериментальная электромагнитобиология», вып. 8) / Под ред. Хадарцева А.А. и Яшина А.А. Москва – Тверь – Тула: ООО «Изд-во «Триада», 2008. 184 с.
5. Гончарук В.В., Орехова Е.А., Мальяренко В.В. Влияние температуры на кластеры воды // Химия и технология воды. 2008. Т.30, № 2. С. 150–158.
6. Горленко Н.П., Лаптев Б.И., Саркисов Ю.С., Сидоренко Г.Н., Кульченко А.К. Влияние электромагнитных полей на свойства жидкости затворения цементных систем // Перспективные материалы в строительстве и технике. Материалы Международной научной конференции молодых ученых 15–17 октября 2014 года. Томск, Россия. 2014. С. 137–145.
7. Кузнецов Д.М., Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях в водной среде // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 1. С. 114–121.
8. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. Процессы структурообразования в воде и водных растворах // Вода и экология. Проблемы и решения. 2012. № 2/3. С.26–33.
9. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С. Влияние нагревания и концентрации растворов на процессы структурообразования в воде и водных растворах // Вода и экология. Проблемы и решения. 2012. № 4. С. 43–50.
10. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В., Кульченко А.К. Современные электрофизические методы исследований структуры воды и водных растворов // Вода и экология. Проблемы и решения. 2014. № 3. С. 21–32.
11. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В., Кульченко А.К. Электрические свойства воды при внешних воздействиях // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2014. №9. С. 20–27.
12. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Антошкин Л.В. Оценка структуры воды с использованием термометрии и электрофизических методов исследования // Вестник новых медицинских технологий. 2016. №1. С. 151–157.
13. Левицкий Е.Ф., Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н. Электромагнитные поля в курортологии и физиотерапии. Томск, 2000. 127 с.
14. Левицкий Е.Ф., Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н. Использование метода диэлектromетрии для оценки структуры питьевых и минеральных вод // Физиотерапевт. 2013. № 5. С. 3–8.
15. Фаращук Н.Ф. Вода – структурная основа адаптации. Москва-Смоленск, 2004. 172 с.

References

1. Antoshkin LV, Demidova NA, Laptev BI, Pas'ko OA, Semenov AV. O vliyaniy lyudey na semena rasteniy. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 1996;4:25. Russian.
2. Baturov LN, Govor IN, Obukhov AS, et al. Obnaruzhenie v vode neravnovesnykh fazovykh perekhodov. Pis'ma v ZhETF. 2011;93(2):92-4. Russian.
3. Belyanin V, Romanova E. Zhizn', molekula vody i zolotaya proporsiya. Nauka i zhizn'. 2003;6:82-8. Russian.
4. Gerasimov IG, Laptev BI, Levitskiy EF, Novikov AS, Subbotina TI, Khadartsev AA, Yashin AA, Yashin MA. Elektromagnitobiologiya i klinicheskiy eksperiment v fizioterapii: Monografiya (Seriya monografiy «Eksperimental'naya elektromagnitobiologiya», vyp. 8). Pod red. Khadartseva AA i Yashina AA. Moscow – Tver' – Tula: ООО «Izd-vo «Triada»; 2008. Russian.
5. Goncharuk VV, Orekhova EA, Malyarenko VV. Vliyanie temperatury na klasteriy vody. Khimiya i tekhnologiya vody. 2008;30(2):150-8. Russian.
6. Gorlenko NP, Laptev BI, Sarkisov YS, Sidorenko GN, Kul'chenko AK. Vliyanie elektromagnitnykh poley na svoystva zhidkosti zatvoreniya tsementnykh system. Perspektivnye materialy v stroitel'stve i tekhnike. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh 15-17 oktyabrya 2014 goda. Tomsk, Rossiya. 2014. Russian.
7. Kuznetsov DM, Smirnov AN, Syroeshkin AV. Akusticheskaya emissiya pri fazovykh prevrashcheniyakh v vodnoy srede. Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2008;52(1):114-21. Russian.
8. Laptev BI, Sidorenko GN, Gorlenko NP, Sarkisov YS, Antoshkin LV. Protsessy strukturoobrazovaniya v vode i vodnykh rastvorakh. Voda i ekologiya. Problemy i resheniya. 2012;2/3:26-33. Russian.
9. Laptev BI, Sidorenko GN, Gorlenko NP, Sarkisov YS. Vliyanie nagrevaniya i kontsentratsii rastvorov na protsessy strukturoobrazovaniya v vode i vodnykh rastvorakh. Voda i ekologiya. Problemy i resheniya. 2012;4:43-50. Russian.

10. Laptev BI, Sidorenko GN, Gorlenko NP, Sarkisov YS, Antoshkin LV, Kul'chenko AK. Sovremennye elektrofizicheskie metody issledovaniy struktury vody i vodnykh rastvorov. Voda i ekologiya. Problemy i resheniya. 2014;3:21-32. Russian.

11. Laptev BI, Sidorenko GN, Gorlenko NP, Sarkisov YS, Antoshkin LV, Kul'chenko AK. Elektricheskie svoystva vody pri vneshnikh vozdeystviyakh. Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie. 2014;9:20-7. Russian.

12. Laptev BI, Sidorenko GN, Antoshkin LV. Otsenka struktury vody s ispol'zovaniem termometrii i elektrofizicheskikh metodov issledovaniya. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;1:151-7. Russian.

13. Levitskiy EF, Laptev BI, Sidorenko GN. Elektromagnitnye polya v kurortologii i fizioterapii. Tomsk; 2000. Russian.

14. Levitskiy EF, Laptev BI, Sidorenko GN Ispol'zovanie metoda dielektrometrii dlya otsenki struktury pit'evykh i mineral'nykh vod. Fizioterapevt. 2013;5:3-8. Russian.

15. Farashchuk NF. Voda – strukturnaya osnova adaptatsii. Moscow-Smolensk; 2004. Russian.

Библиографическая ссылка:

Сидоренко Г.Н., Лаптев Б.И., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. Возможности электрофизических методов исследования и термометрии для оценки структуры водосодержащих сред (растворов, растительных и животных объектов) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №2. Публикация 7-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/7-3.pdf> (дата обращения: 12.05.2016). DOI: 10.12737/20078.