

УДК 532.74

DOI: 10.17223/24135542/1/3

**Б.И. Лаптев<sup>1</sup>, Г.Н. Сидоренко<sup>1</sup>, Н.П. Горленко<sup>2</sup>,  
Ю.С. Саркисов<sup>2</sup>, Л.В. Антошкин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Nove tehnologije (Ljubljana, Slovenia)*

<sup>2</sup> *Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск, Россия)*

<sup>3</sup> *НИИ оптики атмосферы СО РАН (Томск, Россия)*

### **Структурные изменения в воде и водных растворах электролитов при различных внешних воздействиях**

*Предложены методы оценки изменений структуры воды или водных растворов электролитов при воздействии температуры, магнитного поля, влияния материала поверхности путем определения электрической емкости жидкости и добротности колебательного контура в диапазоне частот от 1 до 3 000 кГц. При этом пластины конденсатора в различных видах электрохимических ячеек располагают или напротив друг друга на расстоянии более 5 см, или смещают относительно друг друга в параллельных плоскостях, или располагают в одной плоскости, а жидкость в этом случае находится над обкладками конденсатора. Плотность тока на пластинах в различных ячейках составляет от 10 до 100 нА/см<sup>2</sup>. При измерении электрической емкости напряжение, подводимое к пластинам, снижают пропорционально повышению частоты генератора. Такой методический подход увеличивает динамический диапазон изменения сигнала с электрохимической ячейки, снижает воздействие измерений на структуру жидкостей и позволяет оценивать направленность и выраженность изменений структуры воды и водных растворов при различных воздействиях. Предложен критерий для оценки структуры водных растворов в пристеночном слое и критерий для оценки структуры питьевых и минеральных вод.*

**Ключевые слова:** *структура воды; кластеры; пограничный слой; электрическая емкость; резонанс; диэлектрометрия.*

В настоящее время исследования в направлении изучения структуры воды и водных растворов бурно развиваются. В работах последних 20 лет вопрос о наличии структуры воды и водных растворов уже перешел в конкретизацию влияния изменения структуры воды и водных растворов на различные технологические процессы и уровень здоровья человека [1–8].

Известно, что молекулы воды находятся в непрерывном тепловом движении, и говорить о конкретном положении отдельных диполей воды по отношению друг к другу можно в интервале времени менее  $10^{-13}$  с. При использовании существующих в настоящее время методов это невозможно. С другой стороны, понятие структуры воды и водных систем в общем случае включает не только определение координат всех ее молекул, но и знание закономерностей и принципов их взаимодействия [9].

Наличие водородных связей в воде и гидратированных ионов в водных растворах уже является проявлением структуры воды и водных растворов [10]. Современный взгляд на структуру воды заключается в том, что в воде существует более сложная структурная организация, трехмерная сетка, образованная молекулами, соединенными водородными связями. Показано, что отдельные молекулы воды объединяются в ассоциаты (кластеры), распределенные в «континуальной» жидкой фазе [4, 11, 12]. Размеры кластеров в воде и водных растворах зависят от концентрации, состава растворов и температуры жидкостей [4, 8, 13]. Поскольку подвижность диполей воды определяется характером их связи между собой (не связанные между собой диполи имеют максимальную подвижность), то по изменению подвижности диполей воды при различных воздействиях можно судить об изменении связи между ними и, соответственно, об изменении структурированности воды и водных растворов.

Известно, что вода и водные системы имеют высокую чувствительность к внешним воздействиям, включая информационные [3]. Поэтому для их адекватного изучения необходимы неразрушающие методы исследования в широком диапазоне частот – от 1 до  $10^{14}$  Гц. Так, для оценки структуры воды и водных систем используют определение их диэлектрической проницаемости на разных частотах (метод диэлектromетрии) [14, 15]. Такой подход позволяет получить данные о молекулярной динамике и структурных превращениях жидких систем при изменении их состава и температуры. При этом мало изучены процессы, протекающие в воде и водных системах в интервале от  $10^4$  до  $10^6$  Гц [15].

Известен способ определения диэлектрических параметров воды и ее растворов, при котором исследуемые жидкости в электрохимической ячейке последовательно вводятся внутрь различных соленоидных катушек, а измерения проводятся в диапазоне частот выше 10 кГц [Там же]. При этом величина напряженности вихревого электрического поля внутри ячейки изменяется от 5 до 300 мкВ/см. Это в 60 раз меняет величину реактивного тока в одной жидкости в процессе измерений, что может приводить к различным неконтролируемым изменениям структуры жидкостей, а также создает определенные неудобства в работе.

Целью работы является разработка методов оценки структуры воды и водных растворов в электрохимической ячейке при различных воздействиях, включающих влияние температуры, магнитного поля, материала поверхности в пристеночном слое и т.д.

### **Материалы и методики исследования**

В опытах использованы дистиллированная вода, а также водные растворы хлоридов натрия, калия, кальция и магния в концентрациях от  $10^{-6}$  до 1,0 М. Изучаемую жидкость помещают в измерительную ячейку одного из видов, включающую емкость из диэлектрического материала, а также обкладки конденсатора из немагнитного материала без непосредственного контакта с исследуемой жидкостью.

Особенностью используемых в исследованиях измерительных ячеек разных видов является такое взаимное расположение обкладок конденсатора, которое позволяет увеличить динамический диапазон изменения сигнала с измерительных ячеек и, вследствие этого, получить возможность регистрировать малые изменения структуры воды и водных растворов (рис. 1). Для этого, в зависимости от решаемых задач, обкладки конденсатора измерительной ячейки располагают напротив друг друга на расстоянии более 5 см, или смещают относительно друг друга в параллельных плоскостях, или располагают в одной плоскости, а жидкость в этом случае находится над обкладками конденсатора.

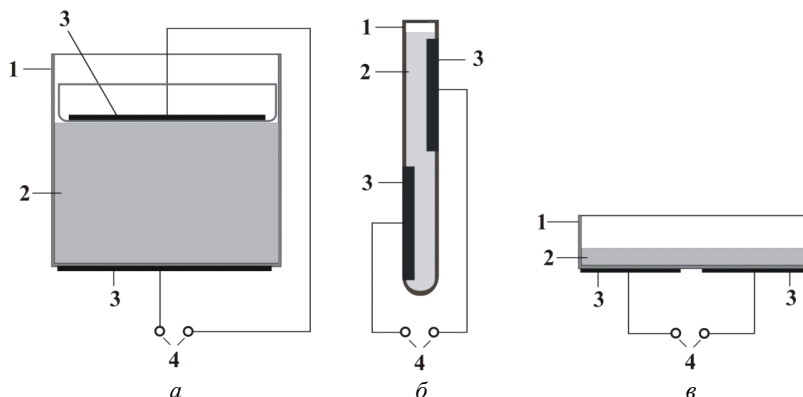


Рис. 1. Схемы видов измерительных ячеек для оценки структуры воды и водных растворов: *а* – исследуемая жидкость находится между обкладками конденсатора; *б* – обкладки конденсатора смещены относительно друг друга в параллельных плоскостях; *в* – обкладки конденсатора располагают в одной плоскости, а жидкость находится над обкладками конденсатора; 1 – емкость для жидкости; 2 – исследуемая жидкость; 3 – обкладки конденсатора; 4 – клеммы для подключения сигнала от генератора синусоидальных колебаний

Для оценки структурных изменений водных растворов в пристеночном слое использовали измерительные ячейки, показанные на рис. 2 и представляющие собой модификацию измерительной ячейки *в* (рис. 1).

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. Величину индуктивности измеряют с помощью прибора LCR-9063.

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.

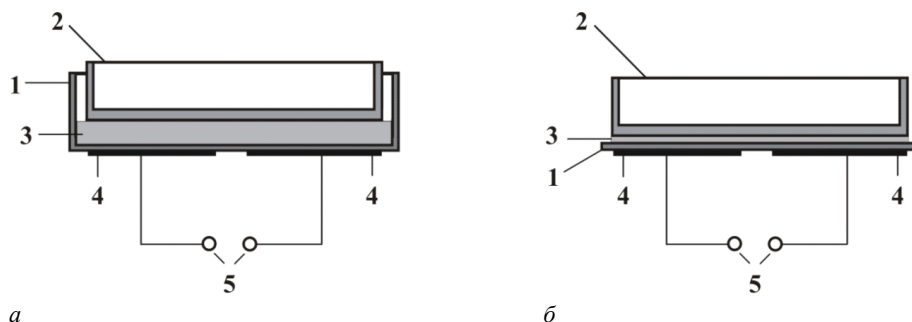


Рис. 2. Схема измерительных ячеек для оценки структуры воды и водных растворов в пристеночном слое: *а* – ячейка, в которой жидкость находится между двумя стеклянными поверхностями; *б* – ячейка, в которой жидкость находится между пластмассовой и стеклянной поверхностями. 1 – нижняя стеклянная емкость с плоским дном для исследуемых жидкостей (в ячейке *а*) или пластмассовая пластинка (в ячейке *б*); 2 – верхняя стеклянная емкость с плоским дном; 3 – исследуемая жидкость; 4 – обкладки конденсатора; 5 – клеммы для подключения сигнала от генератора синусоидальных колебаний

Установка позволяет в измерительной ячейке одного из видов определять электрическую емкость жидкостей (по изменению величины реактивного тока через них и после вычитания из общей емкости конденсатора емкости измерительной ячейки без жидкости), а также добротность колебательного контура, образованного переменной индуктивностью и конденсатором при нахождении жидкостей между его изолированными пластинами. При измерении емкости жидкостей частота тока, подводимого к обкладкам конденсатора, изменяется от 1 до 3 000 кГц. При измерении добротности колебательного контура величины индуктивности устанавливают на уровне, позволяющем получить резонансную частоту 10, 30, 100, 300 или 1 000 кГц.

Для оценки изменений структуры воды и водных растворов при различных воздействиях используются минимальные величины напряженности электрического поля внутри измерительной ячейки (от 15 до 75 мкВ/см в зависимости расстояния между пластинами конденсатора в различных видах измерительных ячеек) и плотности тока на обкладках конденсатора (от 10 до 100 нА/см<sup>2</sup> в зависимости от площади пластин конденсатора в различных видах измерительных ячеек).

### Результаты и их обсуждение

В начале исследований оценивали влияние расстояния между электродами и, соответственно, напряженности электрического поля на динамику

электрической емкости и добротности колебательного контура с использованием варианта *A* измерительной ячейки, показанного на рис. 1. Оказалось, что электрическая емкость дистиллированной воды при расстоянии между пластинами конденсатора 2 см с увеличением частоты реактивного тока от 1 до 3 000 кГц уменьшалась до 66% (рис. 3, *A*) от исходного уровня ( $P < 0,001$ ). При этом с повышением частоты от 300 до 3 000 кГц величина этого показателя практически не изменялась. При увеличении расстояния между пластинами конденсатора до 5 и 10 см электрическая емкость при возрастании частоты от 1 до 3 000 кГц снижалась более выражено (до 48 и 27% соответственно).

Величина добротности колебательного контура при увеличении расстояния между пластинами конденсатора от 2 до 10 см на частотах 30, 100 и 300 кГц снижалась до 39, 64 и 78% соответственно ( $P < 0,001$  во всех случаях). При этом более выраженное снижение добротности наблюдалось при меньшей резонансной частоте.

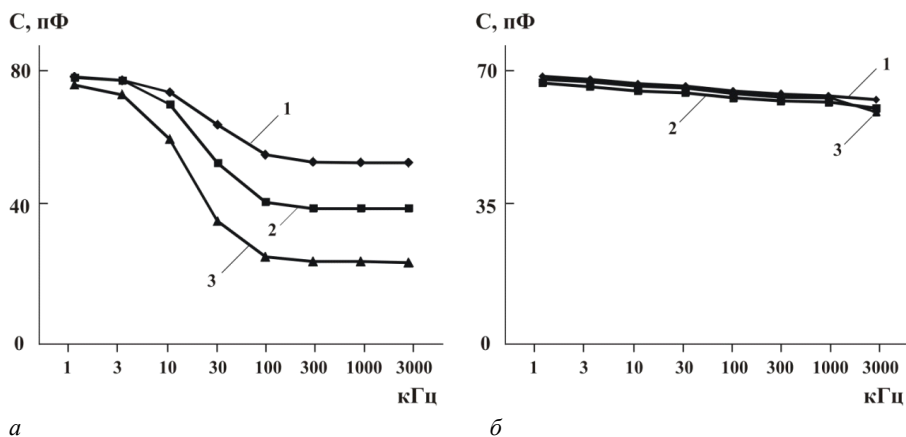


Рис. 3. Зависимость электрической емкости (*C*, пФ) дистиллированной воды (*a*) и  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствора хлорида натрия (*б*) от частоты реактивного тока при различном расстоянии между обкладками конденсатора: 1 – 2 см; 2 – 5 см; 3 – 10 см

Электрическая емкость  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствора хлорида натрия при расстоянии между пластинами конденсатора 2 см с увеличением частоты реактивного тока от 1 до 3 000 кГц снижается менее выражено по сравнению с дистиллированной водой (до 91% от исходного уровня,  $P < 0,001$ ). При увеличении расстояния между пластинами конденсатора до 5 и 10 см электрическая емкость при возрастании частоты снижается более выражено – до 89 и 87% соответственно. При расстоянии между пластинами конденсатора 2 см величина добротности колебательного контура, по сравнению с дистиллированной водой, многократно возрастает, а при увеличении расстояния между пластинами конденсатора от 2 до 10 см на частотах 30, 100 и 300 кГц добротность снижалась до 97, 78 и 50% соответственно

( $P < 0,001$  во всех случаях). При этом снижение добротности было более выражено на большей резонансной частоте.

Исходя из полученных выше результатов было предположено, что для выявления структурных изменений в воде и водных растворах, во-первых, целесообразно использовать измерительные ячейки, в которых пластины конденсатора параллельны друг другу и находятся на расстоянии более 5 см друг от друга (см. рис. 2, а), либо смещены относительно друг друга в параллельных плоскостях (см. рис. 2, б), либо располагают в одной плоскости, а жидкость в этом случае находится над обкладками конденсатора (см. рис. 2, в). Во-вторых, добротность колебательного контура, по сравнению с электрической емкостью, вероятно, является более чувствительным параметром и также может быть использована для оценки структуры воды и водных растворов.

Ниже приведены данные, полученные с использованием варианта б (см. рис. 1, б) измерительной ячейки [16]. В этом случае при температуре  $20^\circ\text{C}$  с увеличением частоты реактивного тока от 1 до 100 кГц электрическая емкость дистиллированной воды многократно (до 7% от исходного уровня,  $P < 0,001$ ) снижается (рис. 4, а). При дальнейшем повышении частоты до 3 000 кГц электрическая емкость практически не уменьшается. Следует отметить, что уже при частоте 3 кГц емкость снижалась до 42% по сравнению с частотой 1 кГц ( $P < 0,001$ ).

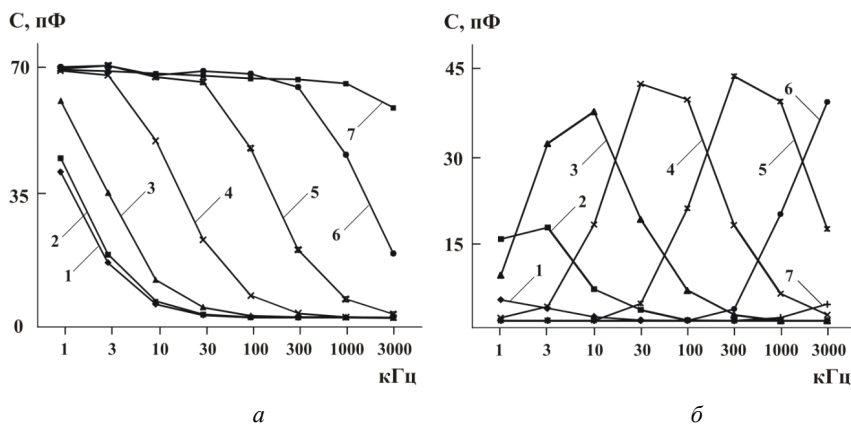


Рис. 4. а – зависимость электрической ёмкости дистиллированной воды и водных растворов от частоты реактивного тока: 1 – дистиллированная вода; 2, 3, 4, 5, 6 и 7 – растворы соли хлорида натрия в концентрациях  $1 \cdot 10^{-6}$ ,  $1 \cdot 10^{-5}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 10^{-2}$  и  $1 \cdot 10^{-1}$  М соответственно. б – относительное изменение электрической емкости 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; 6 –  $1 \cdot 10^{-1}$  М раствор по сравнению с  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствором, 7 –  $1,5 \cdot 10^{-1}$  М раствор по сравнению с  $1 \cdot 10^{-1}$  М раствором

Принимая во внимание данные литературы, проведенные нами расчеты и полученные ранее результаты [3, 8, 11, 17–19], можно предположить, что в дистиллированной воде ее молекулы достаточно прочно связаны между собой в ассоциаты. Это значительно снижает подвижность диполей воды уже при низкой частоте реактивного тока (1–10 кГц).

При использовании водного раствора NaCl с концентрацией  $1 \cdot 10^{-6}$  М возрастание его емкости (по сравнению с емкостью дистиллированной воды) наблюдается на частотах 1, 3, 10 и 30 кГц с максимумом на частоте 1 кГц (см. рис. 3, б). При концентрации  $1 \cdot 10^{-5}$  М емкость раствора (по сравнению с  $1 \cdot 10^{-6}$  М раствором NaCl) максимально возрастает на частоте 3 кГц, а при концентрации  $10^{-4}$  М (по сравнению с  $10^{-5}$  М раствором) максимальное увеличение этого параметра наблюдается на частоте 10 кГц ( $P < 0,001$ ). При дальнейшем повышении концентрации раствора до  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 10^{-2}$  и  $1 \cdot 10^{-1}$  М максимальное относительное возрастание емкости происходит на частотах 30, 300 и 3 000 кГц соответственно ( $P < 0,001$ ). При максимальной концентрации раствора NaCl (0,15 М) снижение емкости дистиллированной воды при повышении частоты от 1 до 3 000 кГц составляет всего 10%. Таким образом, при повышении концентрации растворов солей происходит последовательное увеличение их емкости сначала на низких, а затем и на более высоких частотах.

Повышение, по сравнению с дистиллированной водой, электрической емкости раствора NaCl начинается уже при небольшой его концентрации. Это свидетельствует о том, что наряду с количественными изменениями происходит изменение структуры раствора, приводящее к увеличению количества диполей, совершающих колебательные движения при частотах (1–3 000) кГц. Далее можно предположить, что динамика электрической емкости при повышении концентрации растворов NaCl отражает: 1) изменения в структуре ассоциатов молекул воды, а именно в соотношениях размеров и количества кластеров; 2) особенности процессов гидратации ионов; 3) динамику взаимодействия между ассоциатами молекул воды и гидратными образованиями.

Эти предположения подтверждаются данными наших более ранних исследований и работ других авторов [5, 6, 8, 11, 16–18], в которых показано, что кластеры могут характеризоваться колебаниями в области частот от 1 до  $10^3$  кГц. В растворах NaCl с концентрацией  $1 \cdot 10^{-3}$  М, по сравнению с дистиллированной водой, возрастает содержание более крупных кластеров и снижается содержание более мелких. Увеличение концентрации раствора до 0,1 М и выше приводит к увеличению содержания более мелких кластеров. Следует отметить, что аналогичные результаты динамики электрической емкости наблюдались в проведенных нами ранее исследованиях с растворами NaCl, KCl,  $MgCl_2$  и  $CaCl_2$  [17, 18], в которых также было показано, что по величине электрической емкости растворы солей достоверно отличаются друг от друга.

Далее приведены результаты исследований с нагреванием и охлаждением воды и водных растворов, воздействием магнитного поля, оценкой влияния материала поверхности в пристеночном слое [5, 16–19].

На основании полученных результатов при измерении электрической емкости и добротности колебательного контура было установлено, что подвижность диполей воды в воде и водных растворах при различных воздействиях разнонаправленно изменяется на различных частотах. Эти изменения, вероятно, зависят от соотношения свободных и ассоциированных (например в кластеры молекул воды) гидратных образований и взаимодействия между ними, а также от концентрации растворенных газов и температуры.

Так, при температуре 20°C электрическая емкость дистиллированной воды при увеличении частоты реактивного тока от 1 до 3 000 кГц многократно снижается. Электрическая емкость водных растворов NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> и MgCl<sub>2</sub> при повышении их концентрации до  $1 \cdot 10^{-1}$  М и возрастании частоты реактивного тока многократно увеличивается сначала на низких (1–30 кГц), а затем на более высоких частотах (100–3 000 кГц). По выраженности изменений этого параметра растворы отличаются друг от друга.

При повышении концентрации водного раствора NaCl от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  М добротность колебательного контура на резонансной частоте 10 кГц многократно возрастает во всем диапазоне увеличения концентраций растворов NaCl. При этом на частотах 30 и 100 кГц добротность сначала снижается, а затем многократно возрастает при повышении концентрации NaCl более  $1 \cdot 10^{-4}$  М при частоте 30 кГц и более  $1 \cdot 10^{-3}$  М при частоте 100 кГц.

При нагревании жидкостей до 40°C электрическая емкость дистиллированной воды увеличивается на частотах 10 и 30 кГц, а электрическая емкость  $1 \cdot 10^{-4}$  М растворов NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> и CaCl<sub>2</sub> возрастает при большей частоте – 300 кГц. При этом добротность колебательного контура в опытах с дистиллированной водой на резонансных частотах 30 и 100 кГц снижается, но возрастает в опытах с  $1 \cdot 10^{-4}$  М растворов NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> и CaCl<sub>2</sub>.

При активировании дистиллированной воды нагреванием от 20 до 60°C с последующим охлаждением до 20°C без доступа воздуха при ее магнитной обработке и снижении температуры до 10°C происходят уменьшение емкости на низких частотах (1–10) кГц и возрастание добротности на более высоких частотах, а при нагревании дистиллированной воды наблюдается обратная динамика этих параметров.

В пристеночном тонком слое жидкости при уменьшении расстояния до стеклянной поверхности от 5 000 до 8 мкм и при концентрации водных растворов NaCl, KCl от 0,01 до 1,0 М электрическая емкость на частотах 1 000 и 3 000 кГц и добротность колебательного контура на частоте 30 кГц многократно снижаются. Эти изменения зависят от концентрации растворов, природы растворенного вещества и материала поверхности.

С учетом полученных данных был разработан коэффициент  $K_g$  [5], характеризующий градиент изменения добротности колебательного контура по формуле



$$K_g = 100 \frac{Q_i - Q_{i+1}}{H_i - H_{i+1}},$$

где  $K_g$  – коэффициент, определяемый как отношение изменения добротности колебательного контура при изменении высоты слоя жидкости к величине изменения высоты слоя жидкости, отн. ед.;  $H_i, H_{i+1}$  – расстояние между двумя высотами слоя жидкости, мкм;  $Q_i$  и  $Q_{i+1}$  – добротности колебательного контура при этих высотах слоя жидкости.

Оказалось, что при использовании 0,15 М растворов хлорида натрия и калия величина этого коэффициента была максимальна в интервале 50–200 мкм (рис. 5).

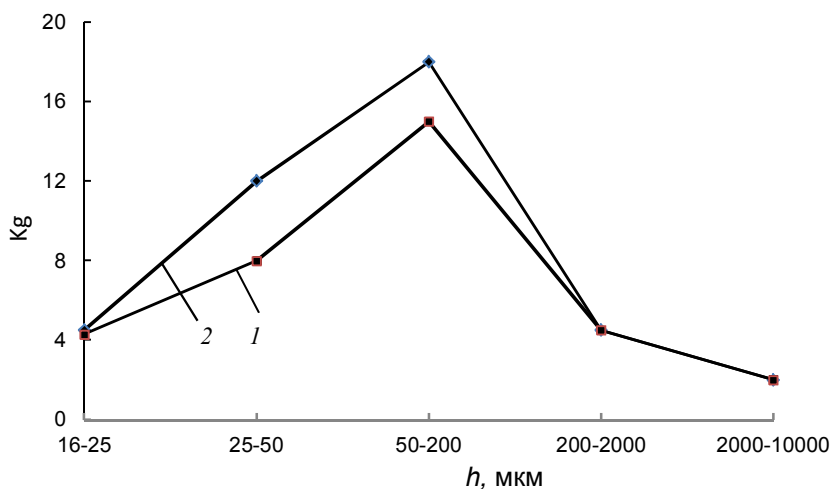


Рис. 5. Зависимость коэффициента  $K_g$  от высоты слоя жидкости ( $h$ ) в пограничном (пристеночном) слое для водных растворов хлоридов натрия и калия:  
1 – 0,15 М раствор NaCl; 2 – 0,15 М раствор KCl

Это позволяет предположить, что при уменьшении высоты слоя жидкости от 200 до 50 мкм в структуре растворов происходят максимально выраженные изменения, сопровождающиеся снижением подвижности диполей воды в резонансном режиме. В меньшей степени эти изменения сохраняются при уменьшении высоты слоя жидкости до 16 мкм и ее увеличении до 2 000 мкм.

Далее с использованием варианта б (см. рис. 1) измерительной ячейки была проведена оценка структуры питьевых и минеральных вод [4]. Для этого был разработан коэффициент для оценки структуры минеральных вод ( $K_s$ ), который рассчитывали по следующей формуле:

$$K_s = 10 \frac{C_{100} - C_{1000}}{C_1},$$

где  $C_1, C_{100}$  и  $C_{1000}$  – ёмкость жидкости на частотах 1, 100 и 1 000 кГц.

При оценке структуры используемых питьевых и минеральных вод с использованием коэффициента  $K_S$  оказалось, что для питьевых и минеральных вод его величины составляют: Fiji –  $5,39 \pm 0,02$ ; Zala –  $4,24 \pm 0,02$ ; Primula –  $3,77 \pm 0,02$ ; Donat Mg –  $0,35 \pm 0,01$ ; морская вода –  $0,16 \pm 0,01$  (различия между водами во всех случаях были достоверны,  $P < 0,001$ ). Принимая во внимание данные литературы, проведенные нами расчеты и полученные ранее результаты [4–6, 16–19], можно предположить, что в питьевых и минеральных водах подвижность диполей воды зависит от состава и концентрации солей. Снижение коэффициента  $K_S$ , очевидно, является результатом увеличения подвижности диполей воды, обусловленного увеличением содержания более мелких ассоциатов молекул воды и возрастанием степени гидратации различных ионов. С учетом этого допущения можно предположить, что оздоровительные и лечебные свойства питьевых и минеральных вод в значительной степени могут зависеть не только от их состава и концентрации растворенных веществ, но и от соотношения различных по размерам ассоциатов воды, а также степени гидратации ионов.

Совокупность полученных выше данных позволяет с новой точки зрения оценить роль структурных изменений в воде и водных растворах в живых и неживых системах. Так, по мнению ряда авторов, размеры и свойства гигантских гетерофазных кластеров воды (ГГКВ) подобны размерам и свойствам клеток организмов [8, 13]. ГГКВ, как и клетки организмов, имеют «мембрану», трансмембранный потенциал (около 100 мВ). При этом в крупном кластере воды могут находиться более мелкие кластеры воды, подобно тому, как в клетке находятся митохондрии и другие органеллы. Кластеры могут взаимодействовать между собой и образовывать структуры, подобно структуре многоклеточных организмов. ГГКВ присутствуют в соке растений [8]. Размеры кластеров могут влиять на оздоровительные и лечебные свойства питьевых и минеральных вод и уменьшаются при повышении температуры [4, 11].

С учетом этих данных можно предположить, что при своем образовании, росте и развитии клетки «используют» уже имеющуюся кластерную, «клеточную» структуру воды как структурную основу. Это предположение частично подтверждается известными данными о том, что у теплокровных животных, имеющих более высокую температуру тела, диаметр эритроцитов составляет около 7,5 мкм, что более чем в 2 раза меньше диаметра эритроцитов холоднокровных животных.

Известно также, что внутри клеток организмов концентрация калия во много раз больше, чем снаружи клеток, а концентрация натрия внутри клеток во много раз меньше, чем снаружи. С учетом полученных результатов и известных данных литературы можно предположить, что в клетках организмов большая концентрация внутриклеточного калия позволяет частично снизить избыточный эффект структурирования жидкостей в пограничном слое и облегчить взаимодействие процессов, протекающих в клетках в резонансном режиме. Относительно большая концентрация внеклеточного натрия, наоборот, позволяет в большей степени стабилизировать наружную сторону клеточной мембраны.

В проведенных исследованиях [4–6, 17–19] было показано, что при активации воды в ней происходит снижение электрической емкости на частотах 1–30 кГц, но повышение добротности колебательного контура при резонансных частотах 30, 100 и 300 кГц. С учетом этого стимулирующее воздействие активированной воды на живые и неживые системы, вероятно, обусловлено такими изменениями структуры водных систем (в частности, внутри и вне клеток), при которых облегчается взаимодействие между процессами в резонансном режиме, но сохраняется стабильность благодаря ограничению подвижности диполей при воздействии нерезонансных частот.

Полученные результаты экспериментальных исследований могут быть использованы и частично уже используются в практике [1, 5, 13, 18]:

1) возможность оценивать подвижность диполей воды и, соответственно, структурированность воды и водных растворов, находящихся в измерительных ячейках или другой таре из диэлектрического материала;

2) разработанные измерительные ячейки позволяют подбирать параметры каких-либо воздействий на воду и водные растворы, например для модификации физико-химических процессов, протекающих в вяжущих системах [1];

3) разработанный методический подход для исследования структуры воды и водных растворов и критерий  $K_g$  позволяют оценивать воздействие различных материалов на структуру воды и водных систем в пристеночном слое;

4) разработанные критерии  $K_s$  использованы для оценки структуры питьевых и минеральных вод.

### **Заключение**

1. Разработанные методический подход к оценке структуры воды и водных растворов, измерительные ячейки и способ измерения электрических параметров позволяют косвенно оценивать изменения в структурах дистиллированной воды, питьевых и минеральных вод, а также водных растворов при различных воздействиях, включающих изменение температуры, магнитного поля, влияние материала поверхности в пристеночном слое и т.д.

2. Повышение (снижение) электрической емкости и (или) добротности колебательного контура при различных воздействиях отражают возрастание (уменьшение) подвижности диполей воды в переменном электрическом поле (при обычном и (или) резонансном режимах его воздействия) и, очевидно, свидетельствуют об уменьшении (увеличении) структурированности воды и водных растворов.

### **Литература**

1. Горленко Н.П., Лаптев Б.И., Саркисов Ю.С. и др. Влияние электромагнитных полей на свойства жидкости затворения цементных систем // Перспективные материалы в строительстве и технике : материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых 15–17 октября 2014 года. Томск, 2014. С. 137–145.
2. Зубов А.В., Зубов К.В., Зубов В.А. // Биофизика. 2007. Т. 52, № 4. С. 585–593.

3. Левицкий Е.Ф., Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н. Электромагнитные поля в курортологии и физиотерапии. Томск, 2000. 127 с.
4. Левицкий Е.Ф., Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. // Физиотерапевт. 2013. № 3. С. 3–8.
5. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2015. № 4. С. 20–25.
6. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. // Вестник новых медицинских технологий. 2015. № 2. Публикация 2–9. URL: <http://www.medsu.tula.ru>
7. Постнов С.Е., Подчерняева Р.Я., Мезенцева М.В. и др. // Вестник Российской Академии естественных наук. 2009. Т. 9, № 3. С. 12–15.
8. 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.
9. Наберухин Ю.И. Структурные модели жидкостей. Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1981. 84 с.
10. Бушуев Ю.Г. Свойства сетки водородных связей воды // Известия АН. Сер. химич. 1997. № 5. С. 928–931.
11. Коваленко В.Ф., Борюк А.Ю., Шутлов С.В. // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 7. С. 601–605.
12. Гончарук В.В., Орехова Е.А., Маляренко В.В. // Химия и технология воды. 2008. Т. 30, № 2. С. 150–158.
13. Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В. // Российский химический журнал. 2004. Т. 48, № 2. С. 125–135.
14. 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.
15. Семихина Л.П. Низкочастотная диэлектрометрия жидкостей в слабых вихревых электрических полях : автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Тюмень, 2006. 33 с.
16. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В., Кульченко А.К. // Вода и экология. Проблемы и решения. 2014. № 3. С. 21–32.
17. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С. // Вода и экология. Проблемы и решения. 2012. № 4. С. 43–50.
18. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Кульченко А.К., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В. // Вестник ТГАСУ. 2013. № 2. С. 235–244.
19. Лаптев Б.И., Сидоренко Г.Н., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Антошкин Л.В., Кульченко А.К. // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2014. № 9. С. 20–27.

**Авторский коллектив:**

**Лаптев Борис Иннокентьевич**, д-р биол. наук, профессор Nove tehnologije (Ljubljana, Slovenia). E-mail: bornovo@gmail.com

**Сидоренко Галина Николаевна**, канд. биол. наук, доцент Nove tehnologije (Ljubljana, Slovenia). E-mail: bornovo@gmail.com

**Горленко Николай Петрович**, д-р техн. наук, профессор кафедры химии общеобразовательного факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета (г. Томск, Россия). E-mail: Gorlen52@mail.ru

**Саркисов Юрий Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой химии общеобразовательного факультета Томского государственного архитектурно-строительного университета (г. Томск, Россия). E-mail: yu-s-sarkisov@yandex.ru

**Антошкин Леонид Владимирович**, канд. техн. наук, снс НИИ оптики атмосферы СО РАН (г. Томск, Россия).

**B.I. Laptev<sup>1</sup>, G.N. Sidorenko<sup>1</sup>, \*N.P. Gorlenko<sup>2</sup>, Yu.S. Sarkisov<sup>2</sup>, L.V. Antoshkin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Nove tehnologije (Ljubljana, Slovenia)*

<sup>2</sup> *Tomsk state university of control systems and radioelectronics (Tomsk, Russian Federation)*

<sup>3</sup> *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of Siberian Branch of the Russian Academy of Science (IAO SB RAS) (Tomsk, Russian Federation)*

\*E-mail: Gorlen52@mail.ru

## **STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN WATER AND IN AQUEOUS SOLUTIONS OF ELECTROLYTES UNDER VARIOUS EXTERNAL INFLUENCES**

*In the work the methods of assessing changes in the structure of water or aqueous electrolyte solutions under various external influences by determining the electrical capacitance of the fluid and q-factor resonant circuit in the frequency range from 1 kHz to 3000 kHz. The plates of the capacitor in different types of electrochemical cells locate opposite each other at a distance greater than 5 cm, or displaced relative to each other in parallel planes, or locate in one plane, and the liquid in this case is located above the capacitor plates. The current density on the plates in different cells is from 10 to 100 na/cm<sup>2</sup>. When measuring capacitance, the voltage applied to the plates, changes proportionally to the increase in the frequency of the generator.*

*This methodical approach increases the dynamic range of change of the signal from the electrochemical cell, reduces the impact of measurements on the structure of liquids and allows to indirectly estimate the direction and intensity of changes in the structures of distilled water, drinking and mineral water, and aqueous solutions at various influences, including changes in temperature, magnetic fields, the influence of the surface material in near-wall layer, and other factors. The criterion to assess the structure of aqueous solutions in the parietal layer and the criterion for assessing the drinking and mineral waters are offered.*

*It is shown that an increase (decrease) electric capacity and / or quality factor of an oscillatory circuit under different treatments reflects the increase (decrease) the mobility of the water dipoles in an alternating electric field (in usual and (or) resonant modes ), and obviously means a reduction (increase) of structure of water and aqueous solutions.*

**Keywords:** *water structure; clusters; boundary layer; capacitance; resonance; dielectrometry.*