

УДК 546.212

ЛАПТЕВ БОРИС ИННОКЕНТЬЕВИЧ, докт. биол. наук, профессор,
bornovo@gmail.com

СИДОРЕНКО ГАЛИНА НИКОЛАЕВНА, канд. биол. наук, доцент,
bornovo@gmail.com

Nove tehnologije d. o. o.,

Словения, Люблюна, Легатова, 2, 1000

ГОРЛЕНКО НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,

Gorlen52@mail.ru

КУЛЬЧЕНКО АНТОН КОНСТАНТИНОВИЧ, аспирант,

antonhimik@mail.ru

Сургутский государственный университет,

628412, г. Сургут, пл. Ленина, 1

САРКИСОВ ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, профессор,

yu-s-sarkisov@yandex.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет,

634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

АНТОШКИН ЛЕОНИД ВЛАДИМИРОВИЧ, ст. научный сотрудник,

Институт оптики атмосферы СО РАН,

634021, г. Томск, пр. Академический, 1

ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИЭЛЕКТРОМЕТРИИ И РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДА

Показано, что при температуре 20 °С с увеличением частоты реактивного тока от 1 до 300 кГц электрическая емкость дистиллированной воды многократно снижается. При повышении концентрации водных растворов NaCl их электрическая ёмкость, по сравнению с ёмкостью дистиллированной воды, многократно возрастает сначала на низких (10–30 кГц), а затем на более высоких (100–300) кГц частотах. Добротность колебательного контура при этом на частоте 10 кГц монотонно возрастает, а на частотах 30 и 100 кГц первоначально снижается, но возрастает при дальнейшем увеличении концентрации растворов NaCl до $1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ М. Предположено, что указанные изменения в дистиллированной воде обусловлены наличием в ней взаимосвязанных ассоциатов. Изменения же в растворах NaCl зависят от соотношения количества и размеров ассоциатов воды и степени гидратации ионов. Предложенный резонансный метод может быть использован для характеристики процессов, протекающих в вязких системах при введении химических добавок.

Ключевые слова: структура воды; структура водных растворов; гидратация ионов.

BORIS I. LAPTEV, Dr. Tech. Sc., Prof.,

bornovo@gmail.com

GALINA N. SIDORENKO, Ph.D., Assoc. Prof.,

bornovo@gmail.com

Nove tehnologije d. o. o.,

Legatova 2, 1000, Ljubljana, Slovenija
NIKOLAY P. GORLENKO, Dr. Tech. Sc., Prof.,
Gorlen52@mail.ru
ANTON K. KULCHENKO, P.G.,
antonhimik@mail.ru
Surgut State University,
1 Lenin sq., Surgut, 628412, Russia
YURI S. SARKISOV, Dr. Tech. Sc., Prof.,
Yu-s-sarkisov@yandex.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2 Solyanaya sq., Tomsk, 634003, Russia
LEONID V. ANTOSHKIN, senior researcher.
1 Akademichesky avenue, Tomsk, 634021, Russia

EVALUATION OF WATER STRUCTURE AND AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM CHLORIDE USING DIELECTROMETRY AND RESONANCE METHOD

It is shown, that at temperature 20 °C with augmentation of frequency of a reactive current from 1 up to 300 kHz the electric capacity of the distilled water repeatedly decreases. At rising the concentration of NaCl aqueous solutions their electric capacity, in comparison with the distilled water capacity, repeatedly increases at first on low (10–30 kHz), and then on higher frequencies (100–300 kHz). Q-factor of an oscillating circuit on a frequency of 10 kHz monotonously increases, and on frequencies 30 and 100 kHz at first decrease, but increases at the further augmentation of concentration of NaCl solutions up to $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$ M. It is assumed, that the specified changes in the distilled water are caused by the presence of interconnected clusters in it. Changes in NaCl solutions depend on a ratio of quantity and the sizes of clusters of waters and degrees of ions hydrations. The proposed resonance method can be used to describe processes in the binder systems with the introduction of chemical additives.

Key words: water structure; the structure of aqueous solutions; hydration of ions.

Известно, что введение химических добавок в небольших концентрациях относится к одному из эффективных способов воздействия на физико-химические свойства вяжущих оксидных систем [1, 2], способных приводить к таким изменениям, которые сравнимы с мощными энергетическими воздействиями. Механизм их действия является неоднозначным. Например, в цементных композициях наблюдаемый эффект может быть вызван следующими основными причинами [3].

1. Взаимодействием химических добавок с алюминатными и железосодержащими фазами цемента, например, за счет образования двойных солей типа $3\text{Ca}(\text{OH})_2\text{Ca}(\text{C}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, этtringита, что приводит к ускорению процессов гидратации и изменению соотношения фаз (C_4AH_{13} , C_3AH_6 , C–S–H).

2. Образованием пористых гидросиликатов состава C–S–H с низким отношением C/S.

3. Активацией поверхности фазы за счет образования продуктов сорбции и проявлением каталитического действия.

4. Изменением кинетики диффузионных процессов при коагуляции и полимеризации гидросиликатов.

5. Изменением рН среды, а следовательно, и смещением равновесия в процессах гидратации, растворения и гидролиза.

6. Сокращением или увеличением сроков схватывания цемента.

Следует отметить, что ни одна из перечисленных гипотез не дает исчерпывающего объяснения механизму действия химической добавки, и необходимо учитывать всю совокупность процессов, общий вклад которых зависит от условий эксперимента. При этом особую роль, несомненно, играют структурные особенности воды и водных растворов [4].

При изучении структурных особенностей воды и водных растворов, находящихся над обкладками конденсатора, нами было показано, что при увеличении частоты реактивного тока в диапазоне от 1 до 300 кГц электрическая емкость дистиллированной воды многократно снижается. Электрическая же емкость водных растворов NaCl, KCl, CaCl₂ и MgCl₂, по сравнению с дистиллированной водой, возрастает пропорционально увеличению их концентрации. Изменения добротности колебательного контура при этом носят двухфазный характер. Так, на частоте 30 кГц при концентрации растворов 10⁻⁴–10⁻³ М и 100 кГц при концентрации растворов 10⁻⁴–10⁻² М добротность многократно снижается, но многократно повышается при большей концентрации растворов [Там же].

На основании полученных результатов, проведенных расчетов и известных литературных данных [4–20] было предположено, что при температуре 20 °С снижение электрической емкости дистиллированной воды при увеличении частоты тока обусловлено существованием в воде ассоциатов молекул (структурных образований – кластеров) и проявлением сил взаимодействия между ними. Многократное же увеличение емкости растворов солей обусловлено процессами деассоциации кластеров воды и гидратации ионов. Двухфазный характер изменения добротности контура может свидетельствовать о том, что при малых концентрациях растворов солей (10⁻⁴–10⁻³ М) на частотах 30 и 100 кГц происходит формирование структурных элементов, ограничивающих подвижность диполей на этих частотах. При дальнейшем повышении концентрации растворов солей до 10⁻²–10⁻¹ М происходит изменение структурных образований, приводящее к возрастанию подвижности диполей воды.

Цель работы: исследование структурных особенностей дистиллированной воды и растворов хлорида натрия путем измерения их электрической емкости в диапазоне частот от 1 до 300 кГц, а также измерения добротности колебательного контура при резонансных частотах 10, 30 и 100 кГц при нахождении жидкостей между обкладками конденсатора.

В опытах использована дистиллированная вода, водный раствор хлорида натрия в концентрациях от 10⁻⁶ до 10⁻² М при температуре жидкостей 20 °С.

Измерительная ячейка (рис. 1) включает в себя цилиндрический стеклянный сосуд диаметром 12 см, в который наливают исследуемые жидкости в количестве 2 л, а также две обкладки конденсатора из немагнитного материала (площадью 290 см² каждая), находящиеся на противоположных сторонах сосуда.

Установка для измерения параметров жидкостей позволяет регистрировать изменение электрической емкости жидкостей (по изменению величины

реактивного тока через них и после вычитания из общей емкости конденсатора емкости измерительной ячейки без жидкости) и определять добротность колебательного контура, образованного переменной индуктивностью и конденсатором при нахождении жидкостей между его пластинами. Напряжение к измерительной ячейке подается от генератора синусоидальных колебаний FSG-2007, сигнал с ячейки усиливается инструментальным усилителем на основе микросхемы INA 217 и измеряется на осциллографе PDS5022S. Величину индуктивности определяют с помощью прибора LCR-9063.

При измерении электрической емкости дистиллированной воды и водных растворов частота тока, подводимого к пластинам конденсатора, составляет 1, 3, 10, 30, 100 и 300 кГц, плотность тока на электродах не превышает 10 нА/см^2 . При этом величина напряжения генератора, подводимого к измерительной ячейке, обратно пропорциональна его частоте. Это позволяет уменьшить зависимость плотности тока через измерительную ячейку от его частоты и снизить напряженность поля в жидкостях пропорционально частоте тока.

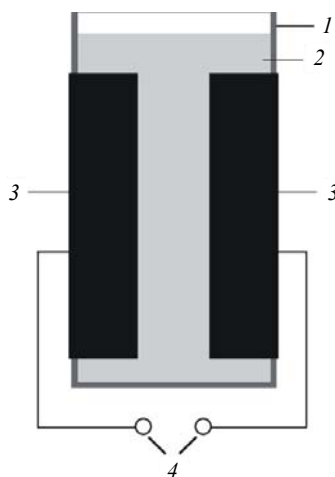


Рис. 1. Расположение пластин конденсатора в измерительной ячейке:
1 – емкость для жидкости; 2 – исследуемая жидкость; 3 – обкладки конденсатора;
4 – клеммы для подключения сигнала от генератора синусоидальных колебаний

При измерении добротности колебательного контура величины индуктивности устанавливают на уровне, позволяющем получить резонансную частоту 10, 30 и 100 кГц. Плотность тока на электродах при этом не превышает 20 нА/см^2 .

Результаты эксперимента и их обсуждение

При температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ показано (рис. 2), что с повышением частоты тока от 10 до 300 кГц наблюдается снижение емкости дистиллированной воды до 34 % от исходного уровня при 300 кГц ($P < 0,001$).

Электрическая емкость водных растворов NaCl достоверно повышается с увеличением их концентрации во всем диапазоне используемых частот – от 1 до 300 кГц (рис. 2).

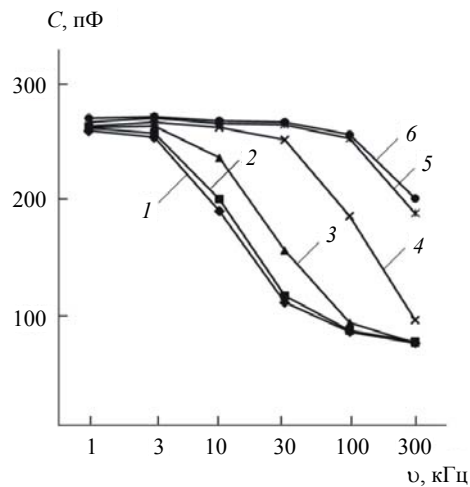


Рис. 2. Зависимость ёмкости дистиллированной воды и водных растворов от частоты реактивного тока:

1 – дистиллированная вода; 2, 3, 4, 5 и 6 – растворы соли хлорида натрия в концентрациях $1 \cdot 10^{-6}$ М, $1 \cdot 10^{-5}$ М, $1 \cdot 10^{-4}$ М, $1 \cdot 10^{-3}$ М и $1 \cdot 10^{-2}$ М соответственно

Однако при использовании раствора NaCl с концентрацией $1 \cdot 10^{-6}$ М возрастание его ёмкости (по сравнению с ёмкостью дистиллированной воды) наблюдается на частотах 10 и 30 кГц ($P < 0,05$ в обоих случаях) с максимумом на частоте 10 кГц (рис. 3).

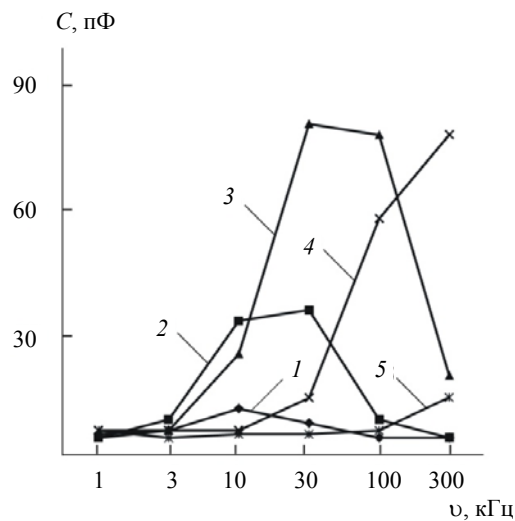


Рис. 3. Относительное изменение электрической ёмкости при различных частотах реактивного тока и концентрациях раствора NaCl:

1 – $1 \cdot 10^{-6}$ М раствор по сравнению с дистиллированной водой; 2 – $1 \cdot 10^{-5}$ М раствор по сравнению с $1 \cdot 10^{-6}$ М раствором; 3 – $1 \cdot 10^{-4}$ М раствор по сравнению с $1 \cdot 10^{-5}$ М раствором; 4 – $1 \cdot 10^{-3}$ М раствор по сравнению с $1 \cdot 10^{-4}$ М раствором; 5 – $1 \cdot 10^{-2}$ М раствор по сравнению с $1 \cdot 10^{-3}$ М раствором

При концентрации $1 \cdot 10^{-5}$ М емкость раствора (по сравнению с $1 \cdot 10^{-6}$ М раствором NaCl) значительно возрастает также на частотах 10 и 30 кГц, но с максимумом на частоте 30 кГц. При концентрации 10^{-4} М (по сравнению с 10^{-5} М раствором) наиболее выраженное увеличение этого параметра наблюдается на частотах 30 и 100 кГц, а при концентрации раствора 10^{-3} М (по сравнению с $1 \cdot 10^{-4}$ М раствором NaCl) максимальное значение этого параметра отмечается уже на частоте 300 кГц ($P < 0,001$ во всех случаях). Таким образом, при повышении концентрации растворов солей происходит последовательное увеличение их емкости сначала на низких, а затем и на более высоких частотах.

Аналогичная зависимость значения емкости дистиллированной воды и водных растворов NaCl, KCl и CaCl₂ от частоты тока наблюдалась нами в проведенных ранее исследованиях, но с другим типом измерительной ячейки [4], что подтверждает достоверность выявленной закономерности.

Полученные данные позволяют предположить, что в основе явлений изменения структуры дистиллированной воды и водных растворов NaCl лежат процессы разрушения и уменьшения размеров ассоциатов молекул воды с увеличением доли мономерных диполей и процессы гидратации ионов. Сделанное предположение косвенно подтверждается данными других исследователей [10, 12, 14, 19, 20].

Далее нами было оценено влияние концентрации раствора при резонансных частотах 10, 30 и 100 кГц на добротность колебательного контура (рис. 4).

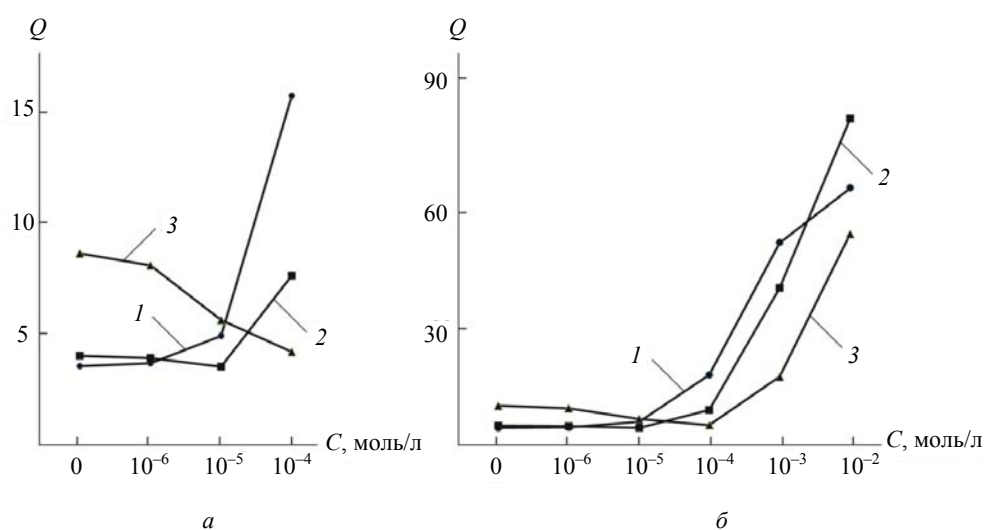


Рис. 4. Зависимость добротности колебательного контура Q от концентрации раствора NaCl и частоты резонансного тока:

a – изменение добротности при малых концентрациях раствора; b – изменение добротности во всем диапазоне используемых концентраций; 1 – 10 кГц; 2 – 30 кГц; 3 – 100 кГц

Оказалось, что при использовании водного раствора NaCl в диапазоне концентраций $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ М наряду с возрастанием емкости в диапазоне частот 1–300 кГц наблюдается снижение величины индуктивности, необходимой для достижения указанных резонансных частот ($P < 0,001$). Это очевидно свидетельствует, что по сравнению с дистиллированной водой в растворе соли происходит изменение структуры, приводящее к увеличению количества диполей, совершающих колебательные движения при частотах 10, 30 и 100 кГц. Этому предположению соответствует повышение добротности колебательного контура на частоте 10 кГц во всем диапазоне увеличения концентраций растворов NaCl (рис. 4).

Однако величина добротности колебательного контура на частоте 30 кГц, по сравнению с дистиллированной водой, первоначально снижается при концентрации $1 \cdot 10^{-5}$ М раствора NaCl на 17 %, ($P < 0,001$), а на резонансной частоте 100 кГц при концентрациях $1 \cdot 10^{-6}$ М, $1 \cdot 10^{-5}$ М и $1 \cdot 10^{-4}$ М растворов NaCl на 7, 40 и 59 % соответственно ($P < 0,001$ во всех случаях). При дальнейшем возрастании концентрации раствора соли добротность контура по отношению к дистиллированной воде на всех резонансных частотах многократно повышается ($P < 0,001$). Указанные изменения добротности контура могут свидетельствовать о том, что при малых концентрациях растворов солей ($1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ М) в них происходит формирование структурных элементов, повышающих подвижность диполей в условиях резонанса на частоте 10 кГц, но ограничивающих подвижность диполей на резонансной частоте 30 кГц и в большей степени – на частоте 100 кГц. Таким образом, при повышении концентрации растворов солей происходит последовательное увеличение добротности колебательного контура сначала на низкой (10 кГц), а затем и на более высоких (30, а затем и 100 кГц) частотах. Подобный эффект был отмечен выше для емкости растворов. Сравнивая концентрационную зависимость изменения этих параметров, следует отметить, что при возрастании концентрации раствора вначале происходит увеличение емкости на частоте 30 кГц, а затем – добротности контура на этой частоте. При дальнейшем возрастании концентрации вначале повышается емкость на частоте 100 кГц, а затем увеличивается добротность контура на этой частоте.

Принимая во внимание литературные данные, полученные нами ранее результаты и проведенные расчеты [4], можно предположить, что в дистиллированной воде её молекулы достаточно прочно связаны между собой в ассоциаты размером до 10^{-6} М, что значительно снижает подвижность диполей воды во всем диапазоне используемых концентраций (1–300 кГц). При повышении концентрации растворов NaCl подвижность диполей воды в них, по сравнению с дистиллированной водой, повышается пропорционально концентрации. Это обусловлено частичным разрушением крупных кластеров воды уже при комнатной температуре в результате процессов гидратации ионов и проявляется в последовательном увеличении емкости растворов сначала на низких, а затем и на более высоких частотах, а также в повышении добротности колебательного контура на частоте 10 кГц. Частично подобный эффект разрушения кластеров с использованием водных растворов NaCl описан также в работах других авторов [10, 12, 14].

Наблюдаемый при увеличении концентрации раствора NaCl двухфазный характер изменения добротности колебательного контура на частотах 30 и 100 кГц (первоначальное снижение добротности при малых концентрациях раствора NaCl и последующее ее возрастание при увеличении концентрации растворов) отражает особенности формирования структуры жидкостей при малых концентрациях растворов.

Аналогичная зависимость изменения добротности колебательного контура при повышении концентрации растворов NaCl, KCl и CaCl₂ наблюдалась нами ранее в исследованиях с другой измерительной ячейкой [5].

Выводы

1. При температуре 20 °С с увеличением частоты реактивного тока от 1 до 300 кГц электрическая емкость дистиллированной воды многократно снижается. Это обусловлено существованием в воде взаимосвязанных между собой ассоциатов ее молекул – кластеров, в которых частоты колебаний диполей воды ниже частот внешнего электрического поля.

2. При повышении концентрации водных растворов NaCl их электрическая ёмкость, по сравнению с ёмкостью дистиллированной воды, возрастает сначала на низких 10–30 кГц, а затем на более высоких 100–300 кГц частотах. Добротность колебательного контура при этом на частоте 10 кГц монотонно возрастает, а на частотах 30 и 100 кГц первоначально снижается, но возрастает при дальнейшем увеличении концентрации растворов до $1 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ М. Это, вероятно, обусловлено (зависящим от концентрации растворов солей) соотношением в растворах количества и размеров ассоциатов воды и степени гидратации ионов.

3. Оценка динамики электрической емкости, а также резонансных характеристик воды и водных растворов в диапазоне частот от 1 до 300 кГц может быть использована для характеристики физико-химических процессов, протекающих в вязущих системах при введении водных растворов химических добавок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чемоданов, Д.И.* Физико-химическая механика оксидных систем / Д.И. Чемоданов, Н.Н. Круглицкий., Ю.С. Саркисов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1989. – 230 с.
2. *Саркисов, Ю.С.* Вязущие вещества на основе оксидных систем / Ю.С. Саркисов // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 1. – С. 108–119.
3. *Добавки в бетон* : Справочное пособие / под ред. В.С. Рамачадрана. – М. : Стройиздат, 1988. – 575 с.
4. *Горленко, Н.П.* Низкоэнергетическая активация дисперсных систем / Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. – 264 с.
5. *Процессы структурообразования* в воде и в водных растворах / Б.И. Лаптев, Г.Н. Сидоренко, Н.П. Горленко [и др.] // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2012. – № 2/3. – С. 26–34.
6. *Левицкий, Е.Ф.* Электромагнитные поля в курортологии и физиотерапии / Е.Ф. Левицкий, Б.И. Лаптев, Г.Н. Сидоренко. – Томск, 2000. – 127 с.

7. Кочеткова, Т.Д. Температурные зависимости спектров диэлектрической проницаемости воды и водных растворов спиртов в области релаксации : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Томск, 2003. – 126 с.
8. Семихина, Л.П. Низкочастотная диэлькометрия жидкостей в слабых вихревых электрических полях : автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. – Тюмень, 2006. – 33 с.
9. Смирнов, А.Н. Супранадмолекулярные комплексы воды / А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Российский химический журнал. – 2004. – Т. 48. – № 2. – С. 125–135.
10. Вода как гетерогенная структура / А.В. Сыроешкин, А.Н. Смирнов, В.В. Гончарук [и др.] // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2006. – С. 843 – 854. Условия доступа : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/088.pdf>
11. 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.
12. Michaelides, A. Ice nanoclusters at hydrophobic metal surfaces / A. Michaelides, K. Morgenstern // Nature Materials. – 2007. – V. 6. – P. 597–601.
13. Гончарук, В.В. Влияние температуры на кластеры воды / В.В. Гончарук, Е.А. Орехова, В.В. Маляренко // Химия и технология воды. – 2008. – Т. 30. – № 2. – С. 150–158.
14. Кластеры и гигантские гетерофазные кластеры воды / В.В. Гончарук, В.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин [и др.] // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29. – № 1. – С. 3–17.
15. Влияние микропримесей NaCl на динамику кластерообразования в жидкой воде: спектроскопия низкочастотного комбинационного рассеяния / А.В. Баранов, В.И. Петров, А.В. Федоров [и др.] // Письма в ЖЭТФ. – 1993. – Т. 57. – Вып. 6. – С. 356–359.
16. Кузнецов, Д.М. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях в водной среде / Д.М. Кузнецов, А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52. – С. 114–121.
17. Френкель, Я.И. Кинетическая теория жидкостей / Я.И. Френкель. – Л. : Наука, 1975. – 592 с.
18. Глывштейн, А.Я. Колебания проводимости в воде / А.Я. Глывштейн // Биофизика. – 1996. – Т. 41. – Вып. 3. – С. 564–558.
19. Глывштейн, А.Я. Низкочастотные колебания проводимости в воде и водных растворах хлорида натрия и калия / А.Я. Глывштейн // Биофизика. – 1996. – Т. 41. – Вып. 3. – С. 559–563.
20. Наберухин, Ю.И. Структурные модели жидкостей / Ю.И. Наберухин. – Новосибирск : Изд-во Новосибирск. гос. ун-та, 1981. – 84 с.

REFERENCES

1. Chemodanov, D.I., Kruglitskiy, N.N., Sarkisov, Yu.S. Fiziko-khimicheskaya mekhanika oksidnykh sistem [Physico-chemical mechanics of oxide systems]. – Tomsk State University Publ., 1989. – 230 p. (rus)
2. Sarkisov, Yu.S. Vyazhushchie veshchestva na osnove oksidnykh system [Binders based on oxide systems] // Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. – 2013. – No. 1. – P. 108–119. (rus)
3. Dobavki v beton : spravocnoe posobie [Admixtures for concrete: Reference book] / pod red. V.S. Ramachadrana. – Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. – 575 p. (rus)
4. Gorlenko, N.P., Sarkisov, Yu.S. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh system [The low-energy activation of disperse systems]. – Tomsk, State University of Architecture and Building Publ., 2011. – 264 p. (rus)
5. Laptsev, B.I., Sidorenko, G.N., Gorlenko, N.P. [i dr.]. Protsessy strukturoobrazovaniya v vode i v vodnykh rastvorakh [Structure formation processes in water and aqueous solutions] // Voda i ekologiya. Problemy i resheniya [Water and environment. Problems and solutions]. – 2012. – No. 2/3. – P. 26–34. (rus)
6. Levitskiy, E.F., Laptsev, B.I., Sidorenko, G.N. Elektromagnitnye polya v kurortologii i fizioterapii [Electromagnetic fields in the resorts and physiotherapy]. – Tomsk, 2000. – 127 p. (rus)
7. Kochetkova, T.D. Temperaturnye zavisimosti spektrov dielektricheskoy pronitsaemosti vody i vodnykh rastvorov spirtov v oblasti relaksatsii [Temperature dependences of the dielectric

- constant of water and aqueous solutions of alcohols in the field of relaxation]. – Tomsk, 2003. – 126 p. (rus)
8. *Semikhina, L.P.* Nizkochastotnaya diel'kometriya zhidkostey v slabykh vikhrevykh elektricheskikh polyakh [The low-frequency dielectricity of liquids in weak vortex electric fields]. – Tyumen, 2006. – 33 p. (rus)
 9. *Smirnov, A.N., Syroeshkin, A.V.* Supranadmolekulyarnye komplekсы vody [Supra supermolecular complexes of water] // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal [Russian Chemical Journal]. – 2004. – V. 48. – No. 2. – P. 125–135. (rus)
 10. *Syroeshkin, A.V., Smirnov, A.N., Goncharuk, V.V. [i dr.]* Voda kak geterogennaya struktura [Water as a heterogeneous structure] // Elektronnyy zhurnal «Issledovano v Rossii» [Electronic Journal "It is investigated in Russia."]. – 2006. – P. 843–854. – Available at : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/088.pdf> (rus)
 11. *Uspenskaya, E.V.* Izuchenie struktury vody na supramolekulyarnom urovne dlya razrabotki novykh metodov standartizatsii i kontrolya kachestva mineral'nykh vod i zhidkikh lekarstvennykh form [The study of water structure at supramolecular level for developing the new methods of standardization and quality control of mineral water and liquid medical forms]. – Moscow, 2007. – 27 p. (rus)
 12. *Michaelides, A., Morgenstern, K.* Ice nanoclusters at hydrophobic metal surfaces // Nature Materials. – 2007. – V. 6. – P. 597–601.
 13. *Goncharuk, V.V., Orekhova, E.A., Malyarenko, V.V.* Vliyanie temperatury na klastery vody [Temperature influence on water clusters]. Khimiya i tekhnologiya vody [Chemistry and technology of water.]. – 2008. – V. 30. – No. 2. – P. 150–158. (rus)
 14. *Goncharuk, V.V., Smirnov, V.N., Syroeshkin, A.V. [i dr.]*. Klastery i gigantskie geterofaznye klastery vody [Clusters and giant heterophase water clusters] // Khimiya i tekhnologiya vody. [Chemistry and technology of water]. – 2007. – V. 29. – No. 1. – P. 3–17. (rus)
 15. *Baranov, A.V., Petrov, V.I., Fedorov, A.V. [i dr.]*. Vliyanie mikroprimesey NaCl na dinamiku klasteroobrazovaniya v zhidkoy vode: spektroskopiya nizkochastotnogo kombinatsionnogo rasseyaniya [Influence of NaCl microelements on dynamics of cluster formation in liquid water: spectroscopy of low-frequency combinational] // Pis'ma v ZhETF [Letters to Journal of Experimental and Theoretical Physics]. – 1993. – V. 57. – Issue 6. – P. 356–359. (rus)
 16. *Kuznetsov, D.M., Smirnov, A.N., Syroeshkin, A.V.* Akusticheskaya emissiya pri fazovykh prevrashcheniyakh v vodnoy srede [Acoustic emission during phase transformations in the aquatic environment] // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal [Russian Chemical Journal]. – 2008. – V. 52. – P. 114–121. (rus)
 17. *Frenkel', Ya.I.* Kineticheskaya teoriya zhidkostey [Kinetic Theory of Liquids]. Leningrad, Nauka Publ., 1975. – 592 p. (rus)
 18. *Glushcheyn, A.Ya.* Kolebaniya provodimosti v vode [Conductivity fluctuations in water] // Biofizika [Biophysics]. – 1996. – V. 41. – Issue 3. – P. 564–558.
 19. *Glushcheyn, A.Ya.* Nizkochastotnye kolebaniya provodimosti v vode i vodnykh rastvorakh khlorida natriya i kaliya [Low-frequency fluctuations of conductivity in water and aqueous solutions of chloride of sodium and potassium]. Biofizika [Biophysics]. – 1996. – V. 41. – Issue 3. – P. 559–563. (rus)
 20. *Naberukhin, Yu.I.* Strukturnye modeli zhidkostey [Structural models of fluids]. Novosibirsk State University Publ., 1981. – 84 p. (rus)