

## АНОМАЛИИ НА ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ОХЛАЖДЕНИИ

© 2015 г. Л.Н. Батуров, И.Н. Говор

*ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, 141570, Менделеево Московской области*

Поступила в редакцию 09.09.14 г.

С использованием емкостного метода при температурах ниже 25°C с погружением измерительных электродов в исследуемую воду объемом 650 мл, помещенную в цилиндрический негерметичный контейнер, изучены зависимости  $G(t)$  электрической проводимости  $G$  воды, очищенной на фильтре Millipore, от времени  $t$  при ее охлаждении. Обнаружено, что изменения в распределении градиента температуры по высоте в исследуемом объеме воды вызывают аномально большие изменения ее проводимости во всем этом объеме. Показано, что контакт воды с атмосферой не является определяющим фактором наличия обнаруженного явления.

*Ключевые слова:* вода, проводимость.

В данной работе исследовали электрическую проводимость  $G$  воды из фильтра фирмы Millipore (с удельной электрической проводимостью не выше 1,5 мкС/см при 20°C), используя емкостный метод при частоте 30 кГц переменного электрического поля с погружением измерительных электродов в исследуемый объем воды при его свободном контакте с атмосферой. Целью исследования было выяснение особенностей такого способа измерения по сравнению с его каноническим вариантом – измерением  $G$  в замкнутом объеме кондуктометрической ячейки [1].

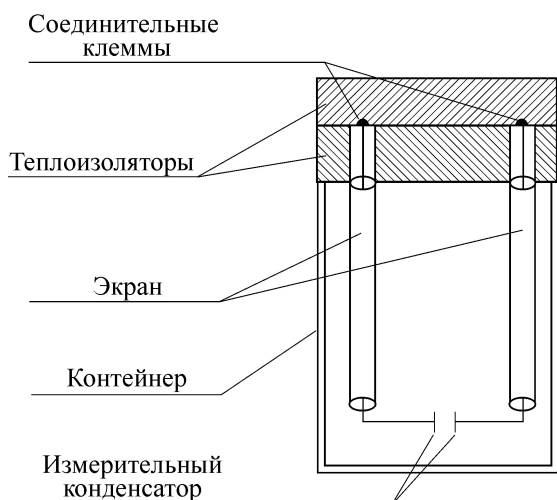
### ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

При измерениях использовали мост Е8-2 с внешними генератором и индикатором. Измерительные электроды (размером 10 × 5 мм с расстоянием 1,5 мм между ними) размещали вертикально на геометрической оси цилиндрического нержавеющей металлического контейнера (с рабочим объемом  $V = 650$  мл и высотой водного столба 100 мм) с горизонтальной ориентацией длинных сторон на расстоянии  $H$  их центра от дна контейнера. Вблизи оси цилиндра соответственно при  $H = 95, 50$  и 5 мм находились три миниатюрных термоэлемента Pt100, работающих в комплекте с цифровым измерителем температуры с абсолютной погрешностью измерения не более 0,1°C. Балансировку моста при измерениях производили вручную и значения наблюдаемой проводимо-

сти  $G_{ob}$  снимали со шкал моста. Измерительная схема опыта, представленная на рис. 1, обеспечивала измерение проводимости практически лишь в межэлектродном объеме воды.

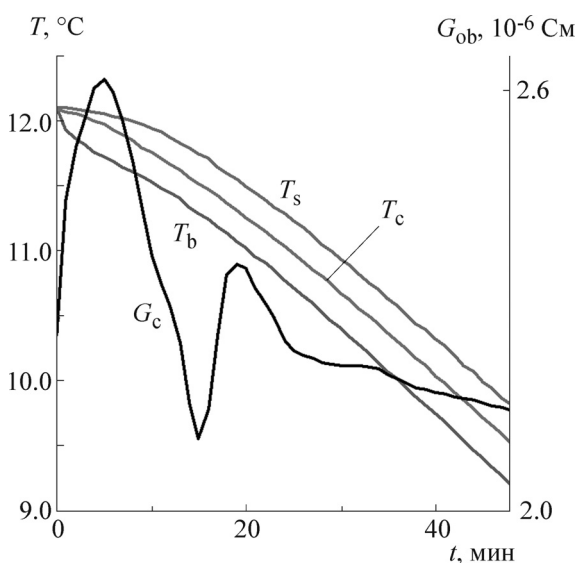
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оказалось, что при помещении в морозильную камеру теплоизолированного контейнера с водой (предварительно выдержанного в пассивном термостате в течение времени  $t = 30$ –40 мин) при любом расположении электродов наблюдается интенсивный рост значений  $G_{ob}$  в первые же минуты процесса охлаждения. Характер кривых  $G_{ob}(t)$ , полученных за время наблюдения в течение 1,5 ч, представлял собой при  $H = 50$  и 95 мм выраженные пики с последующим переходом к падению значений  $G_{ob}$  в полном соответствии с изменениями температуры (рис. 2, 3). В придонных слоях ( $H = 5$  мм) характер кривой  $G_{ob}(t)$  был иной, как представлено на рис. 4, на котором также виден парадоксальный характер изменений значений  $G_{ob}$  – их интенсивный рост при быстром падении температуры  $T_b$  в придонной области. Очевидно, что этот рост нельзя объяснить ни поглощением углекислого газа (он уже весь поглощен до помещения в камеру), ни газацией поверхности контейнера, который до эксперимента предварительно очищался водой с удельной электрической проводимостью 0,7 мкС/см. В то же время на рис. 2–4 отчетливо видно, что аномальная область кривой  $G_{ob}(t)$  соответ-

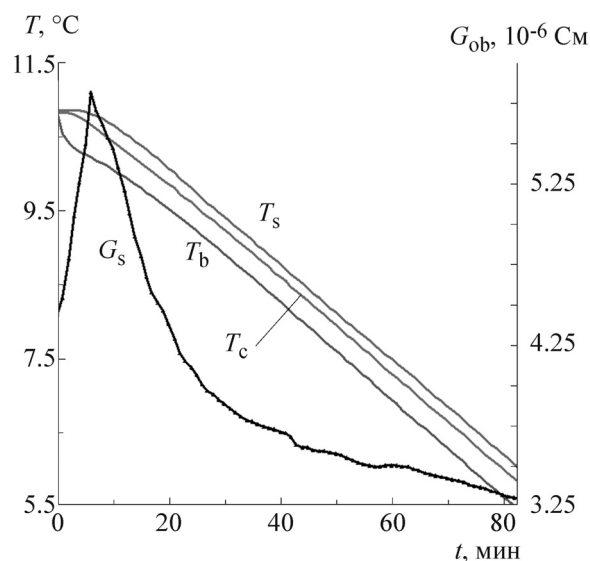


**Рис. 1.** Схема измерительного устройства. Назначение теплоизоляторов – предотвращение выпадения водного конденсата между соединительными клеммами.

ствует диапазону температур, в котором распределение градиента  $T$  по высоте объема непрерывно меняется и, наоборот, «нормальный» температурный ход значений  $G_{об}$  соответствует диапазону с установившимся распределением градиента  $T$ . Наличие такого «нормального» участка на кривых  $G_{об}(t)$  указывает на отсутствие связи аномалий на тех же кривых с сопутствующими явлениями: возможной деформацией двойного электрического слоя на электродах конвекционными потоками воды или электрическим полем, нагревом воды электрическим полем в межэлек-



**Рис. 3.** Временные зависимости температуры в разных слоях воды ( $T_s$  – вблизи поверхности,  $T_b$  – вблизи дна,  $T_c$  – в центре объема) и проводимости  $G_c(t)$  в центре объема.

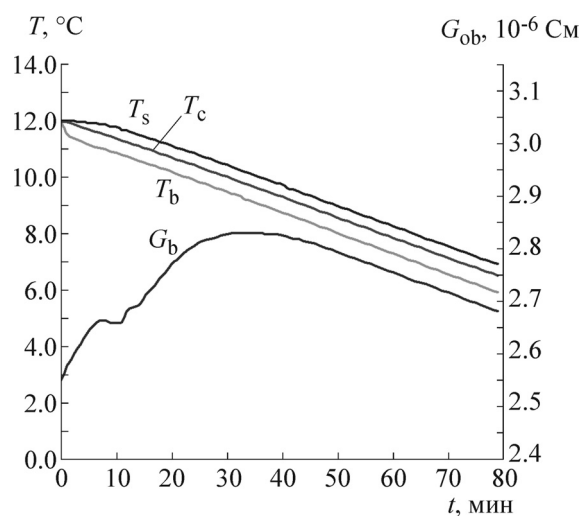


**Рис. 2.** Временные зависимости  $T(t)$  температуры в разных слоях воды ( $T_s$  – вблизи поверхности,  $T_b$  – вблизи дна,  $T_c$  – в центре объема) и проводимости  $G_s(t)$  вблизи поверхности.

тродном пространстве и длительным [2] процессом поглощения водой атмосферных газов ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ). Все указанные особенности кривых  $G_{об}(t)$  воспроизводимо наблюдались независимо от величины напряжения  $U$  на электродах и начальных значений  $T$  в диапазонах от 1 до 6 В и от 10 до 25°C соответственно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение описанного метода исследования проводимости воды позво-



**Рис. 4.** Временные зависимости температуры в разных слоях воды ( $T_s$  – вблизи поверхности,  $T_b$  – вблизи дна,  $T_c$  – в центре объема) и проводимости  $G_b(t)$  вблизи дна.

лило выявить новое свойство воды: аномально большое изменение ее проводимости (более 10% относительно начального значения  $G_{ob}(0)$ ) во всем исследуемом объеме при изменении в нем распределения градиента температуры по высоте. Согласно современным представлениям [3,4], величина проводимости воды зависит от количества ионов, участвующих в переносе зарядов, и сопротивления среды, определяемого скоростью диффузии этих ионов. Но в рамках этих представлений нельзя объяснить ни всю картину целиком, ни ее детали. К примеру, интенсивный рост значений  $G_{ob}(t)$  на рис. 4 в первые минуты наблюдения невозможно связать ни с ростом числа проводящих ионов (совершенно неясно, что может быть их донором), ни с уменьшением сопротивления среды, поскольку последнее, наоборот, растет [3,4] с уменьшением температуры. Поэтому для решения данного парадокса необходимы новые идеи, рождение которых, очевидно, следует ждать после проведения более широких исследований свойств обнаруженного феномена. В части же, связанной с изменением проводимости, необходимо, во всяком случае, установить наличие или отсутствие порогового значения  $U$  на элект-

тродах и выявить возможную зависимость явления от степени чистоты воды. Особый интерес представляет собой исследование кривых  $G_{ob}(t)$  вблизи температурного максимума плотности воды ( $4^\circ\text{C}$ ), где благодаря его наличию временные зависимости  $T$  имеют аномальный вид, а температурные градиенты при переходе значений температуры из области с  $T > 4^\circ\text{C}$  в область с  $T < 4^\circ\text{C}$  меняют знак [5].

Авторы выражают свою благодарность С.М. Першину за интерес к работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. С. Грилихес и Б. К. Филановский, *Контактная кондуктометрия* (Химия, Л., 1980).
2. Г. Р. Иваницкий, А. А. Деев и Е. П. Хижняк, *Успехи физ. наук* **184** (1), 61 (2014).
3. О. Я. Самойлов, *Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов* (Изд-во АН СССР, М., 1957).
4. Т. Эрдеи-Груз, *Явления переноса в водных растворах* (Мир, М., 1976).
5. M. F. Cawley and P. McBride, *Int. J. Heat Mass Transfer* **47**, 1175 (2004).

## Anomalies of the Time Dependences of Electrical Conductance of Water on its Cooling

L.N. Baturov and I.N. Govor

*National Research Institute for Physical-Technical and Radio Engineering Measurements,  
Mendeleevo, Moscow Region, 141570 Russia*

The dependence  $G(t)$  of electrical conductance  $G$  of Millipore water on time  $t$  was studied on its cooling down below  $25^\circ\text{C}$ . The water was placed into a stainless, non-hermetic, cylindrical container with a working volume of 650 ml. The study was conducted by the ac capacitance method with immersion of the measuring electrodes in the studied water. It was found, that the change in the distribution of temperature gradient in the vertical direction of the investigated volume of water leads to the abnormal large change in the value of water conductance. It was also shown, that the contact with atmosphere is not a determining factor for the existence of the observed phenomenon.

*Key words: water, conductance*