

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ КОНДУКТОМЕТРИИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА ЧИСТОЙ ВОДЫ

**Батуров Л.Н.,**

к.ф.-м.н., с.н.с.,

ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт  
физико-технических и радиотехнических измерений

levbaturov@ya.ru

**Говор И.Н.,**

к.ф.-м.н., с.н.с.,

ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт  
физико-технических и радиотехнических измерений

yaw@ya.ru

**Аннотация.** Показана возможность применения метода контактной кондуктометрии к большому объему чистой воды при ее свободном контакте с атмосферой. Обнаружены новые явления, связанные с проводимостью воды.

**Ключевые слова:** чистая вода, проводимость.

## THE INVESTIGATION OF THE CONTACT CONDUCTOMETER METHOD PECULIARITIES, APPLIED TO A BIG VOLUME OF PURE WATER

**Baturov L.N., Govor I.N.,**

State Scientific Center of the Russian Federation  
National Research Institute for Physical – Technical  
and Radio Engineering Measurements

**Abstract.** It was showed the possibility of application of the contact conductometer method to a big volume of pure water, that was in free contact with atmosphere. It was found new phenomena related to the water conductance.

**Keywords:** pure water, electrical conductance.

**В** настоящее время, несмотря на достигнутые успехи в деле изучения структуры воды и ее свойств [1], интенсивные исследования в этом направлении продолжаются, в том числе и в ведущих отечественных физических институтах [2]. Электрическая проводимость воды является одним из параметров, чувствительных к ее структурным изменениям, а относительная простота оборудования для ее измерения делает методы кондуктометрии доступными инструментами исследования. В настоящее время прецизионные измерения проводимости  $G$  воды, как правило, проводятся методом контактной кондуктометрии жидкостей [3] в кондуктометрических ячейках малого объема. В частности, на этой основе построен эталон ВНИИФТРИ проводимости воды [4] для значений удельной электрической проводимости (УЭП) в диапазоне от 0,001 до 10 См/м (от 10 до 10<sup>5</sup> мкСм/см). Проводимость более чистой воды

(УЭП порядка 1 - 2 мкСм /см и ниже) уже измерять в ячейке затруднительно ввиду ее чрезвычайно высокой сорбционной способности. В то же время, для решения задач, связанных с изучением структурных изменений в воде при наличии каких-либо слабых воздействий на нее, очевидно, требуются как можно более чистые объекты исследования. Одной из таких задач, как отмечалось в [5], является изучение эффектов, связанных с процессом растворения молекул газов O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub> в воде, например, при ее свободном контакте с атмосферой. Реализовать условия для решения таких задач, в принципе, возможно, если поместить чистую воду в контейнер (с размещенными в нем измерительными электродами) достаточно большого объема, предварительно очищенный той же водой. В этом случае можно было ожидать, что ввиду значительно большего, чем в ячейке, отношения объема исследуемой воды к площади газящей

внутренней поверхности контейнера, проводимость воды будет слабо меняться в течение длительного времени. Целью настоящей работы было выяснение практической возможности и особенностей такого способа измерения.

В качестве объекта исследования использовалась вода, очищенная фильтром фирмы Millipore (УЭП не выше 0,7 мкСм/см при 20 °С). При измерениях использовался мост Е8-2 с внешними генератором и индикатором (осциллографом с селективным усилителем на входе). Измерительные электроды (размером 10 x 5 мм<sup>2</sup> с расстоянием  $\Delta = 5$  мм между ними), размещались вертикально на геометрической оси цилиндрического нержавеющей контейнера с горизонтальной ориентацией их длинных сторон в центре исследуемого объема. Вблизи измерительных электродов размещался миниатюрный термоэлемент Pt100, работающий в комплекте с цифровым измерителем температуры с абсолютной погрешностью измерения не более 0,1 °С. Балансировка моста при измерениях производилась вручную и значения наблюдаемой проводимости  $G_{об}$  снимались со шкал моста. Каждый цикл измерений проводился при непрерывной подаче напряжения на электроды. Схема измерительного устройства представлена на рис. 1.

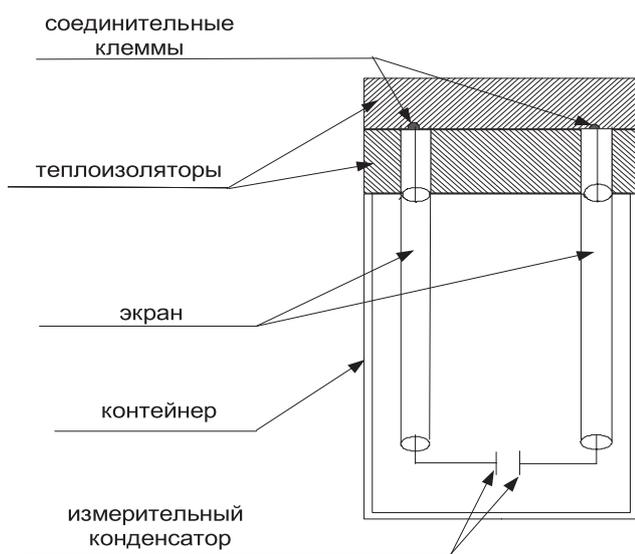


Рис. 1. Схема измерительного устройства.  
Назначение теплоизоляторов – предотвращение выпадения водного конденсата между соединительными клеммами.

Измерения проводились при постоянных значениях температуры  $T$  с ее стабилизацией (в диапазоне 21 - 22 °С) в пассивном термостате. Контейнер с электродами погружался в балластную воду объемом 4-5 л с необходимой температурой на глубину 100 мм и в него заливалась исследуемая вода примерно той же температуры. Все это оборудование помещалось в теплоизолированный объем. Измерения начинались через 2,5 - 3 часа. За это время происходило окончательное насыщение воды углекислым газом (что гарантировало отсутствие вклада, связанного с процессом его поглощения, во временную зависимость  $G_{об}(t)$ ) и выравнивание значений  $T$  по обе стороны от стенки контейнера с установлением постоянной скорости изменения  $T$ , которая не превышала 0,005 °С/ч.

Начальные измерения проводились в воде, помещаемой в металлический нержавеющей контейнер объемом 650 мл и высотой водного столба, равной 100 мм. Было обнаружено, что после подачи напряжения  $U = 6$  В на измерительные электроды и баланса измерительного моста, через минуту происходит его разбаланс. Соответствующие разбалансу значения  $G_{об}$  менялись со временем  $t$  нерегулярным образом, при этом изменения  $\Delta G_{об}(t)$  достигали десяти и более процентов от величины начальной проводимости  $G_{об}(0)$ , наблюдаемой в момент подачи напряжения  $U$  (рис. 2). Кривые  $G_{об}(t)$  демонстрировали колебательный характер изменений  $G_{об}$  в течение всего временного интервала наблюдения, достигавшего трех часов и более. В любой момент времени характеристики соответствующего разбалансу эллипса на экране осциллографа (т.е. наклон его осей и соотношение их длин) не менялись при изменении напряжения  $U$  в диапазоне от 6 до 3 В, что свидетельствует о независимости наблюдаемой величины проводимости  $G_{об}$  и характера ее временной зависимости  $G_{об}(t)$  от значений  $U$ . Указанное явление наблюдалось вплоть до значения  $U=15$  мВ с той же степенью интенсивности. При существенно меньших значениях  $U$  измерения уже становились невозможными из-за падения чувствительности используемого нами оборудования.

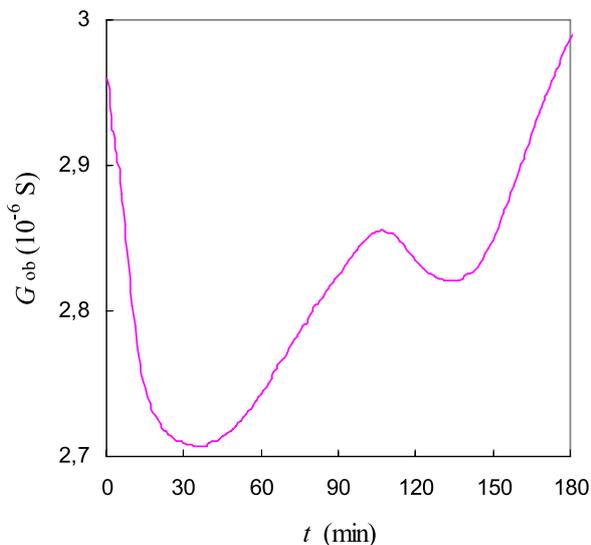


Рис. 2. Пример временной зависимости  $G_{ob}$  при комнатной температуре с  $V=650$  мл с малым значением  $G_{ob}(0)$ .

В замкнутом объеме кондуктометрической ячейки рассматриваемое явление не наблюдалось.

Обнаруженный нами колебательный процесс представлял собой помеху адекватному измерению проводимости, для поиска путей устранения которой необходимо было изучить свойства данного явления. Оказалось, что при постоянной температуре характер кривых  $G_{ob}(t)$  зависит от начальной проводимости  $G_{ob}(0)$  воды, величины ее объема  $V$  в контейнере и межэлектродного расстояния  $\Delta$ .

Увеличение значений  $G_{ob}(0)$  приводит к появлению более частых колебаний  $G_{ob}$ , независимо от того, добавление какого раствора приводило к этому увеличению. (С целью использования максимальной чувствительности измерительного моста мы ограничились величинами  $G_{ob}(0)$  в диапазоне от 2,5 до 7 мкСм, что примерно соответствовало значениям УЭП воды в контейнере (приведенным к 20 °С) в диапазоне от 1,2 до 3,5 мкСм/см).

Зависимость кривых  $G_{ob}(t)$  от объема  $V$  исследуемой воды изучалась в контейнерах с рабочими объемами  $V = 650, 325, 200$  и  $100$  мл с размещением измерительных электродов в центре водного объема на расстояниях  $H$  от дна контейнера, соответственно

равных 50, 25, 50 и 25 мм. При двух последних значениях  $V$  исследования кривых  $G_{ob}(t)$  проводились в стеклянных контейнерах. Оказалось, что уменьшение  $V$  от 650 до 100 мл приводит к радикальному изменению вида кривых  $G_{ob}(t)$  (рис. 3). В случае воды с малым значением начальной проводимости  $G_{ob}(0)$  кривые  $G_{ob}(t)$  демонстрировали постепенное сокращение временного интервала с колебательным характером изменения  $G_{ob}$  и последующее их вырождение в монотонно растущие функции с аномально большими производными  $\partial G_{ob}(t)/\partial t$  в первые минуты наблюдения (рис. 3а). При большом значении  $G_{ob}(0)$  колебательный характер кривых  $G_{ob}(t)$  сохранялся, но при этом наблюдалось значительное (в несколько раз) сокращение “периода” колебаний (рис. 3б).

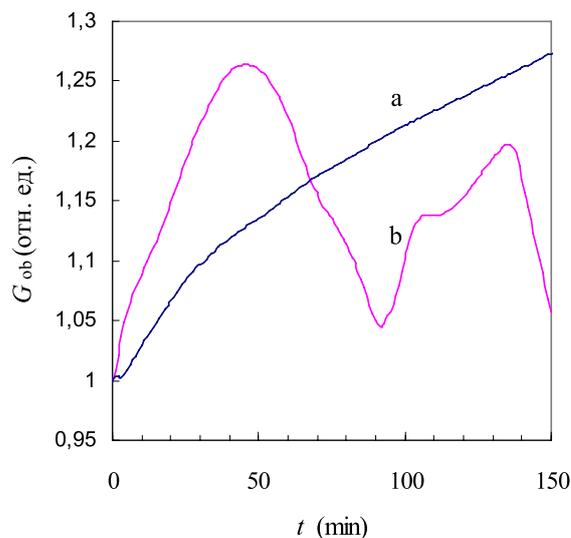


Рис. 3. Характер кривых  $G_{ob}(t)$  в объеме  $V=100$  мл при малом (а) и большом (б) значениях  $G_{ob}(0)$ .

Зависимость от расстояния между электродами исследовалась при  $V=650$ мл. Оказалось, что при любом значении  $G_{ob}(0)$  уже при  $\Delta = 2$  мм кривые  $G_{ob}(t)$  представляют собой лишь монотонные функции с аномально большими производными  $\partial G_{ob}(t)/\partial t$  в первые минуты наблюдений, а при  $\Delta = 1,5$  мм вырождаются в простую линейную зависимость (рис. 4).

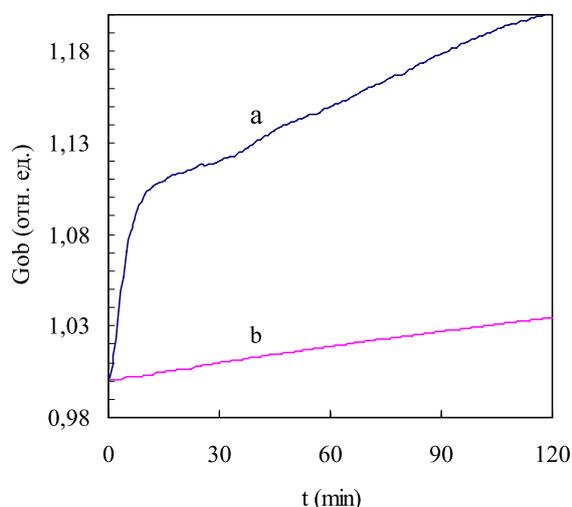


Рис. 4. Характер кривых  $G_{об}(t)$  в объеме  $V = 650$  мл и большом значении  $G_{об}(0)$  в зависимости от расстояния  $\Delta$  между электродами:  
 а -  $\Delta = 2$  мм; б -  $\Delta = 1.5$  мм.

Следует также отметить, что колебательный процесс развивался только в условиях непрерывного наличия напряжения  $U$  на электродах. При подачи же  $U$  короткими цугами (3 - 5 сек), следующими, к примеру, с интервалом в одну минуту, баланс моста сохранялся вблизи значений  $G_{об}(0)$ .

Все выше перечисленные особенности изучаемого явления были воспроизводимы.

**Выводы.** Таким образом, применение метода контактной кондуктометрии к большому объему чистой воды при ее свободном контакте с атмосферой позволило обнаружить новое явление в физике воды – индуцирование переменным электрическим полем нерегулярных колебаний ее проводимости. Дальнейшее изучение деталей обнаруженного яв-

ления и обсуждение его физической природы должно быть предметом отдельной работы. Здесь же только отметим невозможность его объяснения какими-либо сопутствующими явлениями (например, воздействием электрического поля на заряды двойного электрического слоя на измерительных электродах), поскольку все эти явления имеют место как при  $\Delta > 2$  мм (колебания есть), так и при  $\Delta < 2$  мм (колебаний нет). Для целей же настоящей работы решающее значение имеет отсутствие каких-либо аномалий на временных зависимостях  $G_{об}(t)$  при  $\Delta \leq 1,5$  мм (рис. 4б), что позволяет при таких значениях межэлектродного расстояния в большом исследуемом объеме воды адекватно изучать явления, связанные с ее проводимостью, при этом контакт воды с атмосферой, как это следует из того же рис. 4б, не является осложняющим фактором. (Скорость изменения  $G_{об}$  на рис. 4б, не превышающая 2% в час, определяется степенью газации поверхности металлического контейнера и может быть существенно уменьшена заменой металла на стекло или пластик. Предварительные опыты также показали, что при использовании стеклянных или пластиковых контейнеров указанные явления можно изучать при начальных значениях УЭП не выше 0,45 - 0,5 мкСм/см).

Практическое применение описанного метода исследования  $G_{об}$  с  $\Delta \leq 1,5$  мм позволило обнаружить еще одно новое явление [6] - аномально большие изменения проводимости воды в любой точке ее объема при изменениях в распределении градиента температуры по высоте в этом объеме.

Авторы выражают свою благодарность сотруднику ИОФ РАН С. М. Першину за интерес к работе, С. В. Кузнецову и А. А. Митину за техническую помощь.

### Список литературы

1. Chaplin M. Water Structure and Science. <http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html>.
2. <http://www.biophys.ru/archive/spb2013.htm>.
3. Грилихес М.С., Филановский Б.К. Контактная кондуктометрия. - Л.: Химия, 1980.
4. Овчинников Ю. А., Суворов В. И., Левцов В. И. // Измерительная техника. – 2003. - №1. - С. 23.
5. Захаров С. Д., Мосягина И. В. //Кластерная структура воды. - Препринт ФИАН. – 2011. - №11.
6. Батуров Л. Н., Говор И. Н. //Биофизика. – 2015. - Т. 60. - №. 1 - С. 197.