БИОФИЗИКА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

Медленные вариации электропроводности дистиллированной воды

И. М. Агеев[a], Ю. М. Рыбин, Г. Г. Шишкин[b]

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет).
Россия, 125993, Москва, ГСП-3, А-80, Волоколамское ш., д. 4, МАИ.
E-mail: [a] imageev@mail.ru, [b] ggshiskin@mail.ru

Статья поступила 20.04.2016, подписана в печать 09.06.2016.

Проведены экспериментальные исследования по измерению удельной электропроводности дистиллированной воды в условиях медленно меняющейся ее температуры. Обнаружены периодические вариации электропроводности воды, наблюдаемые при скорости изменения температуры $dT/dt < 0.1$ К/ч. Периоды составляют более суток, амплитуды вариаций находятся в пределах от $+2.7\%$ до -2.3%. Обсуждаются возможные причины наблюдаемого явления.

Ключевые слова: удельная электропроводность воды, кондуктометрические ячейки, скорость изменения температуры, температурный коэффициент электропроводности, вариации проводимости воды.

УДК: 53.043. PACS: 66.10.–x, 51.20.+d, 67.80.Mg.

Введение

Влияние различных внешних физических факторов на свойства воды, в частности на ее электропроводность, хорошо известно [1, 2]. Это влияние связывают со структурными изменениями воды, образованием или разрушением цепочек водородных связей, кластеров и т. п. Однако многие наблюдаемые явления, в частности действие на воду слабых электрических и магнитных полей, корреляция ее свойств с солнечной активностью, до сих пор не находят объяснения [3, 4].

Современные представления о структуре воды изложены в обзоре [5], из которого следует, что, несмотря на значительные усилия как теоретиков, так и экспериментаторов, этот вопрос остается открытым. Ситуация осложняется тем, что вода практически никогда не бывает свободна от примесей, о влиянии которых на структуру воды также высказывались различные, часто прямо противоположные мнения [6, 7]. Естественно, при этом далеки от полного понимания и механизмы, лежащих в основе транспортных свойств воды, в частности механизм ее электропроводности.

Известно, что подвижность основных переносчиков электричества в воде — ионов гидроксила и протона (гидроксония) — необычайно велика по сравнению с подвижностью ионов других веществ. В 1806 г. фон Гротхус предположил, что пара противоположно заряженных частиц в молекуле, входящей в состав цепочки, простирающейся от одного электрода к другому, может поворачиваться и соединяться со следующей парой, передавая таким образом один заряд в одном направлении и противоположный заряд в другом направлении.

Н. Агмон [8, 9] выдвинул гипотезу о том, что аномально высокая подвижность протона обусловлена последовательностью изометризаций катионов $H_9O_4^+$ и $H_5O_2^+$. Дальнейшее развитие этой идеи приводит к следующей упрощенной картине движения заряда [10, 11]. Молекула воды соединяется с кластером типа $H^+(H_2O)_n$, а затем образовавшийся менее устойчивый кластер распадается, причем молекула воды отщепляется с противоположной стороны и таким образом заряд оказывается смещенным относительно его первоначального положения. Также рассматриваются механизмы перемещения заряда без распада структур, например процесс, исследованный в работе [12], описываемый реакцией

$$[H_9O_4]^+ + (H_2O)_4 \to (H_2O)_4 + [H_9O_4]^+.$$

Все предлагаемые модели базируются на существовании непрерывной сетки молекулярных связей или связанных кластерных образований, при этом предполагаются различные механизмы перемещения зарядов [10–13].

Подобные механизмы могут реализоваться и в случае воды с растворенными в ней примесями, когда в формировании кластеров принимают участие посторонние ионы. В реальных условиях вода всегда имеет примесную проводимость. Так, при контакте с воздухом, содержащим 0.033% углекислого газа, проводимость ультрачистой воды возрастает с 0.055 мкС/см до 1 мкС/см за счет эффективного растворения CO_2. Растворение металлических электродов, компонент воздуха и материала емкости, содержащей воду, также приводит к увеличению концентрации ионов в воде, которые находятся в гидратированном состоянии. При этом структура гидратной водяной оболочки иона может меняться при изменении параметров внешней среды и воздействии на воду различных факторов. Вопрос о динамике образования и распада структурных образований в воде далек от требуемого понимания. Некоторые исследователи вообще считают, что о структуре воды можно говорить только условно, поскольку время жизни водородных связей порядка

пикосекунд. С другой стороны, известно, что в то время, как обмен отдельной молекулы с объемной водой около иона кальция действительно происходит за время менее наносекунды, относительное расположение молекул около такого иона остается практически неизменным. Известны теоретические работы, в которых время изменения структуры воды оценивается секундами [1, 14] или даже несколькими днями [15].

Решение вышеперечисленных проблем требует дальнейшего экспериментального исследования свойств воды. Авторами предлагаемой работы проведены измерения электропроводности воды в условиях очень медленного изменения ее температуры и получены результаты, пока не нашедшие убедительного объяснения.

1. Аппаратура и условия эксперимента

Экспериментальные исследования были выполнены с использованием водных кондуктометрических ячеек (датчиков) в составе аппаратно-программного комплекса, структурная схема которого представлена на рис. 1.

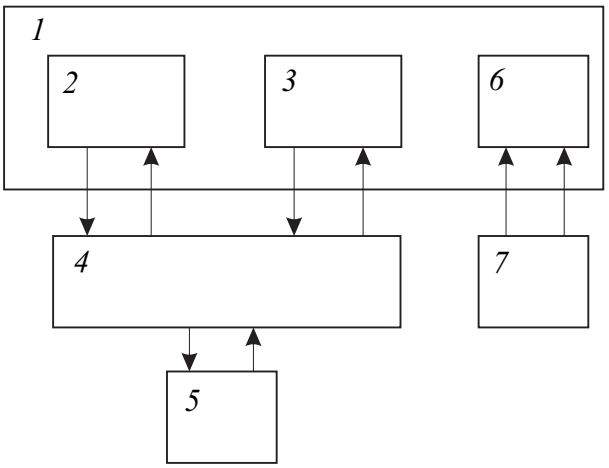

Рис. 1. Структурная схема экспериментального комплекса

Пассивный термостат (термоизолятор) *1* использовался для уменьшения скорости изменения температуры воды dT/dt в датчиках относительно скорости изменения температуры окружающей среды. В термостате *1* был также установлен электрический нагревательный элемент *6*, который при необходимости обеспечивал возможность повышения температуры воды в датчиках с более высокой скоростью. Нагреватель *6* подключался к внешнему источнику *7* с постоянным напряжением 3.8 В и потребляемым током около 0.5 А. Термостат с датчиками на время экспериментов устанавливался в изолированной темной комнате. Внутренний рабочий объем термостата цилиндрической формы имел размеры: высоту 28 см, диаметр 8 см. Два одинаковых датчика располагались на расстоянии друг от друга не более 4 см. Отличие измеренных значений проводимости и температуры воды с двух датчиков было небольшим и обусловливалось только качеством их градуировки. Термостат обеспечивал стабилизацию скорости изменения температуры воды в датчиках dT/dt около значения 0.03 К/ч.

В термостат помещались два одинаковых герметичных датчика *2* и *3*. Уровень герметизации исключал возможность контакта воздуха, находящегося в датчике, с воздухом окружающей среды, т. е. возможность испарения воды из датчика в процессе длительных экспериментов. В качестве материала корпуса датчиков использовался полиэтилен, толщина стенок датчика 0.5 мм. Датчики имели форму, близкую к цилиндрической: диаметр около 11 мм, высота около 40 мм. Два электрода в каждом датчике были изготовлены из нержавеющей стальной проволоки диаметром 0.65 мм и располагались вертикально вблизи стенок цилиндра. Около 10 мм каждого электрода были погружены в воду, расстояние между электродами было также около 10 мм. Для измерения температуры воды в каждый датчик был встроен терморезистор в стеклянном корпусе. Он располагался на оси цилиндрического корпуса датчика вертикально (между электродами) и как электроды был погружен в воду на 10 мм. Синхронность измерения проводимости воды в двух датчиках позволяла исключать случайные изменения, не связанные с исследуемыми процессами. В экспериментах использовалась дистиллированная вода с удельной электропроводностью около 2 мкС/см. Объем воды, заливаемой в каждый датчик, составлял около 1 мл, объем воздуха над поверхностью воды был около 2 мл. С выходов согласующего устройства *4* подавались синусоидальные напряжения (опорные сигналы) амплитудой 0.5 В и частотой около 200 Гц на электроды для измерения электропроводности воды и около 300 Гц на терморезисторы для измерения ее температуры. Опорные сигналы формировались программным генератором в персональном компьютере *5* и подавались на согласующее устройство *4* с выхода звуковой карты. Эти напряжения поддерживались на датчиках в течение всего времени эксперимента. Амплитудное значение переменного тока, протекавшего через воду в процессе измерения ее проводимости, составляло около 0.25 мкА, что соответствовало выделению мощности 0.09 мкВт. Переменный ток через терморезистор был около 5 мкА, что приводило к выделению мощности на нем около 1.8 мкВт. Суммарная выделяемая электрическая энергия от протекания указанных токов приводила к повышению температуры воды в датчике не более чем на 0.001 °С за 1 ч без учета теплообмена между датчиком и окружающей средой. С учетом теплообмена энергетический вклад этих сигналов в результаты измерений можно считать пренебрежимо малым.

Сигналы с датчиков поступали на входы двухканального согласующего устройства *4*, в каждом

канале которого формировался суммарный сигнал из смеси указанных двух частот, несущий информацию о текущих значениях проводимости воды и проводимости терморезистора данного канала. Звуковая карта ПК использовалась в качестве платы сбора данных, на которую поступали сигналы с выхода согласующего устройства *4*. Запись и цифровая обработка сигналов осуществлялись специальной программой. Программа обеспечивала цифровую частотную фильтрацию сигнала, демодуляцию, расчет удельной электропроводности воды, расчет текущей температуры воды и графическое представление результатов обработки в виде временных зависимостей [16, 17].

Измерения и регистрация полученных результатов осуществлялись непрерывно в автоматическом режиме с помощью подпрограммы записи, являющейся частью упомянутой программы. Предварительные эксперименты показали, что исследуемые параметры изменяются во времени относительно медленно, поэтому измерения и запись электропроводности и температуры воды в датчиках выполнялись 1 раз в час в течение 1 минуты.

Аппаратно-программный измерительный комплекс обеспечивал относительную точность измерений удельной электропроводности воды в датчиках не хуже ± 0.001 мкС/см и относительную точность измерения температуры воды — не хуже $\pm 0.001\,^{\circ}$C.

2. Результаты экспериментов

С помощью описанного аппаратно-программного комплекса в период с мая 2013 г. по март 2015 г. было выполнено 18 циклов измерений продолжительностью от 1 до 32 сут при температуре воды в интервале от 8 до 32$\,^{\circ}$C. Общая продолжительность полученных записей проводимости и температуры воды — более 3000 ч.

Практически во всех экспериментах проявлялась зависимость удельной электропроводности воды от скорости изменения ее температуры. Для иллюстрации такой зависимости на рис. 2 и 3 приведены графики по результатам двух десятисуточных экспериментов, выполненных в период с 4 по 26 июня 2014 г.

На рис. 2 изображена зависимость удельной электропроводности воды в одном из датчиков от температуры воды, где участки кривой *а*, *б* и *в* соответствуют различным значениям скорости изменения температуры dT/dt при ее нагревании.

До начала участка *а* вода находилась в условиях медленно меняющейся температуры (dT/dt около 0.02 К/ч) в течение 140 ч. При этом наблюдалось уменьшение проводимости при небольшом росте температуры. В начале участка *а* был включен электронагреватель *6*, который с этого момента оставался во включенном состоянии (он был выключен в процессе следующего эксперимента, рис. 3). В результате работы нагревателя *6* температура

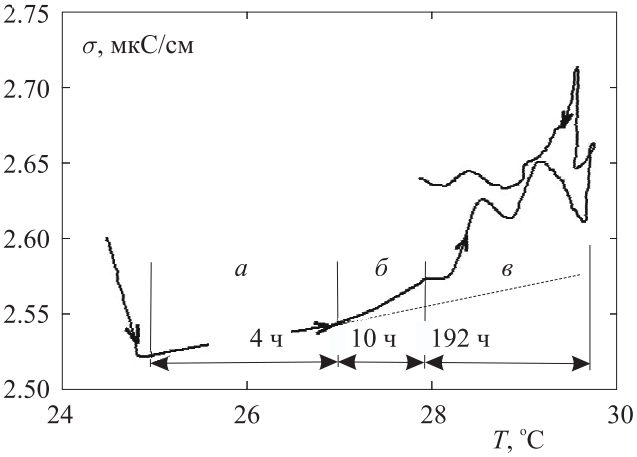

Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности воды от ее температуры в процессе нагревания при различной скорости изменения температуры. Стрелками показано направление течения времени

воды в датчике в течение примерно 4 ч повысилась с 25 до 27$\,^{\circ}$C, затем скорость ее роста уменьшилась и температура стабилизировалась на уровне около 28$\,^{\circ}$C. Скорость изменения температуры на участке *а* была около 0.5 К/ч. Видно, что на этом участке зависимость электропроводности от температуры практически линейна. Пунктирной линией обозначен наклон линейного участка. При подходе температуры воды к диапазону 27–28$\,^{\circ}$C скорость изменения температуры постепенно уменьшается до значения около 0.1 К/ч (участок кривой *б*, время измерения около 10 ч), при этом наклон кривой зависимости проводимости от температуры заметно отличался от наклона линейного участка *а*. И наконец, на участке кривой *в* температура воды в течение 8 сут сначала растет с 28 до 29.5$\,^{\circ}$C, а затем падает до 28$\,^{\circ}$C со скоростью не более 0.03 К/ч. Этот рост и падение температуры связаны с ее изменениями в помещении, сглаженными термостатом. Нетрудно видеть, что на участке кривой *в* на фоне температурного изменения удельной электропроводности воды проявляются медленные периодические вариации этой электропроводности.

На рис. 3 приведен график зависимости удельной электропроводности воды в том же датчике от ее температуры в процессе монотонного остывания при различных значениях скорости изменения температуры dT/dt.

Эксперимент рис. 3 являлся продолжением эксперимента рис. 2. До начала участка *а* вода находилась в условиях медленно меняющейся температуры (dT/dt около 0.02 К/ч) в течение 140 ч, электронагреватель *6* был включен. Видно, что при уменьшении температуры воды с 26.6 до 26.4$\,^{\circ}$C проводимость воды сначала растет, а затем падает, т. е. температурная зависимость проводимости аномальная. При выключении нагревателя в начале участка *а* температура воды в датчике понизилась с 26 до 24.5$\,^{\circ}$C за 3.3 ч со скоростью около 0.46 К/ч.

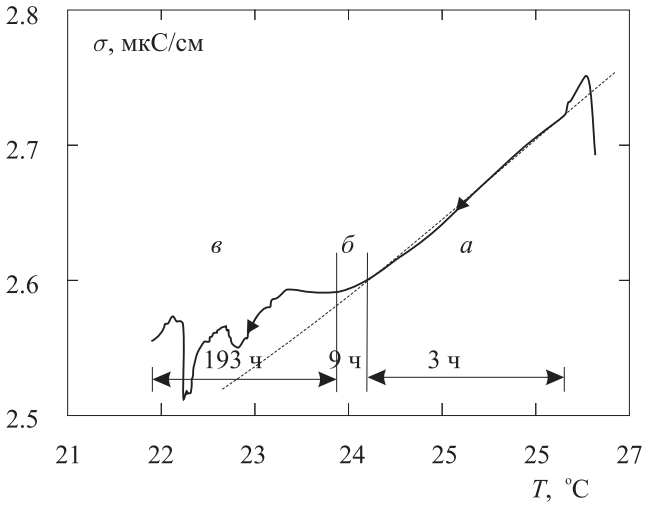

Рис. 3. Зависимость удельной электропроводности воды от температуры в процессе ее остывания при различной скорости изменения температуры. Стрелками на графике показано направление течения времени

Видно, что, как и при нагреве, на участке с относительно большой скоростью уменьшения температуры воды зависимость электропроводности от температуры практически линейна. Пунктирной линией также обозначен наклон линейного участка. При подходе системы к диапазону изменения температур 24.5–23.8°C скорость остывания воды уменьшается до значения около 0.1 К/ч (участок кривой *б*), при этом наклон кривой зависимости проводимости от температуры также начинает отличаться от наклона линейного участка *а*. И наконец, на участке кривой *в* температура воды в течение 8 сут уменьшается с 23.8 до 22°C со средней скоростью не более 0.03 К/ч. Нетрудно видеть, что на этом участке кривой, как и при нагреве воды (рис. 2), в изменении удельной электропроводности воды наблюдаются ее медленные периодические вариации.

Выше приведены данные только с одного из датчиков. Данные с другого (параллельного) датчика имели некоторые отличия в части абсолютных значений электропроводности и температуры, но все функциональные зависимости измеряемых величин в обоих датчиках были идентичны.

Из графиков рис. 2 и 3 видно, что нелинейная и даже немонотонная зависимость проводимости воды от температуры наблюдается при малой скорости ее нагрева (охлаждения) в диапазонах температур 28–29°C и 22–24°C соответственно. Аналогичные эффекты наблюдались в двухсуточном эксперименте 17 июня 2013 г. при температуре воды около 8°C (с использованием дополнительного холодильника), а также в двухсуточном эксперименте 17 апреля 2014 г. при температуре воды около 32°C. Во всех описанных экспериментах удельная электропроводность воды в датчиках была в пределах 1.4–2.9 мкС/см.

Зависимости, подобные представленным на рис. 2 и 3, наблюдались в большинстве других экспериментов. На рис. 4 приведены графики изменения температуры и проводимости, полученные в сентябре 2014 г. в течение более продолжительного времени.

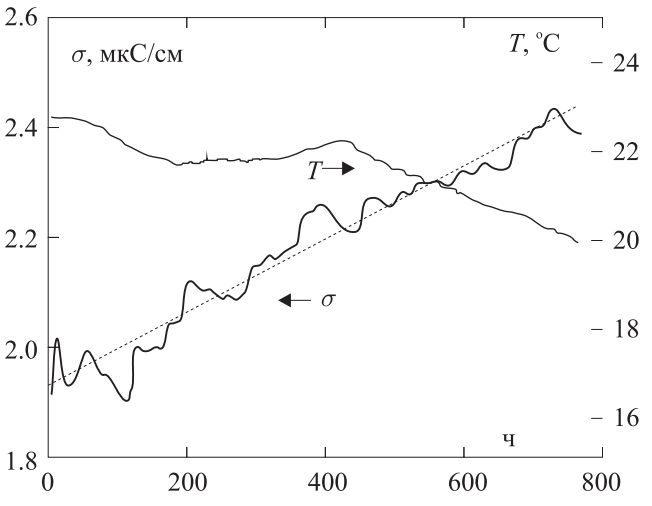

Рис. 4. Изменение удельной электропроводности воды и ее температуры от времени в течение 32 сут

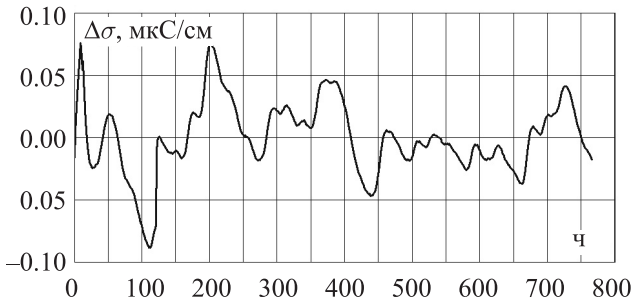

Рис. 5. Флуктуации проводимости воды после компенсации изменений температуры и постоянного тренда

Тонкой линией на рисунке изображено изменение температуры, толстой — изменение электропроводности и штриховой линией обозначен линейный дрейф проводимости. Дрейф обусловлен растворением элементов конструкции датчика (прежде всего стеклянного корпуса терморезистора) и составлял в среднем 0.96% в сутки. При этом за временной период 200–400 ч при относительно постоянной температуре воды дрейф был около 1.2% в сутки. За период 400–768 ч при охлаждении воды на 2°C дрейф был около 0,88% в сутки, т. е. здесь рост проводимости воды за счет процесса растворения доминировал над падением проводимости за счет охлаждения воды. Очевидно, сравнительно небольшие колебания температуры (около 3°C за 768 ч) можно учесть и выполнить соответствующую корректировку значений проводимости, считая зависимость линейной и известный температурный коэффициент проводимости 2–3% на 1°C. После этого, исключив тренд кривой, получим кривую, изображенную на рис. 5. Здесь представлены отклонения проводимости от прямой линии дрейфа (штриховая линия на рис. 4), которые показывают характер и величину нетемпературных долговременных вариаций проводимости воды в данном эксперименте в течение 32 сут измерений.

3. Обсуждение результатов

Общая продолжительность полученных записей проводимости и температуры воды более 3000 ч дает основание считать реальным существование вариаций проводимости воды, которые наблюдаются при медленных скоростях изменения температуры и носят периодический характер.

Приведенные результаты экспериментов показывают, что проводимость воды следует за медленными изменениями температуры, но на ее линейную зависимость (на графиках *2* и *3* эта зависимость обозначена штриховой линией) накладывается сильное квазипериодическое возмущение, вызванное некоторым внешним фактором, природа которого пока не выяснена.

При быстром изменении температуры медленное изменение проводимости, вызванное внешним воздействием, не искажает линейный характер зависимости, но изменяет температурный коэффициент проводимости. Так, измерение, соответствующее участку *a* рис. 2, пришлось на фазу снижения проводимости воды под действием внешнего фактора. Поэтому коэффициент температурной проводимости при нагревании оказался существенно меньше известной величины (2–3% при нагреве на 1°C). При охлаждении воды (участок *a* рис. 3) уменьшение проводимости за счет остывания суммируется с ее уменьшением за счет внешнего воздействия и коэффициент температурной проводимости оказывается больше табличного значения.

Легко оценить минимальную скорость изменения температуры, при которой эффект влияния неизвестного фактора будет проявляться достаточно отчетливо. Изменения проводимости, обусловленные действием этого фактора при одновременном нагревании или охлаждении, должны быть сравнимы с изменениями проводимости за счет температурных изменений. Поскольку характерная величина факторных изменений проводимости, как следует из рис. 5, составляет приблизительно 0.05 мкС/см, а период наблюдаемых колебаний более суток, аномальная зависимость проводимости от температуры должна отчетливо наблюдаться при скорости нагревания или охлаждения не более 0.04 К/ч.

Проводимость воды определяется концентрацией ионов и их подвижностью. Поскольку проводимость предельно чистой воды на два порядка ниже проводимости воды, использовавшейся в экспериментах, определяющее значение имеет присутствие в воде ионов примеси. Наиболее существенное влияние в наших условиях, по-видимому, оказывают ионы CO_3^{-2}, HCO_3^- и, возможно, ионы металлов из электродов. В отличие от ионов OH^- и H^+, имеющих подвижность соответственно $20.5 \cdot 10^{-8}$ и $36.3 \cdot 10^{-8}$ $м^2 \cdot В^{-1} \cdot с^{-1}$, подвижность в воде других ионов обычно лежит в пределах от $4 \cdot 10^{-8}$ до $8 \cdot 10^{-8}$ $м^2 \cdot В^{-1} \cdot с^{-1}$. Учитывая эти обстоятельства, можно заключить, что растворение в воде примесей имеет два важных для рассматриваемого вопроса следствия. Во-первых, растворение в воде углекислого газа приводит в итоге к увеличению концентрации наиболее подвижных ионов — ионов водорода [18] в соответствии с реакцией

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow (H_2CO_3) \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-.$$

Диссоциация иона HCO_3^- для увеличения концентрации ионов водорода несущественна (константы реакций соответственно $4.32 \cdot 10^{-7}$ и $4.69 \cdot 10^{-11}$). Во-вторых, растворение примесей приводит к существенному изменению внутренней структуры жидкости, в результате образования вокруг ионов внутренней (ближней) и внешней (дальней) гидратных оболочек, причем доли и свойства этих оболочек, рассматриваемых как отдельные фазы, определяются строением гидратированного раствора и структурой растворителя [19].

Также велика вероятность существования плоских замкнутых структур с числом атомов кислорода, не превышающим единиц или десятков, но многие исследователи не исключают возможность существования кластеров, состоящих из сотен и тысяч молекул, и даже существование комплексов с размерами более 10 мкм [20]. Предполагается, что в этом случае возможен перенос протона на молекулы, образующие поверхность кластера, при этом протон мигрирует по поверхности кластера и стабилизирует его. Заметим также, что устойчивость кластеров, образующихся около многозарядных ионов, таких как, например, CO_3^{-2}, гораздо выше, чем устойчивость чисто водных кластеров.

Если рассмотренная ситуация действительно реализуется, то при повышении (понижении) температуры одновременно с возрастанием (уменьшением) концентрации ионов будет происходить разрушение (формирование) гидратных оболочек или цепочек молекул, что вызовет уменьшение (увеличение) подвижности протонов. Эти процессы действуют в противоположном направлении в отношении изменения проводимости воды. Поэтому, предположив, что время трансформирования гидратной оболочки при изменении температуры отличается от времени диссоциации, можно ожидать, что температурный коэффициент проводимости будет зависеть от скорости изменения температуры.

Несмотря на высокую степень герметизации датчика, его тонкие стенки не препятствуют изменению давления внутри него при изменении внешнего давления. Поскольку количество растворенного газа зависит от давления воздуха над поверхностью воды, можно предположить, что наблюдаемые вариации проводимости связаны с периодическим изменением атмосферного давления. Для оценки этой связи были рассчитаны коэффициенты корреляции между вариациями проводимости воды, измеренными в двух 30-дневных экспериментах в январе и марте 2015 г., и вариациями атмосферного давления из соответствующих баз данных метеонаблюдений. Если

в январском эксперименте наблюдалась корреляция с коэффициентом 0.4, то в мартовском эксперименте корреляция практически отсутствует (коэффициент меньше 0.01). Поэтому, не исключая полностью влияние внешнего давления на проводимость воды, приходится признать существование другого внешнего фактора, действующего на воду. При этом можно предположить, что неизвестный фактор воздействует именно на структуру воды гидратных оболочек как наиболее уязвимое и легко разрушаемое образование. В результате этого изменяется проводимость за счет изменения подвижности ионов водорода и гидроксила. Естественно, высказанные соображения по поводу физических механизмов наблюдаемого феномена являются предположениями, требующими дальнейших исследований.

Заключение

Обнаружена аномальная зависимость электрической проводимости дистиллированной воды, наблюдаемая при медленных изменениях ее температуры. При этом вариации проводимости во времени имеют выраженный периодический характер.

Показано, что при скоростях изменения температуры в интервале 0.1–0.5 K/ч температурная зависимость проводимости воды практически линейна, однако значения температурного коэффициента проводимости в этом случае существенно отличаются от известных табличных значений. При скоростях изменения температуры меньше 0.1 K/ч зависимость проводимости от температуры носит аномальный (нелинейный) характер.

Высказано предположение, что описанные медленные вариации электропроводности дистиллированной воды связаны с вариациями подвижности основных носителей зарядов в воде — ионов водорода.

Список литературы

1. *Fesenko E.E., Gluvstein A.Ya.* // FEBS Letters. 1995. **367**. P. 53.
2. *Агеев И.М., Рыбин Ю.М., Шишкин Г.Г.* и др. // 5 Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине»: Сб. избр. трудов. СПб., 2009. С. 155.
3. *Boulanger L.* // Int. J. Biometeorol. 1998. **41**. P. 137.
4. *Агеев И.М., Шишкин Г.Г., Бубнова М.Д., Рыбин Ю.М.* // Научные труды VI Международного конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». СПб., 2012. С. 38. http://www.biophys.ru/archive/congress2012/proc-p2.pdf.
5. *Захаров С.Д., Мосягина И.В.* Кластерная структура воды (обзор). М.: ФИАН, 2011.
6. *Mancinelli R., Botti A., Bruni F.* et al. // Phys. Chem. Chem. Phys. 2007. **9**. P. 2959.
7. *Omta A.W., Kropman M.F., Woutersen S., Bakker H.J.* // Science. 2003. **301**. P. 347.
8. *Agmon N.* // Chem. Phys. Lett. 1995. **244**, N 5–6. P. 456.
9. *Chen H., Voth G.A., Agmon N.* // J. Phys. Chem. B. 2010. **114**. P. 333.
10. *Zundel G.* // Adv. Chem. Phys. 2000. **111**. P. 1.
11. *M. Eigen.* // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1964. **3**. P. 1.
12. *Han J., Zhou X., Liu H.* // J. of Power Sources. 2006. **161**. P. 1420.
13. *Gileadi E., Kirowa-Eisner E.* // Electrochimica Acta. 2006. **51**. P. 6003.
14. *Pershin S.M.* // Phys. Wave Phen. 2003. **11**. P. 89.
15. *Takaizumi K.* // J. Solution Chem. 2005. **34**. P. 597.
16. *Рыбин Ю.М., Агеев И.М., Бубнова М.Д.* // Электронный журнал «Труды МАИ». 2011. № 48. http://www.mai.ru
17. *Агеев И.М., Абаркин А.П., Рыбин Ю.М.* // Программа для сбора и обработки данных с использованием звуковой карты компьютера: Свид. о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2013616990 от 30.07.2013.
18. *Light T.S., Kingman E.A., Bevilacqua A.C.* // Paper presented at the 209th American Chemical Society National Meeting. Anaheim, CA, April 2–6, 1995.
19. *Самойлов О.Я.* // Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
20. *Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В.* // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2004. **XLVIII**, № 2. С. 125.

Slow variations of the electroconductivity of distilled water

I. M. Ageev[a], Yu. M. Rybin, G. G. Shishkin[b]

Moscow State Aviation University (MAI), Moscow 125993, Russia.
E-mail: [a] imageev@mail.ru, [b] ggshiskin@mail.ru.

The conductivity of distilled water with a slow change in temperature has been measured experimentally and studied. Periodic variations in the electrical conductivity of water have been found, which are observed at the rate of temperature change $dT/dt < 0.1$ K/h. The periods were longer than 24 h; the amplitudes of the variation ranged from + 2.7% to ˝ 2.3%. The possible causes of the observed phenomena are discussed.

Keywords: specific conductivity of water, rate of temperature change, temperate factor of conductivity, long-term fluctuations of water electroconductivity.

PACS: 66.10.–x, 51.20.+d, 67.80.Mg.

Received 20 April 2016.

English version: *Moscow University Physics Bulletin.* 2016. **71**, No. 6. Pp. 556–561.

Сведения об авторах

1. Агеев Игорь Михайлович — канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник; e-mail: imageev@mail.ru.
2. Рыбин Юрий Маратович — канд. техн. наук, доцент; e-mail: rym49@rambler.ru.
3. Шишкин Геннадий Георгиевич — доктор техн. наук, профессор; e-mail: ggshishkin@mail.ru.