

03;09;12

Динамика изменения ИК-спектра дистиллированной и тяжелой воды при облучении электронным потоком наносекундной длительности

© В.М. Орловский, В.А. Панарин

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск
E-mail: orlovskii@loi.hcei.tsc.ru

Поступило в Редакцию 14 апреля 2017 г.

Исследуются спектры поглощения дистиллированной и тяжелой воды при облучении потоком электронов наносекундной длительности. Изменения поглощения дистиллированной воды после облучения электронным потоком состояли в том, что полоса валентных колебаний ОН-групп расширилась; амплитуда валентной асимметричной полосы увеличилась; для полос, составленных из суммы деформационных и либрационных колебаний молекул воды, и деформационной полосы воды имеют место смещение максимумов в сторону более коротких частот и увеличение амплитуд при незначительном уширении полос. Изменения спектров поглощения тяжелой воды после облучения электронным потоком состояли в том, что полоса валентных колебаний ОН-групп молекул H_2O и HDO расширилась, а полоса поглощения ОН-обертонов деформационного колебания молекулы HDO стала более интенсивной при сохранении диапазона. Для деформационных колебаний молекул H_2O и HDO тяжелой воды наблюдается смещение максимума в сторону более высоких частот, а максимум деформационного колебания молекулы D_2O остается неизменным.

DOI: 10.21883/PJTF.2017.23.45270.16824

Вопросы изменения структуры и свойств воды под влиянием внешних воздействий остаются предметом многочисленных исследований [1–3]. Особенности химического строения молекул воды создают благоприятные возможности для образования направленных межмолекулярных водородных связей с соседними молекулами H_2O и связывания их в пространственные кластеры. Кластеры воды играют важную роль в атмосферных, биологических и химических процессах, поэтому диагностика связей воды в жидкой фазе становится важной

при решении многих технологических и биологических задач. В работах [4–7] проводились исследования воды и водных растворов, в том числе и в диффузном барьерном разряде, формируемом предыонизацией быстрыми электронами при коротком фронте импульса напряжения. Обсуждаются изменения спектра ИК-излучения после облучения в разряде, которые связываются с изменением компоновки молекул воды в кластеры.

Цель настоящей работы — исследование влияния сильноточного потока электронов наносекундной длительности на проводимость и спектральные характеристики дистиллированной воды и тяжелой воды, представляющей собой смесь молекул H_2O , HDO и D_2O .

Экспериментальная установка с радиационно-химическим реактором создана на базе стандартного рентгеновского аппарата НОРА. Импульс напряжения от генератора наносекундных импульсов рентгеновского аппарата подавался через передающую линию на отпаянный вакуумный диод ИМА-150Э. За фольгой вакуумного диода формировался на площади диаметром 15 мм поток электронов площадью сечения 1.77 cm^2 , плотностью $\sim 150 \text{ A/cm}^2$ и длительностью 2 ns. Частота повторения импульсов 4 Hz. Распределение по энергиям электронов, выведенных из вакуумного диода, имело вид, характерный для ускорителей этого типа с максимумом 90 keV (рис. 1).

Суммарная энергия электронов за импульс, измеренная с помощью калориметра ИМО-2 и рассчитанная из распределения электронов по энергиям, достаточно хорошо совпадала и составляла $\sim 0.084 \text{ J}$ за импульс. Облучение жидкостей производилось в кювете из нержавеющей стали в течение 20 min. Доза облучения для воды [8] составляла $\sim 2 \cdot 10^6 \text{ Gy}$.

Измерение ИК-спектров поглощения осуществлялось с помощью Фурье-спектрометра „ФТ-801“ с широкодиапазонным инфракрасным микроскопом „МИКРАН-2“. В качестве объектов исследования нами использовались дистиллированная и тяжелая вода. Спектры регистрировались при толщине слоя жидкости 10–15 μm . Проводимость дистиллированной и тяжелой воды измерялась прибором TDS&EC (hold).

Известно, что реакционная способность воды и водных растворов может существенно изменяться после воздействия на них различных факторов (температуры, ультразвука, переменного и постоянного магнитного поля, электромагнитных волн, инфразвука, акустических волн и т.д.). К настоящему времени накопилось достаточно много

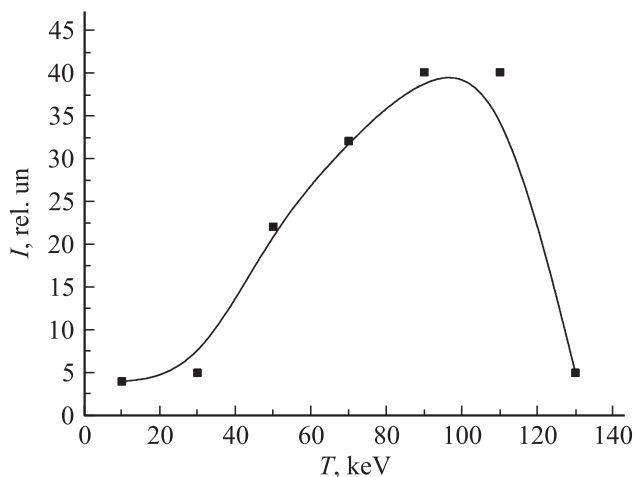


Рис. 1. Распределение по энергиям электронов, выведенных из вакуумного диода.

экспериментальных данных, убедительно доказывающих эффективность применения магнитного поля при осуществлении различных физико-химических процессов. Молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы совершают непрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный колебательный уровень. При воздействии на эту систему полем оптимальной частоты возможен резонанс с определенной группой молекул и ассоциатов с возникновением квантов энергии, способных деформировать связи, изменять структурную характеристику системы. Одним из наиболее информативных и простых в техническом исполнении методов обнаружения изменения структурных свойств воды являются ИК- и УФ-спектроскопические методы исследования. В [4,5] показано, что в диффузном объемном разряде, формируемом предыонизацией быстрыми электронами при коротком фронте импульса напряжения, при включении разряда 1200 раз ИК-спектры воды и водных растворов изменяются. При этом полоса валентных колебаний ОН-групп расширяется. Предполагается, что это обусловлено изменением компоновки воды в кластеры, при этом образование ассоциатов воды, упорядочение объемной трехмерной сетки водородных

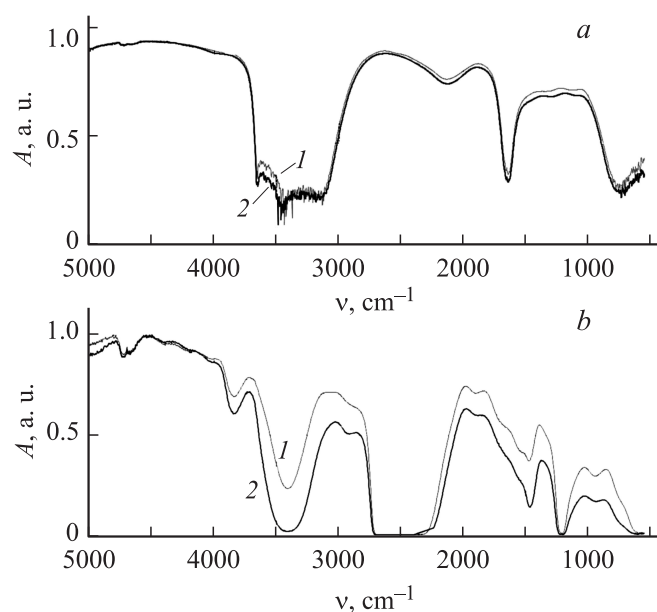


Рис. 2. Спектры пропускания дистиллированной (*a*) и тяжелой (*b*) воды до (1) и после облучения электронным потоком в течение 20 min (2).

связей происходит за счет преимущественного образования сильных водородных связей.

На рис. 2, *a* представлен спектр пропускания дистиллированной воды до и после облучения электронным потоком. Анализ Фурье-спектров поглощения в ИК-диапазоне показал их различие для облученного и необлученного образцов. Исследования ИК-спектров поглощения дистиллированной воды показали наличие частот валентной симметричной полосы, валентной асимметричной полосы и обертонов деформационной полосы молекулы H_2O в диапазоне $3680\text{--}2997\text{ cm}^{-1}$ (максимумы 3660 , 3430 и 3160 cm^{-1}), полосы $2250\text{--}2000\text{ cm}^{-1}$ (максимум 2127 cm^{-1}), составленной из суммы деформационных и либрационных колебаний молекул воды, деформационной полосы воды с максимумом 1538 cm^{-1} и либрационной полосы с максимумом 731 cm^{-1} . Изменения поглощения дистиллированной воды после облучения элек-

тронным потоком состояли в том, что полоса валентных колебаний ОН-групп расширилась ($3680\text{--}2990\text{ cm}^{-1}$), при этом амплитуда валентной асимметричной полосы увеличилась, для полос, составленных из суммы деформационных и либрационных колебаний молекул воды, и деформационной полосы воды наблюдаются смещение максимумов в сторону более коротких частот и увеличение амплитуд при незначительном уширении полос. Для либрационной полосы с максимумом 731 cm^{-1} имеет место незначительное увеличение амплитуды при неизменном положении максимума. Проводимость дистиллированной воды после облучения увеличилась от $2\text{ }\mu\text{S/cm}$ (27°C) до $42\text{ }\mu\text{S/cm}$ (27°C).

На рис. 2, *b* представлен спектр пропускания тяжелой воды до и после облучения электронным потоком. Тяжелая вода широкого диапазона концентраций представляет собой смесь молекул H_2O , HDO и D_2O , и ее поглощение представляет собой сумму поглощений соответствующих изотопных модификаций [9,10].

Исследование ИК-спектров показало наличие частот валентной симметричной полосы, валентной асимметричной полосы молекулы H_2O и валентного колебания (ОН) молекулы HDO — полоса поглощения ОН $3900\text{--}3120\text{ cm}^{-1}$ (максимум $\sim 3405\text{ cm}^{-1}$), обертонов деформационного колебания молекулы HDO — полоса поглощения ОН $3150\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ (максимум $\sim 2929\text{ cm}^{-1}$), суммы симметричного и асимметричного валентных колебаний молекулы D_2O и валентного колебания (OD) молекулы HDO — полоса поглощения OD $2850\text{--}2200\text{ cm}^{-1}$ (максимум $\sim 2410\text{ cm}^{-1}$), деформационного колебания молекулы H_2O $1800\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ (максимум $\sim 1500\text{ cm}^{-1}$), деформационного колебания молекулы HDO $1550\text{--}1390\text{ cm}^{-1}$ (максимум $\sim 1476\text{ cm}^{-1}$), деформационного колебания молекулы D_2O $1397\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ (максимум $\sim 1210\text{ cm}^{-1}$).

Изменения поглощения тяжелой воды после облучения электронным потоком состояли в том, что полоса валентных колебаний ОН-групп молекул H_2O и HDO расширилась ($4040\text{--}3040\text{ cm}^{-1}$), полоса поглощения ОН обертонов деформационного колебания молекулы HDO стала более интенсивной при сохранении диапазона ($3150\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$) и положения максимума ($\sim 2929\text{ cm}^{-1}$) на том же уровне, сумма симметричного и асимметричного валентных колебаний молекулы D_2O и валентного колебания (OD) молекулы HDO — полоса поглощения OD — не претерпела изменений ни по ширине полосы, ни по положению максимума, для деформационных колебаний молекул H_2O

и НДО имеет место смещение максимума в сторону более высоких частот, а максимум деформационного колебания молекулы D₂O остается неизменным. Проводимость тяжелой воды после облучения увеличилась от 13 $\mu\text{S/cm}$ (27°C) до 107 $\mu\text{S/cm}$ (27°C).

Показано, что при многократном облучении дистиллированной и тяжелой воды потоком электронов наносекундной длительности наблюдается изменение спектра поглощения и увеличение проводимости. Таким образом, облучение воды электронным потоком может использоваться для модификации воды и водных растворов.

Список литературы

- [1] Бессонова А.П., Стась И.Е. // Ползуновский вестн. 2008. № 3. С. 305–309.
- [2] Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1973. 239 с.
- [3] Зенин С.В., Тяглов Б.В. // ЖФХ. 1994. Т. 68. С. 636–641.
- [4] Орловский В.М., Панарин В.А., Шулепов М.А. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41. В. 23. С. 81–88.
- [5] Орловский В.М., Панарин В.А., Шулепов М.А. // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. В. 14. С. 86–94.
- [6] Орловский В.М., Алексеев С.Б., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 2011. Т. 41. № 11. С. 1033–1036.
- [7] Луговской А.А., Поплавский Ю.А., Сердюков В.И., Сеница Л.Н. // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 5. С. 418–424.
- [8] Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Радиолит газы и жидкостей. М.: Наука, 1986. 440 с.
- [9] Воронина Т.В., Семёнов В.Г. // Научн. приборостроение. 2012. Т. 22. № 1. С. 84–90.
- [10] Воронина Т.В., Слободов А.А. // Опт. журн. 2011. Т. 78. № 3. С. 3–9.