

ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ВБЛИЗИ ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Сидоренко Галина Николаевна

*канд. биол. наук, директор Nove tehnologije d.o.o.,
Ljubljana, Slovenija.*

Горленко Николай Петрович

*докт. техн. наук, профессор
Томского государственного архитектурно-строительного университета,
г. Томск, РФ.*

Лаптев Борис Иннокентьевич

*докт. биол. наук, профессор,
руководитель развития Nove tehnologije d.o.o.,
Ljubljana, Slovenija.*

EVALUATION OF THE FEATURES OF THE STRUCTURE OF WATER AND AQUEOUS SOLUTIONS NEAR A SOLID SURFACE

Sidorenko Galina Nikolaevna

*Cand. Biol. sci., Director of Nove tehnologije d. o. o.,
Ljubljana, Slovenija.*

Gorlenko Nikolai Petrovich

*Dr. tech. Sci.,
Prof. of Tomsk State University of Architecture and Building,
Tomsk, Russia.*

Laptev Boris Innokentievich

*Dr. Biol. Sci., Prof.,
Head of Development Nove tehnologije d. o. o.,
Ljubljana, Slovenija.*

Аннотация. В работе проведена оценка изменений структуры воды и водных растворов хлоридов натрия в пристеночном слое на основе диэлектromетрии и корреляционного анализа. Показано, что при уменьшении расстояния до твердой поверхности происходит многократное нелинейное уменьшение электрической емкости и нелинейное изменение параметра Sr, характеризующего величину изменения электрической емкости жидкости проводимости при изменении расстояния до твердой поверхности. Используются в работе параметры (электрическая емкость жидкостей и Sr) могут быть использованы для оценки изменения структурной организации водных растворов в пристеночном (пограничном) слое и интерпретации процессов, протекающих в слое жидкости на границе раздела фаз «твердое тело – водный раствор».

Annotation. The paper evaluates changes in the structure of water and aqueous solutions of sodium chloride in the wall layer on the basis of dielectrometry and correlation analysis. It is shown that when the distance to the solid surface decreases, there is a multi-fold nonlinear decrease in the electrical capacitance and a nonlinear change in the Sr parameter, which characterizes the magnitude of the change in the electrical capacitance of the conduction fluid when the distance to the solid surface changes. The parameters used in the work (electric capacity of liquids and Sr) can be used to evaluate the changes in the structural organization of aqueous solutions in the wall (boundary) layer and to interpret the processes occurring in the liquid layer at the interface of the solid – aqueous solution phases.

Ключевые слова: электрическая емкость, вода, структура воды, водные растворы.

Keywords: electric capacity, water, water structure, aqueous solutions.

В настоящее время в науке и обществе повышен интерес к изучению воды и водосодержащих систем, их физико-химических и биологических свойств, которые изменяются под влиянием различных воздействий, включая воздействие твердых поверхностей (вода пограничного слоя) [1-4].

Современный взгляд на структуру воды заключается в том, что в воде существует сложная структурная организация, образованная молекулами, соединенными водородными связями [1,2,5], а структура водного раствора определяется взаимодействиями, осуществляемыми в растворе между атомами, ионами и молекулами [5,6]. При этом в воде и ее растворах происходит непрерывное образование и разрушение ассоциатов молекул воды – кластеров [2,7,8]. Кластер воды минимального размера состоит из 6 молекул [9]. Гигантские

гетерофазные кластеры воды (ГКВ) имеют размер до 100 мкм [2,7,8], а время их жизни составляет от 10^{-11} секунды до 1 секунды и более.

Показано, что размеры кластеров воды зависят от температуры [7,10], концентрации растворов [5], воздействия магнитного поля [10], и других факторов.

Известно, что молекулы воды находятся в непрерывном тепловом движении. В этом случае при изучении структуры воды и водных растворов говорить о конкретном положении отдельных молекул (диполей) воды относительно друг друга можно в интервале времени менее 10^{-13} секунд. Важно отметить, что при постоянных термодинамических условиях структура воды воспроизводится. Это позволяет при использовании неразрушающих методов исследования при различных воздействиях оценивать структуру воды, обусловленную изменением соотношения и подвижности «свободных» диполей воды, диполей воды, находящихся в кластерах воды, в гидратных образованиях ионов и т.д. [11].

С учетом этого, в последние годы на основе новых конструкций емкостных измерительных ячеек разработан новый и практически легко реализуемый подход к оценке структуры воды и водосодержащих систем на основе измерений сверхмалых плотностей реактивных токов (от 10 нА/см^2 до 100 нА/см^2 на различных частотах (от 100 Гц до десятков мГц) [12-15].

Этот подход является единственным из известных способов, который позволяет оценивать влияние подвижности «свободных» (более подвижных диполей воды) и «связанных» в различных образованиях диполей воды на величину реактивного тока при разных частотах через исследуемые объекты и, соответственно, оценивать структуру (структурированность уровень организованности) воды и водных растворов в исследуемых объектах.

В последние годы появились работы, в которых показано, что слой воды толщиной приблизительно 300 мкм, который находится вблизи твердой поверхности (вода пограничного слоя), отличается по своим свойствам от остальной воды («объемной» воды) [3,4,14,15]. В частности, в пограничном (пристеночном) слое изменяется электропроводность воды, ее теплоемкость и т.д. Отличия физических свойств пограничной и объемной воды нелинейно возрастают при приближении к поверхности и обусловлены, очевидно, влиянием материала поверхности, формирующей пограничный слой. Кроме того, показано, что вода пограничного слоя обладает повышенной биологической активностью [3,4].

Учитывая это, изучение структурных особенностей и свойств воды пристеночного слоя представляет теоретический и практический интерес.

Цель работы: оценка особенностей структуры воды и водных растворов хлоридов натрия вблизи твердой поверхности с использованием диэлектromетрии и параметра S_r .

Методы исследования.

В опытах исследованы дистиллированная вода с проводимостью от 1.2 до 2.0 мкСм/см, а также водные растворы хлорида натрия в концентрациях $1.0 \cdot 10^{-2} \text{ М}$ и $1.5 \cdot 10^{-1} \text{ М}$ при температуре 20 °С. Исследуемую жидкость помещают в измерительную ячейку (рис.1).

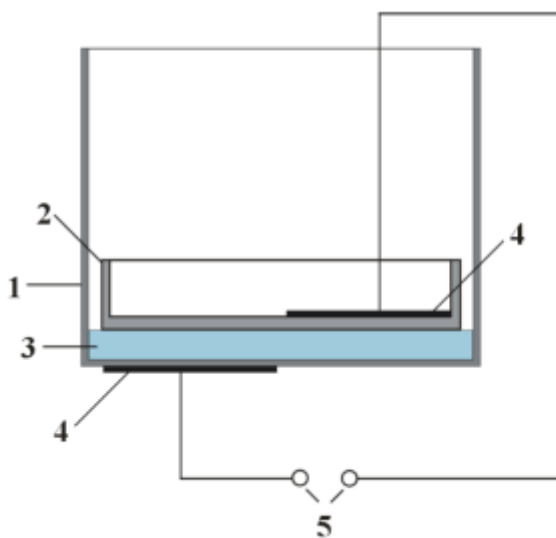


Рис. 1. Схема измерительной ячейки для оценки структуры воды и водных растворов в пристеночном слое. 1 – стеклянная емкость с плоским дном для исследуемых жидкостей; 2 – вторая стеклянная емкость с плоским дном; 3 – исследуемая жидкость; 4 – обкладки конденсатора; 5 – клеммы для подключения сигнала от генератора синусоидальных колебаний.

Для создания тонкого слоя жидкости в первую емкость (1) вкладывают вторую стеклянную емкость (2) также с плоским дном, а исследуемая жидкость (3) находится между двумя стеклянными поверхностями емкостей. Для уменьшения влияния на параметры жидкостей материалов различной природы измерительная ячейка изготовлена из одного листа стекла.

Одна обкладка конденсатора (4) из немагнитного материала площадью 36 см^2 расположена под дном первой емкости, а вторая обкладка конденсатора (4) площадью 36 см^2 из немагнитного материала расположена на дне второй емкости. При этом, обкладки конденсатора на измерительной ячейке смещены относительно друг друга в параллельных плоскостях и не имеют поверхности, расположенной напротив друг друга.

Такая конструкция измерительной ячейки позволяет увеличить динамический диапазон изменения реактивного тока при различных воздействиях. Вследствие этого, становится возможным (после вычитания электрической емкости измерительной ячейки без жидкостей) регистрировать малые изменения электрической емкости жидкостей, добротности колебательного контура и, соответственно, оценивать структуру воды и водосодержащих систем.

В работе исследованы дистиллированная вода и растворы с высотой слоя 10 мкм, 20 мкм, 30 мкм, 50 мкм, 150 мкм, 1000 мкм, 2000 мкм, 5000 мкм, 10000 мкм, 20000 мкм, 50000 мкм и 100000 мкм. Детали методики описаны ранее [12.13].

Напряжение к измерительным ячейкам подается от генератора синусоидальных колебаний AFG 2025, сигнал с ячеек усиливается инструментальным усилителем на основе микросхемы AD8067 и измеряется на осциллографе PDS5022S.

Величина напряжения генератора синусоидальных колебаний, подводимого к измерительной ячейке, уменьшается обратно пропорционально его частоте. Это, во-первых, обеспечивает постоянную (эталонную) величину тока через измерительную ячейку при разных частотах генератора в случае подключения между обкладками конденсатора ячейки эталонного конденсатора. Во-вторых, уменьшается зависимость плотности тока через измерительную ячейку от его частоты, что снижает влияние величины реактивного тока на структуру жидкостей.

При измерении электрической емкости жидкостей частота тока, подводимого к обкладкам конденсатора, изменяется от 1 кГц до 10 мГц. Плотность тока на обкладках конденсатора при измерении емкости (включая частоту 10 мГц) не превышает 60 нА/см^2 . Детали методики описаны ранее [12-15].

Результаты эксперимента и их обсуждение.

При температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ максимальная величина электрической емкости дистиллированной воды наблюдалась на частоте 1 кГц и высоте слоя жидкости 20000 мкм (рис. 2).

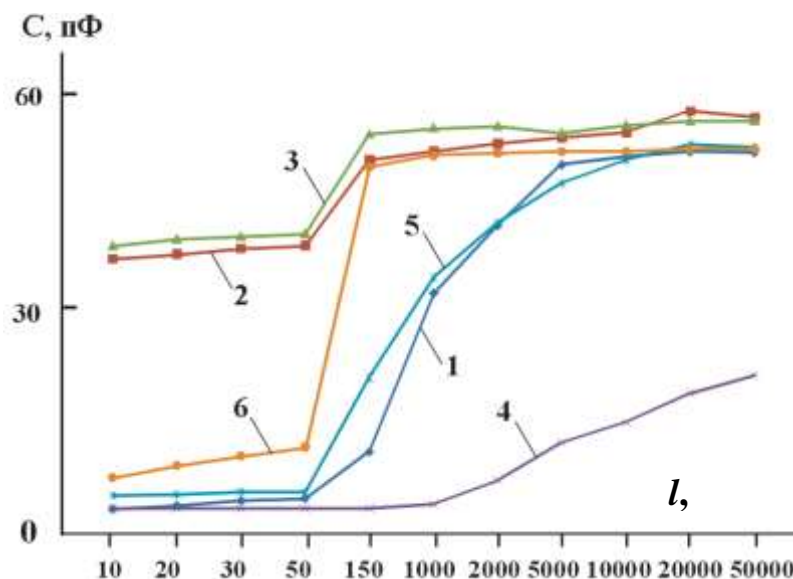


Рис. 2. Зависимость электрической ёмкости (C , пФ) дистиллированной воды (1,4), $1 \cdot 10^{-2} \text{ M}$ водного раствора хлорида натрия (2,5) и $1.5 \cdot 10^{-1} \text{ M}$ водного раствор хлорида натрия (3,6) от высоты слоя (l) при различных частотах реактивного тока: 1,2,3 – 1 кГц; 4,5,6 – 1000 кГц.

С повышением частоты реактивного тока значения электрической емкости при этой высоте выражено снижались до частоты 100 кГц и составили при частотах 10 кГц, 30 кГц, 100 кГц 76%, 46% и 37% соответственно ($P < 0,001$). При больших частотах реактивного тока дальнейшее снижение электрической

емкости дистиллированной воды не наблюдалось. Эти результаты согласуются с полученными ранее данными и, очевидно, обусловлены тем, что в дистиллированной воде её молекулы достаточно прочно связаны между собой в ассоциаты, что затрудняет повороты диполей воды при повышении частоты реактивного тока.

При уменьшении высоты слоя дистиллированной воды от 20000 мкм до 10 мкм её электрическая емкость на всех частотах монотонно снижалась на 95-98 %. При уменьшении высоты слоя дистиллированной воды от 1000 мкм до 150 мкм её электрическая емкость при частоте 1 кГц снижалась на 71 %, а при частоте 100 кГц – на 35 %. При дальнейшем снижении высоты слоя дистиллированной воды от 150 мкм до 50 мкм её электрическая емкость при частотах 1 кГц уменьшалась на 73 % ($P < 0,001$), а при частоте реактивного тока 100 кГц практически не изменялась.

Такая динамика величины значений электрической емкости дистиллированной воды при снижении высоты слоя жидкости обусловлена, очевидно, влиянием твердой поверхности, которое начинает отмечаться при высоте слоя раствора менее 20000 мкм. Поскольку слой исследуемой жидкости находится между двумя твердыми поверхностями из стекла, то при используемой методике измерений влияние твердой поверхности на дистиллированную воду начинает отмечаться на расстоянии 10000 мкм от поверхности стекла.

Максимальная величина электрической емкости раствора хлорида натрия с концентрацией $1.0 \cdot 10^{-2}$ М наблюдалась также, как и в опытах с дистиллированной водой, на частоте 1 кГц и высоте слоя жидкости 20000 мкм.

С повышением частоты реактивного тока электрическая емкость при этой высоте также снижалась, но менее выражено, чем в опытах с дистиллированной водой. Так, при частоте до 100 кГц она уменьшалась на 5% ($P < 0.001$), но при частоте 10000 кГц это снижение было более выражено (на 38%).

При уменьшении высоты слоя $1.0 \cdot 10^{-2}$ М раствора хлорида натрия от 20000 мкм до 10 мкм его электрическая емкость на всех частотах монотонно снижалась, но в меньшей степени, чем в опытах с дистиллированной водой (на 37% при частоте 1 кГц и на 92% при частоте 10000 кГц).

Следует отметить, что снижение электрической емкости было более выражено при снижении высоты слоя раствора от 150 мкм до 50 мкм. Так, при уменьшении высоты слоя дистиллированной воды от 1000 мкм до 150 мкм электрическая емкость $1.0 \cdot 10^{-2}$ М раствора хлорида натрия при частоте 1 кГц практически не снижалась, а при дальнейшем снижении высоты слоя дистиллированной воды от 150 мкм до 50 мкм его электрическая емкость при частотах 1 кГц, 100 кГц и 10000 кГц уменьшалась на 24%, 84% и 64% соответственно ($P < 0.001$).

Полученные в опытах с $1.0 \cdot 10^{-2}$ М раствором хлорида натрия результаты свидетельствуют о том, что влияние твердой поверхности на этот раствор выражено проявляется при высоте слоя раствора менее 150 мкм (или при расстоянии менее 75 мкм до твердой поверхности).

В опытах с $1.5 \cdot 10^{-1}$ М раствором хлорида натрия (физиологический раствор) при уменьшении высоты слоя от 100000 мкм до 10 мкм снижение его электрической емкости (также, как и в опытах с сантимолярным раствором хлорида натрия) было более выражено при снижении высоты слоя раствора от 150 мкм до 50 мкм (рис. 2). При этом электрическая емкость $1.5 \cdot 10^{-1}$ М раствора хлорида натрия при частотах 1 кГц, 100 кГц и 10000 кГц уменьшалась на 26%, 35% и 74% соответственно ($P < 0.001$).

Далее для оценки влияния твердой поверхности на структуру жидкостей был использован предложенный нами параметр Sr (рис.3), который рассчитывался по формуле:

$$Sr = \frac{C_i - C_{i-1}}{l_i - l_{i-1}} \cdot 10, \text{ где}$$

Sr - параметр, характеризующий величину изменения электрической емкости жидкости при изменении расстояния до твердой поверхности (в пФ/мкм), C_i и C_{i-1} – значения электрических ёмкостей жидкостей на расстояниях i и $i-1$ (в пФ) до твердой поверхности; l_i и l_{i-1} - значения высот слоя жидкостей (в мкм).

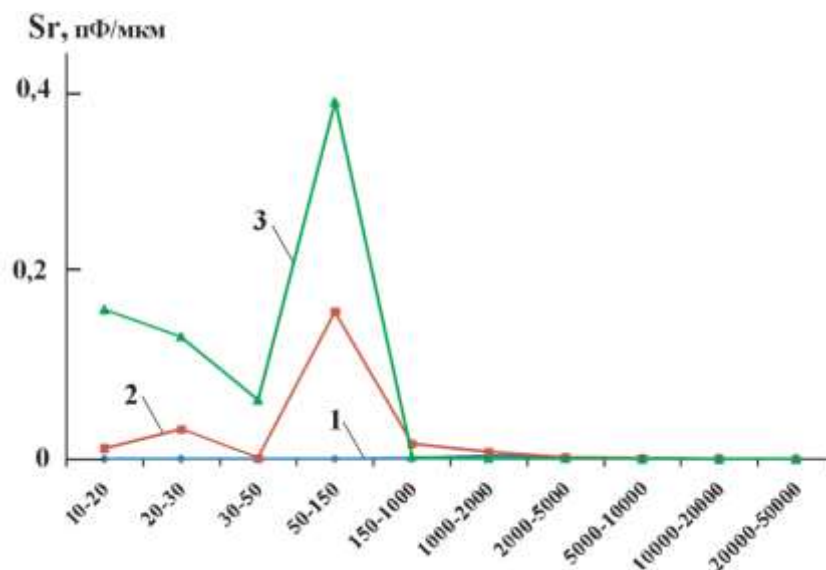


Рис. 3. Зависимость параметра (Sr , пФ/мкм) от высоты слоя водного раствора соли при частоте реактивного тока 1000 кГц. 1 – дистиллированная воды; 2 – $1.0 \cdot 10^{-2}$ М раствор хлорида натрия; 3 – $1.5 \cdot 10^{-1}$ М раствор хлорида натрия.

В проведенном исследовании оказалось, что при уменьшении высоты слоя дистиллированной воды от 50000 мкм до 10 мкм величина параметра Sr изменялась от 0 пФ/мкм до 0.0033 пФ/мкм. При этом максимальное значение Sr было при высоте слоя в интервале от 1000 мкм до 2000 мкм. При уменьшении высоты слоя $1.0 \cdot 10^{-2}$ М раствора хлорида натрия от 50000 мкм до 10 мкм величина параметра Sr изменялась от 0 пФ/мкм до 0.161 пФ/мкм. При этом максимальное значение Sr было в интервале от 50 мкм до 150 мкм. При большей концентрации раствора ($1.5 \cdot 10^{-1}$ М) величина Sr в этом диапазоне высот слоя жидкости изменялась от 0 пФ/мкм до 0,395 пФ/мкм, а максимальное значение Sr было также при высоте слоя жидкости в интервале от 50 мкм до 150 мкм.

Интересно также отметить, что коэффициент линейной корреляции между изменением на различных частотах электрической емкости дистиллированной воды на расстоянии до твердой поверхности 50000 мкм и изменением на различных частотах электрической емкости $1.0 \cdot 10^{-2}$ М раствора хлорида натрия появлялся лишь при уменьшении расстоянии до твердой поверхности 25 мкм.

Другими словами, пристеночном слое структурированность дистиллированной воды возрастает. При этом, ранее было показано, что при повышении концентрации раствора хлорида натрия происходит разрушение структуры раствора, сопровождающееся повышением подвижности диполей воды [5,12,13]. В пристеночном же слое структурированность растворов возрастает с максимумом в интервале от 50 мкм до 150 мкм, но формируется другая структура, которая сопровождается замедлением подвижности диполей воды.

Таким образом, полученные в работе данные с использованием диэлектromетрии свидетельствуют о том, что в пристеночном слое происходит многократное снижение значений электрической ёмкости дистиллированной воды и водных растворов хлорида натрия с концентрациями $1.0 \cdot 10^{-2}$ М и $1.5 \cdot 10^{-2}$ М. При этом, более выраженные изменения электрических параметров наблюдаются на расстоянии от твердой поверхности менее 10000 мкм для дистиллированной воды, и менее 75 мкм для водных растворов хлорида натрия.

Поскольку величина изменения подвижности диполей в пристеночном слое свидетельствует о выраженности изменения структурированности воды и водосодержащих систем, то можно заключить, что в пристеночном слое происходит повышение структурированности воды и водно-солевых растворов, которое, с учетом полученных ранее данных [12-16], нелинейно зависит от расстояния до твердой поверхности, концентрации растворов, природы растворенного вещества и материала поверхности.

Отмеченное выше снижение подвижности диполей воды вблизи твердой поверхности на расстоянии менее 50 мкм может иметь место также в организме вблизи клеточных мембран (снаружи и внутри клеток, имеющих диаметр от 10 до 100 мкм). Известно, что связанная в углеводородной зоне мембран вода обладает наименьшей подвижностью [17]. Возможно, что в этом случае вблизи мембран (на расстоянии менее 5 мкм) подвижность диполей воды будет ограничена по частоте до 30 кГц. Не исключено, также, что структурирующий эффект вблизи твердой поверхности, изменяющий молекулярную организацию различных водосодержащих систем, может являться одним из механизмов каталитического процесса вблизи мембран (особенно для мембраносвязанных ферментов в биологических объектах).

Выводы

1. Электрическая ёмкость дистиллированной воды и водных растворов хлорида натрия при уменьшении расстояния до стеклянной поверхности от 10000 мкм до 10 мкм (для дистиллированной воды при частотах реактивного тока от 1 кГц до 100 кГц) и от 75 мкм до 10 мкм (для $1.0 \cdot 10^{-2}$ М и $1.5 \cdot 10^{-1}$ М водных растворов хлорида натрия при частотах реактивного тока от 100 кГц до 10000 кГц) многократно снижается. При этом коэффициент Sr , позволяющий оценивать изменение структуры воды и водосодержащих систем, имеет максимальные значения для дистиллированной воды в интервале от 1000 мкм до 2000 мкм, а для $1.0 \cdot 10^{-2}$ М $1.5 \cdot 10^{-1}$ М раствор хлорида натрия максимальные значения Sr в находятся интервале от 50 мкм до 150 мкм.

2. Указанная выше динамика электрических параметров воды и водных растворов хлорида натрия в пристеночном слое, очевидно, свидетельствует об уменьшении подвижности диполей и, соответственно, о повышении структурированности воды и водосодержащих систем вблизи твердой поверхности.

3. Снижение электрической ёмкости водных растворов в пристеночном слое нелинейно зависит от расстояния до твердой поверхности, а также от концентрации растворов, природы растворенного вещества и материала поверхности.

4. Метод диэлектromетрии может быть использованы для оценки изменения структурной организации водных растворов в пристеночном (пограничном) слое и интерпретации процессов, протекающих в слое жидкости на границе раздела фаз «твердое тело – водный раствор».

Список литературы

1. Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В. Супранадмолекулярные комплексы воды //Российский химический журнал. 2004. Т.48. № 2. С.125–135.

2. Фаращук Н.Ф. Вода – структурная основа адаптации. – Москва-Смоленск. 2004. 172 с.

3. Постнов С.Е., Подчерняева Р.Я., Мезенцева М.В. и др. Необычные свойства воды пограничного слоя //Вестник российской академии естественных наук. 2009/3. С. 12–15.

4. Постнов С.Е., Мезенцева М.В., Подчерняева Р.Я. и др. Новые подходы в биомедицинской технологии на основе воды пограничного слоя //Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. Т.1. С. 3–15.

5. Успенская Е.В. Изучение структуры воды на супрамолекулярном уровне для разработки новых методов стандартизации и контроля качества минеральных вод и жидких лекарственных форм //Автореф. дис. канд. хим. наук. – М. 2007. 27 с.

6. Сыроешкин А.В., Смирнов А.Н., Гончарук В.В. и др. Вода как гетерогенная структура //Электронный журнал «Исследовано в России». 2006. С. 843–854. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/088.pdf>.

7. Гончарук, В.В., Смирнов В.Н., Сыроешкин А.В. и др. Кластеры и гигантские гетерофазные кластеры воды //Химия и технология воды. 2007. Т. 29. №1. С. 3–17.

8. Ho M-W. Large Supramolecular Water Clusters Caught on Camera - A Review //Water. 2013. Т.6. Р. 1–12.

9. Michaelides A., Morgenstern K. Ice nanoclusters at hydrophobic metal surfaces //Nature Materials. 2007. Т.6. Р. 597–601.

10. Гончарук В.В., Орехова Е.А., Маляренко В.В. Влияние температуры на кластеры воды //Химия и технология воды. 2008. Т.30. № 2. С.150–158.

11. Левицкий Е.Ф., Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Иванова Т.Г., Горленко Н.П., Антошкин Л.В. Роль изменения структуры воды и водосодержащих систем в механизме комплексного воздействия магнитного поля и природных лечебных факторов (обзор) //Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2018.Т. 95. № 2. С.43–50.

12. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Кульченко А.К., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. Оценка структуры воды и водных растворов хлорида натрия с использованием диэлектromетрии и резонансного метода //Вестник ТГАСУ, Томск. 2013. №2. С. 235–244.

13. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. Оценка структуры воды и водных растворов при внешних воздействиях //Вестник новых медицинских технологий. 2015. № 2. С. 88–97.

14. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. Оценка изменений структуры водных растворов в пристеночном слое с использованием диэлектromетрии и резонансного методов //Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2015. № 4. С. 20–25.

15. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. Оценка изменений структуры водных растворов в пристеночных слоях с использованием диэлектromетрии и резонансного методов //Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. № 2. Публикация 2-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/>

16. Сидоренко Г.Н., Лаптев Б.И., Горленко Н.П., Антошкин Л.В. Оценка структуры питьевых и минеральных вод с использованием метода диэлектromетрии //Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2018. № 9. С. 48–52.

17. Улащик В. С. Элементы молекулярной физиотерапии. – Минск: Беларуская навука. 2014. 257 с.

References

1. Smirnov A. N., Syroeshkin A.V. Supranadmolecular complexes of water //Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2004. V. 48. No 2. Pp. 125–135. (in Russian).
2. Farashchuk N. F. Water-the structural basis of adaptation. – Moscow-Smolensk. 2004. 172 p.
3. Postnov S. E., Podchernyaeva R. Ya., Mezentseva M. V., etc. Unusual properties of boundary layer water // Vestnik rossiyskoy akademii estestvennykh nauk. 2009/3. Pp. 12–15. (in Russian).
4. Postnov S. E., Mezentseva M. V., Podchernyaeva R. Ya., etc. New approaches in biomedical technology based on boundary layer water //Biomedicinskaya radioelektronika. 2009. V. 1. Pp. 3–15. (in Russian).
5. Uspenskaya E. V. Studying the structure of water at the supramolecular level for the development of new methods of standardization and quality control of mineral waters and liquid dosage forms //Avtoref. dis. kand. him. nauk. – M. 2007. 27 p. (in Russian).
6. Syroeshkin A.V., Smirnov A. N., Goncharuk V. V., etc. Water as a heterogeneous structure //Elektronnyj zhurnal «Issledovano v Rossii». 2006. Pp. 843–854. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/088.pdf>. (in Russian).
7. Goncharuk V. V., Smirnov V. N., Syroeshkin A.V., etc. Clusters and giant heterophase clusters of water //Himiya i tekhnologiya vody. 2007. V. 29. No. 1. Pp. 3–17. (in Russian).
8. Ho M-W. Large Supramolecular Water Clusters Caught on Camera - A Review //Water. 2013. V. 6. Pp. 1-12.
9. Michaelides A., Morgenstern K. Ice nanoclusters at hydrophobic metal surfaces //Nature Materials. 2007. V. 6. Pp. 597-601.
10. Goncharuk V. V., Orekhova E. A., Malyarenko V. V. Influence of temperature on water clusters // Himiya i tekhnologiya vody. 2008. V. 30. No 2. Pp. 150–158. (in Russian).
11. Levitsky E. F., Laptev B. I., Sidorenko G. N., Ivanova T. G., Gorlenko N. P., Antoshkin L. V. The role of changes in the structure of water and water-containing systems in the mechanism of complex influence of the magnetic field and natural therapeutic factors (review) //Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury. 2018. T. 95. No 2. Pp. 43–50. (in Russian).
12. Laptev B. I., Sidorenko G. N., Gorlenko N. P., Kulchenko A. K., Sarkisov Yu. S., Antoshkin L. V. Evaluation of the structure of water and aqueous solutions of sodium chloride using dielectrometry and the resonance method //Vestnik TGASU, Tomsk. 2013. No 2. Pp. 235–244. (in Russian).
13. Laptev B. I., Sidorenko G. N., Gorlenko N. P., Sarkisov Yu. S., Antoshkin L. V. Assessment of the structure of water and aqueous solutions under external influences // Vestnik novykh medicinskih tekhnologij. 2015. No 2. Pp. 88–97. (in Russian).
14. Laptev B. I., Sidorenko G. N., Gorlenko N. P., Sarkisov Yu. S., Antoshkin L. V. Evaluation of changes in the structure of aqueous solutions in the wall layer using dielectrometry and resonance methods //Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie. 2015. No 4. pp. 20–25. (in Russian).
15. Laptev B. I., Sidorenko G. N., Gorlenko N. P., Sarkisov Yu. S., Antoshkin L. V. Evaluation of changes in the structure of aqueous solutions in wall layers using dielectrometry and resonance methods //Vestnik novykh medicinskih tekhnologij. Elektronnoe izdanie. 2015. No 2. Publication 2-9. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/> (in Russian).
16. Sidorenko G. N., Laptev B. I., Gorlenko N. P., Antoshkin L. V. Evaluation of the structure of drinking and mineral waters using the method of dielectrometry //Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie. 2018. No 9. Pp. 48–52. (in Russian).
17. Ulashchik V. S. Elements of molecular physiotherapy.–Minsk: Belaruskaya navuka. 2014. 257 p. (in Russian).