УДК 519.6

В.И. Сусляев, А.А. Павлова

Оценка изменения структуры воды от внешних воздействий по измеренным спектрам диэлектрической проницаемости в СВЧ-диапазоне

Рассмотрено изменение структуры воды при различных воздействиях. Показано влияние магнитного поля и электрического разряда на величину комплексной диэлектрической проницаемости воды. Показана возможность оценки изменения структуры полярных жидкостей радиофизическим методом.

Ключевые слова: СВЧ, структура воды, полярные жидкости, диэлектрическая проницаемость.

Из литературных источников известно, что воздействие магнитного поля на воду изменяет ее свойства и, что важно подчеркнуть, эти изменения сохраняются в течение продолжительного времени [1–3].

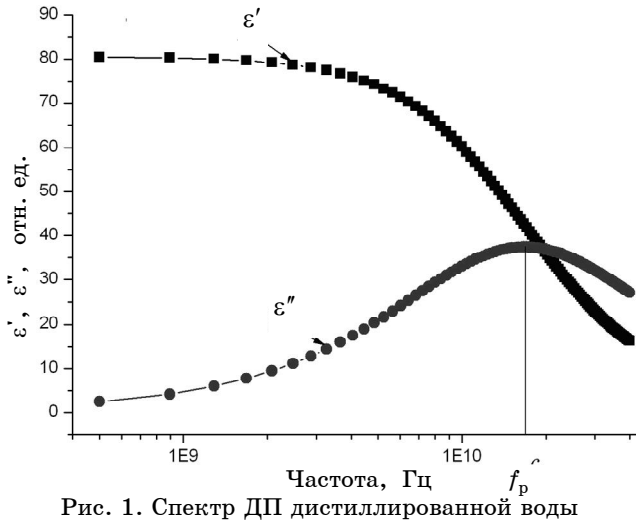

Рис. 1. Спектр ДП дистиллированной воды

Однако вода – диамагнетик, снятие магнитного поля возвращает обычное диамагнитное вещество в исходное состояние. При наложении магнитного поля состав воды остается тем же, и все отмеченные эффекты могут быть отнесены за счет изменения структуры.

Так как во многих работах по исследованию одноатомных жидкостей, жидкой воды и ее растворов господствует понятие «структура», заимствованное из структурной химии, оно сохраняется применительно к жидкостям. Следует помнить, что в жидкости существует только ближний порядок [4]. К параметрам структуры можно отнести корреляционное число (число ближайших соседей) и энтропию активации. Корреляционное число связано со статической диэлектрической проницаемостью (ДП), а изменение энтропии – с временем релаксации [5, 6]: $\Delta S = R\left(\frac{T}{\tau}\cdot\frac{d\tau}{dT}+1+\ln\frac{\tau kT}{\hbar}\right)$, где ΔS – изменение энтропии активации; R – газовая постоянная; τ – время диэлектрической релаксации; $\hbar$ – постоянная Планка; k – постоянная Больцмана; T – температура в градусах К. τ определяется из спектров комплексной ДП – $\varepsilon^*(f)=\varepsilon'(f) - i\,\varepsilon''(f)$ в микроволновом диапазоне электромагнитного излучения (рис. 1) по формуле: $2\cdot\pi\cdot f_р\cdot\tau = 1$, где $f_р$ – частота, на которой наблюдается максимум ε''.

Измерение ДП осуществлялось на установке, построенной на основе анализатора цепей E8363B фирмы Agilent Technologies. Микроволновое излучение от анализатора цепей по коаксиальному кабелю (85070E-032) поступает на фирменный датчик (slim form), который представляет собой отрезок коаксиального волновода с открытым концом (рис. 2).

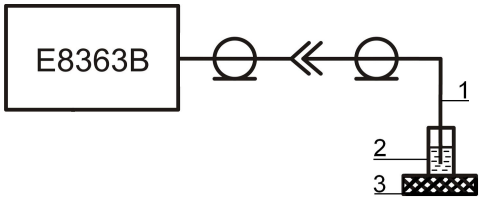

Рис. 2. Автоматизированный СВЧ-радиоспектроскоп: *1* – датчик; *2* – сосуд с водой; *3* – диэлектрическая подставка

Известно, что спектры ДП чувствительны к температуре. В связи с этим измерения производились в малогабаритной климатической камере МКК-3. Температура воды измерялась с помощью калиброванного терморезистора. Обработка воды электрическим разрядом осуществлялась на оборудовании, предоставленном Институтом высоких напряжений Томского политехнического университета. Сначала измерялся спектр воды, не подвергнутой воздейст-

вию, затем – воды, которая прошла через установку, далее – воды, подвергнутой воздействию электрического разряда. Из рис. 3 видно, что спектр ДП воды изменяется после воздействия разряда. К сожалению, результаты плохо повторяются. Возможно, это связано с большим временным интервалом, связанным с доставкой.

Для оценки степени воздействия на диэлектрические свойства воды магнитным полем использовалась система МАУТ (магнитное активирующее устройство томское, ТУ 4932-01-25968286-2003), созданное в фирме «Экси-Кэй» для первичной очистки воды от железа, в избытке находящегося в природной воде. Активная часть системы построена на основе магнитов, расположенных таким образом, чтобы обеспечить оптимальные условия для контакта с протекающей водой. В устройстве МАУТ используются изготовленные по новым технологиям, отобранные и протестированные высокоэнергетические постоянные магниты NdFeB (неодим–железо–бор), запаянные в кожух из нержавеющей стали [7]. В каждой из шести граней магнитной части МАУТа содержится по 4 магнита, значения напряженности магнитного поля для каждого магнита приведены в таблице.

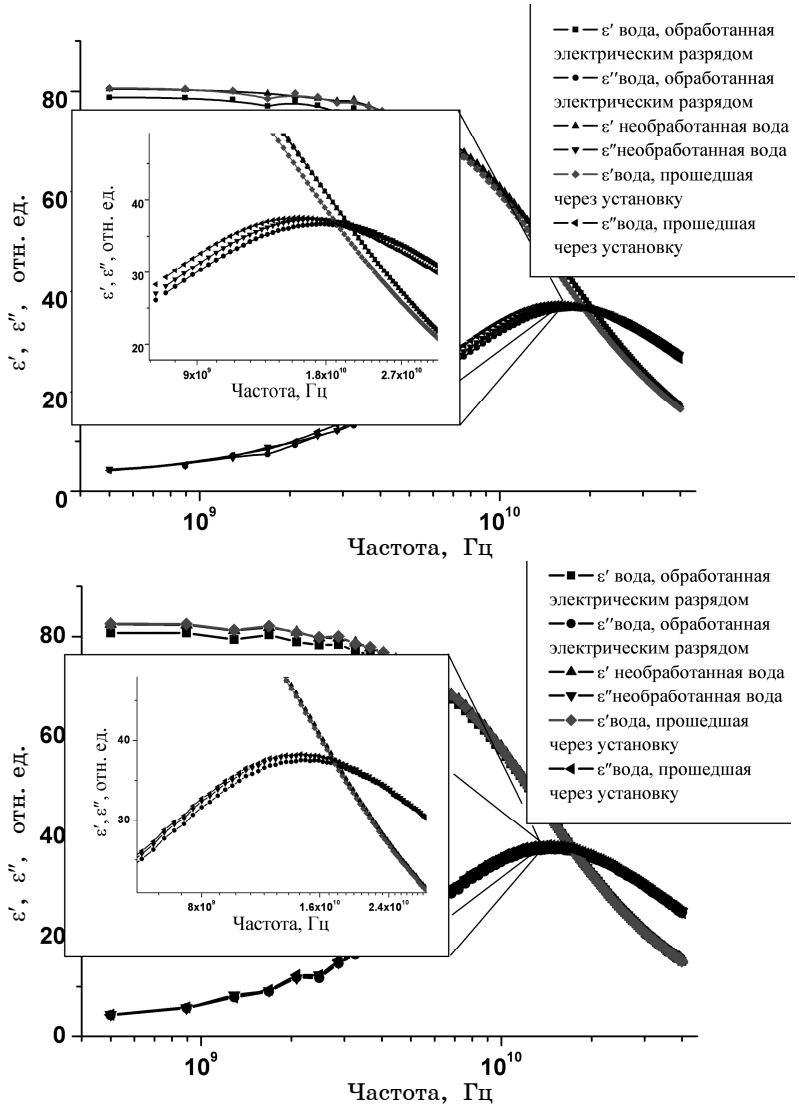

Рис. 3. Спектр диэлектрической проницаемости воды, подвергнутой воздействию электрического разряда

Значения напряженности магнитного поля на гранях магнитной части МАУТа

№ грани	№ магнита в *n*-й грани			
	1	2	3	4
	Напряженность магнитного поля, 105 А/м			
1	1,99	2,79	2,79	2,31
2	2,07	2,55	2,71	2,31
3	2,79	2,94	3,02	3,02
4	2,47	2,31	2,55	1,91
5	2,47	2,71	2,86	2,55
6	2,47	1,67	2,23	1,91

Для динамического режима взаимодействия воды с устройством МАУТ использовалась его магнитная часть, которая помещалась в полиэтиленовую (ПЭТ) цилиндрическую емкость с предварительно проделанным отверстием. Диаметр отверстия подобран таким образом, чтобы скорость протекания воды составляла 4 л/ч. Емкость помещалась в ПЭТ-сосуд для сбора воды с предварительно помещенной в него подставкой в виде стеклянной пластинки. Методика эксперимента по проточному «омагничиванию» воды состоит в следующем: предварительно промывалась магнитная часть устройства МАУТ раствором ор-

тофосфорной кислоты для удаления с корпуса ржавчины, после этого магнитная часть промывалась холодной проточной водопроводной водой. ПЭТ цилиндрическая емкость, сосуд для сбора воды и подставка также промывались холодной проточной водопроводной водой без использования химических реагентов. Изначально измерялись электрофизические характеристики пробы водопроводной воды: удельная проводимость, спектры диэлектрической проницаемости и температура. Затем вода заливалась в ПЭТ цилиндрическую емкость. После протекания воды через отверстие в емкости магнит извлекался из емкости, производился отбор пробы воды для исследования электрофизических характеристик. Процедура проливания повторялась 5 раз.

Результаты экспериментов представлены на рис. 4.

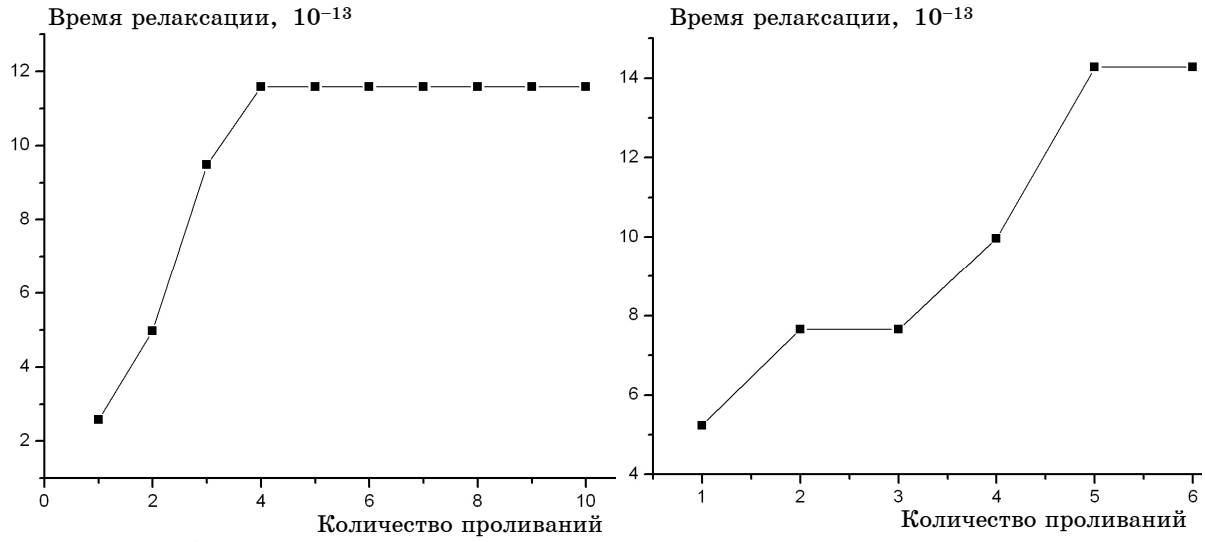

Рис. 4. Зависимость времени релаксации от числа проливаний водопроводной воды через магнитную систему МАУТ

Рост времени релаксации может быть связан с образованием более тяжелых кластеров под действием магнитного поля, взаимодействующего с жидкостью во время протекания ее через магнитную систему.

Авторы выражают благодарность В.А. Калистратову и Л.Л. Любецкому за любезно предоставленную магнитную систему МАУТ для проведения экспериментов и П.А. Хряпову за обработку воды электрическим разрядом.

Работа выполнена в рамках проекта 2.1.1/4513 и госконтракта № П2476, по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» 2009–2013 гг.

Литература

1. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда или вымысел. – Л.: Химия, 1990. – 143 с.

2. Санкин Г.Н. Инерционность изменения электропроводности воды в слабых постоянных магнитных полях / Г.Н. Санкин, В.С. Тесленко // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70, вып. 3. – С. 64–65.

3. Сусляев В.И. Изменение удельной проводимости дистиллированной воды при воздействии постоянным магнитным полем / В.И. Сусляев, Н.А. Монголина, А.А. Павлова // Известия вузов. Физика. – 2006. – № 9. – Приложение. – С. 127–128.

4. Синюков В.В. Структура одноатомных жидкостей воды и водных растворов электролитов. – М.: Наука, 1976. – 255 с.

5. Шахпаронов М.И. Механизмы быстрых процессов в жидкостях. – М.: Высшая школа, 1980. – 351 с.

6. Павлова А.А. Изменение времени релаксации воды, омагниченной устройством МАУТ / А.А. Павлова, В.И. Сусляев // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 4–7 мая 2010 г. – Томск: В-Спектр, 2010. – Ч. 4. – С. 313–316.

Сусляев Валентин Иванович
Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. радиоэлектроники
Национального исследовательского Томского государственного университета (НИТГУ)
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: susl@mail.tsu.ru

Павлова Александра Андреевна
Аспирантка каф. радиоэлектроники НИТГУ
Тел.: (382-2) 41-39-89
Эл. почта: Ray_of_light@sibmail.com

Suslyaev V.I., Pavlova A.A.
Estimation of water structure changes caused by external impacts by the permittivity spectra measured at microwaves

The changes in water structure under different impacts are considered. The influence of magnetic field and electric charge on the complex permittivity of water is analyzed. A possibility for estimating the polar liquids structure changes by the radiophysical method is shown.
Keywords: microwaves, water structure, polar liquids, permittivity.