«Оптика атмосферы и океана», **31**, № 3 (2018)
DOI: 10.15372/АОО20180316

УДК 543.42.062:539.183.2

Изменение ИК-спектров питьевой воды, талой воды из снега и тяжелой воды при облучении электронным потоком наносекундной длительности

В.М. Орловский, В.А. Панарин*

Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3

Поступила в редакцию 26.12.2017 г.

Исследуются спектры поглощения питьевой воды, талой воды из снега и тяжелой воды при облучении потоком электронов наносекундной длительности. При многократном облучении воды было зафиксировано изменение спектра поглощения вещества. Анализ спектров поглощения воды в ИК-диапазоне показал отличия спектров поглощения облученной и необлученной воды.

Ключевые слова: наносекундный поток электронов, спектр поглощения воды в ИК-диапазоне, проводимость воды; nanosecond electron flow, water absorption spectrum in the infrared region, water conductivity.

Введение

Изменения структуры и свойств воды под влиянием внешних воздействий изучались во многих работах [1–3]. Особенности химического строения молекул воды создают благоприятные возможности для образования направленных водородных связей между 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 важна при решении различных технологических и биологических задач. В [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. Приводятся изменения спектра ИК-излучения после облучения в разряде, которые связывают с изменением компоновки молекул воды в кластеры.

Цель данной работы – исследование влияния сильноточного потока электронов наносекундной длительности на проводимость и спектральные характеристики питьевой воды, талой воды из снега и тяжелой воды, представляющей собой смесь молекул H_2O, HDO и D_2O [8, 9].

1. Аппаратура и методики измерений

Исследования проводились на экспериментальной установке с радиационно-химическим реактором, созданным на базе стандартного рентгеновского аппарата НОРА. Импульс напряжения от генератора наносекундных импульсов аппарата подавался через передающую линию на отпаянный вакуумный диод ИМА-150Э. За фольгой вакуумного диода на площади диаметром 15 мм формировался поток электронов с площадью сечения 1,77 см^2, плотностью ~150 А/см^2 и длительностью 2 нс; частота повторения импульсов была 4 Гц. Распределение по энергиям электронов, выведенных из вакуумного диода, имело вид, характерный для ускорителей линейного типа, с максимумом 90 кэВ. Значения суммарной энергии электронов за импульс, измеренное с помощью калориметра ИМО-2 и рассчитанное из распределения электронов по энергиям, достаточно хорошо совпадали и составляли ~0,084 Дж/имп. Облучение жидкостей производилось в кювете из нержавеющей стали в течение 10–30 мин. Доза облучения для воды [10] составляла $1–2 \cdot 10^6$ Гр. ИК-спектры поглощения измерялись с помощью фурье-спектрометра ФТ-801 с широкодиапазонным инфракрасным микроскопом МИКРАН-2. Проводимость воды измерялась прибором TDS&EC (Hold).

2. Результаты экспериментов и их обсуждение

Известно, что реакционная способность воды и водных растворов может существенно меняться под воздействием различных факторов (температуры, ультразвука, переменного и постоянного магнитных полей, электромагнитных волн, инфразвука, акустических волн и т.д.). К настоящему времени накоплено достаточно много экспериментальных данных, убедительно доказывающих эффективность применения магнитного поля для реализации различных физико-химических процессов. Молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы совершают беспрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный колебательный уровень.

* Виктор Михайлович Орловский (orlovskii@loi.hcei.tsc.ru); Виктор Александрович Панарин (panarin@yandex.ru).

© Орловский В.М., Панарин В.А., 2018

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. Среди наиболее информативных и простых в техническом исполнении методов обнаружения изменения структурных свойств воды — ИК и УФ спектроскопические методы исследования. В [4, 5] показано, что в диффузном объемном разряде, формируемом предыонизацией быстрыми электронами, при коротком фронте импульса напряжения под воздействием разряда ИК-спектры воды и водных растворов изменяются. При этом полоса валентных колебаний ОН-групп расширилась. Предполагается, что это обусловлено изменением компоновки воды в кластеры. Вместе с тем образование ассоциатов воды, упорядочение трехмерной сетки водородных связей происходят за счет преимущественного образования сильных водородных связей.

Рассмотрим ИК-спектры поглощения питьевой воды (кривая *1*), талой воды из снега (*2*) и тяжелой воды (*3*), измеренные в ходе эксперимента в слое жидкости толщиной 10—15 мкм (рис. 1).

Видно, что в спектре питьевой воды (*1*) присутствуют частоты валентной симметричной и валентной асимметричной полос и обертонов деформационной полосы в диапазоне 3673—2923 см$^{-1}$ без явно выраженных максимумов; деформационной полосы с максимумом 1644 см$^{-1}$; составной крутильной и деформационной полос с максимумом 2125 см$^{-1}$ и либрационной полосы с максимумом 750 см$^{-1}$.

В спектре талой снежной воды (*2*) можно видеть частоты валентной симметричной и валентной асимметричной полос и обертонов деформационной полосы молекулы H_2O в диапазоне 3673—2942 см$^{-1}$ (без явно выраженных максимумов); деформационной полосы H_2O с максимумом 1644 см$^{-1}$; составной крутильной и деформационной полос с максимумом 2040 см$^{-1}$ и либрационной полосы с максимумом 750 см$^{-1}$.

В спектре тяжелой воды (*3*) наблюдаются частоты валентной симметричной и валентной асимметричной полос молекулы H_2O и валентного колебания ОН молекулы HDO — полоса поглощения ОН 3942—3076 см$^{-1}$ (максимум в районе 3423 см$^{-1}$); обертонов деформационного колебания молекулы HDO — полоса поглощения ОН 3076—2886 см$^{-1}$ (максимум ~2935 см$^{-1}$); суммы симметричной и асимметричной полос валентных колебаний молекулы D_2O и валентного колебания OD молекулы HDO — полоса поглощения OD 2692,2—2384,6 см$^{-1}$ (максимум ~2520 см$^{-1}$); деформационных колебаний молекул H_2O 1740—1614 см$^{-1}$ (максимум ~1648 см$^{-1}$), HDO 1615—1384,6 см$^{-1}$ (максимум ~1466,5 см$^{-1}$), D_2O 1307,7—1100 см$^{-1}$ (максимум ~1211,5 см$^{-1}$).

На рис. 2 приведены ИК-спектры поглощения воды до (кривая *1*) и после облучения потоком электронов (кривая *2*).

Изменения спектра поглощения питьевой воды (рис. 2, *а*) после облучения потоком электронов в воздухе в течение 20 мин (кривая *2*) состояли в том, что полоса валентных колебаний ОН-групп расширилась и стала 3690—2960 см$^{-1}$, а деформационная полоса H_2O с максимумом 1644 см$^{-1}$, составные крутильная и деформационная полосы с максимумом 2125 см$^{-1}$ и либрационная полоса с максимумом 750 см$^{-1}$ увеличили поглощение при сохранении ширины спектра. Проводимость питьевой воды (25,1 °С) выросла с 283 до 690 мкСм/см после облучения.

Инфракрасный спектр поглощения талой воды (рис. 2, *б*) после облучения в течение 20 мин (кривая *2*) изменился таким образом, что полоса валентных колебаний ОН-групп расширилась на 10 см$^{-1}$; деформационная полоса H_2O с максимумом 1644 см$^{-1}$, составные крутильная и деформационная полосы с максимумом 2040 см$^{-1}$ и либрационная полоса с максимумом 750 см$^{-1}$ практически не изменились ни по ширине, ни по амплитуде. Эти изменения коррелируют с изменениями дистиллированной воды, облученной потоком электронов наносекундной длительности [11]. Проводимость талой снежной воды (27 °С) составляла 56 мкСм/см до облучения и 240 мкСм/см после облучения.

Изменения спектра поглощения тяжелой воды (рис. 2, *в*) после облучения потоком электронов в течение разного времени (кривые *2—4*) заключались

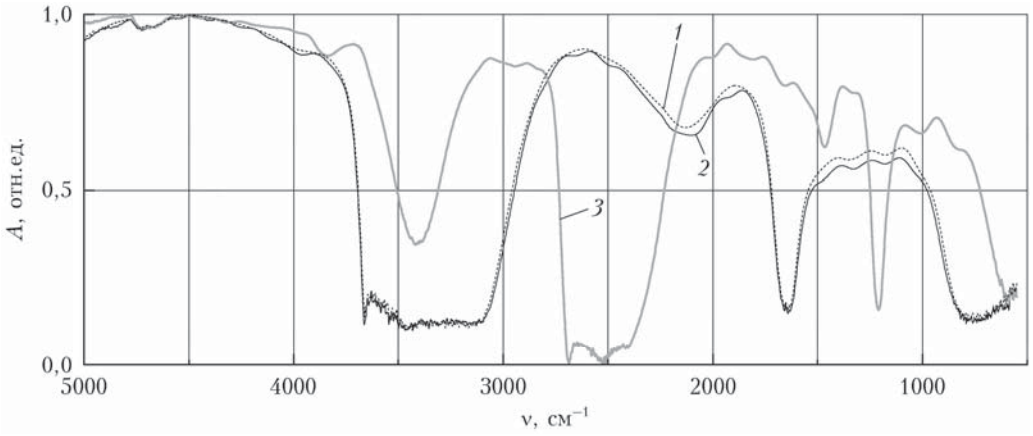

Рис. 1. ИК-спектры питьевой воды (*1*), талой воды из снега (*2*) и тяжелой воды (*3*)

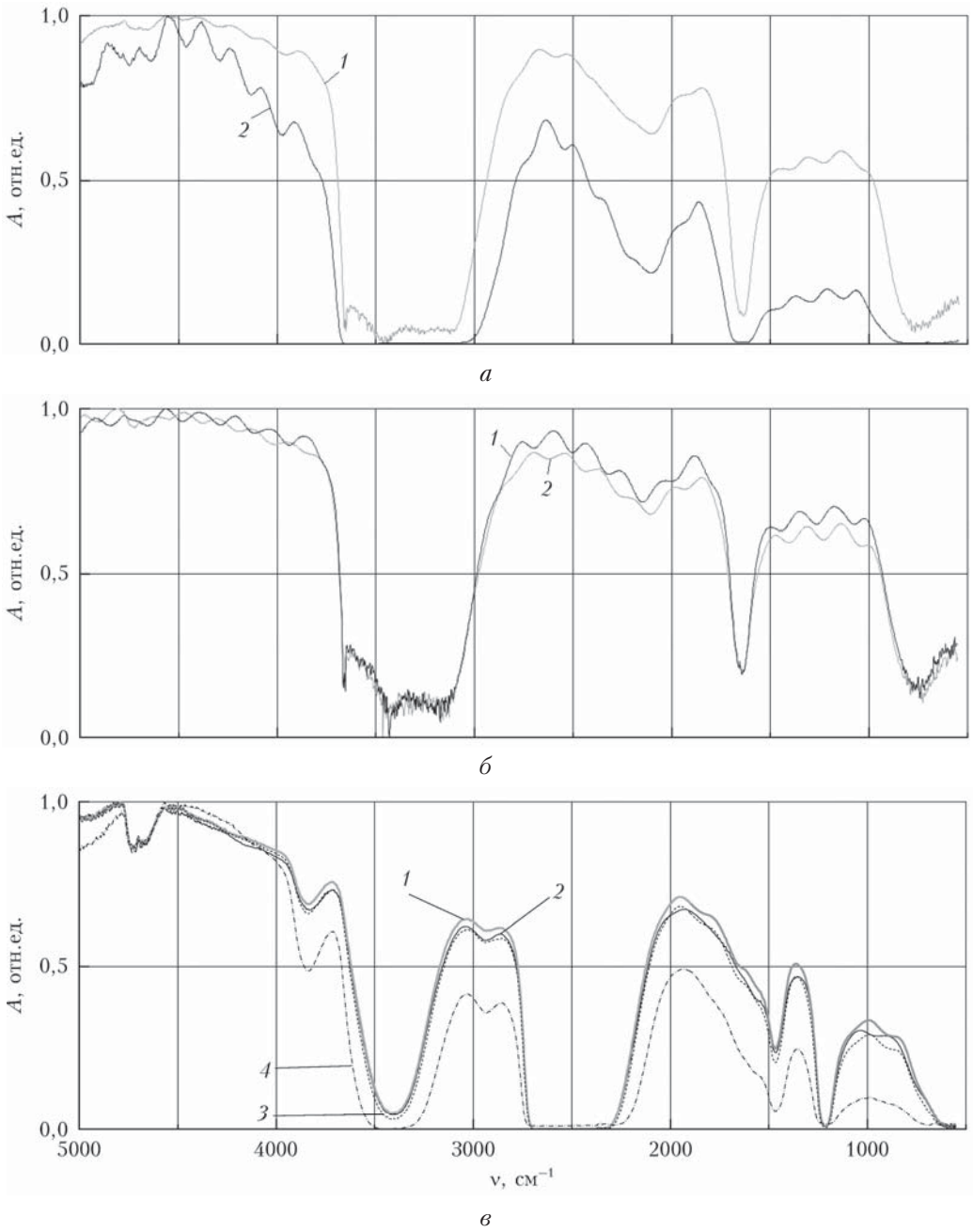

Рис. 2. Спектры питьевой воды до (*1*) и после обработки потоком электронов в течение 20 мин (*2*) (*а*); талой воды из снега до (*1*) и после обработки потоком электронов в течение 20 мин (*2*) (*б*); тяжелой воды до (*1*) и после обработки потоком электронов в течение 10 (*2*), 20 (*3*) и 30 мин (*4*) (*в*)

в следующем: полоса валентных колебаний OH-групп молекул H_2O и HDO расширилась и стала 4040–3040 см$^{-1}$; полоса поглощения OH обертонов деформационного колебания молекулы HDO стала более интенсивной при сохранении диапазона (3150–2850 см$^{-1}$) и положения максимума (~2935 см$^{-1}$); сумма симметричной и асимметричной валентных колебаний молекулы D_2O и валентного колебания (OD) молекулы HDO – полоса поглощения OD не изменились ни по ширине, ни по положению максимума; максимум деформационных колебаний молекул H_2O и HDO сместился в сторону более высоких частот, а максимум деформационного колебания молекулы D_2O остался неизменным. Проводимость тяжелой воды (27 °C) увеличилась после облучения с 13 до 107 мкСм/см.

Рис. 2, *в* показывает изменения спектров поглощения без привязки ко времени облучения. Зависимости от времени облучения полуширины частот валентной симметричной и валентной асимметричной полос молекулы H_2O и валентного колебания OH молекулы HDO – полосы поглощения OH (кривая *1*) и полуширины частот валентного колебания OD молекулы HDO – полосы поглощения OD

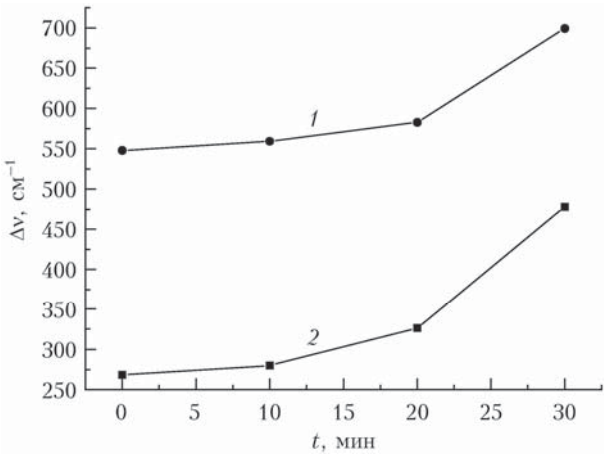

Рис. 3. Зависимость от времени облучения полуширины частот валентной симметричной полосы, валентной асимметричной полосы молекулы H_2O и валентного колебания OH молекулы HDO — полосы поглощения OH (*1*); валентного колебания OD молекулы HDO — полосы поглощения OD (*2*)

(кривая *2*) приведены на рис. 3. Эти зависимости носят нелинейный характер. При увеличении времени облучения наблюдается рост кривых.

Заключение

Показано, что при многократном облучении питьевой воды, талой воды из снега и тяжелой воды потоком электронов наносекундной длительности наблюдаются изменение спектров поглощения и увеличение проводимости. Зависимости полуширин частот валентной симметричной полосы, валентной асимметричной полосы молекулы H_2O и валентного колебания OH молекулы HDO — полосы поглощения OH, валентного колебания OD молекулы HDO — полосы поглощения OD от времени облучения носят нелинейный характер и растут с увеличением времени облучения.

Таким образом, облучение воды потоком электроном можно использовать для модификации воды и водных растворов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИСЭ СО РАН по теме № 9.5.2.

1. *Bessonova A.P., Stas I.E.* Effect of high-frequency electromagnetic fields on physical chemist properties of water and its spectral characteristics // Polzunovskii vestnik. 2008. N 3. P. 305–309.
2. *Classen V.I.* Magnetization of water systems. M.: Chemistry, 1973. 239 p.
3. *Zenin S.V., Tyaglov B.V.* Hydrophobic model of the structure of water molecules associates // Zh. Fiz. Himii. 1994. V. 68, N 4. P. 636–641.
4. *Orlovskii' V.M., Panarin V.A., Shulepov M.A.* Change water, aqueous solutions and dielectric films diffuse discharge being generated preionization by fast electrons when a voltage pulse shorter front // Tech. Phys. Lett. 2015. V. 41, N 23. P. 81–88.
5. *Orlovskii V.M., Panarin V.A., Shulepov M.A.* The formation of diffuse discharge by short-front nanosecond voltage pulses and the modification of dielectrics in this discharge // Tech. Phys. Lett. 2014. V. 40, N 7. P. 645–648.
6. *Orlovskii V.M., Alekseev S.B., Tarasenko V.F.* Carbon dioxide lazer with an e-beam-initiated discharge produced in a pressure up to 5 atm // Quantum Electron. 2011. V. 41, N 11. P. 1033–1036.
7. *Луговской А.А., Поплавский Ю.А., Сердюков В.И., Синица Л.Н.* Экспериментальная установка для спектрофотометрического исследования кластеров воды в нанопорах // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 5. С. 418–424; *Lugovskoy A.A., Poplavskii Yu.A., Serdyukov V.I., Sinitsa L.N.* Experimental setup for spectrophotometric study of water clusters in nanoporous material // Atmos. Ocean. Opt. 2011. V. 24, N 5. P. 502–507.
8. *Voronina T.V., Semenov V.G.* Organization of the control of the isotopic composition of heavy water at PIK reactor by IR-spectrometry // Sci. Comput. Instrum. 2012. V. 22, N 1. P. 84–90.
9. *Voronina T.V., Slobodov A.A.* Spectroscopic and thermodynamic study of heavy water // J. Opt. Technol. 2011. V. 78, N 3. P. 3–9.
10. *Pikaev A.K.* Modern Radiation Chemistry. The radiolysis of gases and liquids. M: Science, 1986. 440 p.
11. *Orlovskii' V.M., Panarin V.A.* Dynamics of changes in the infrared spectrum of distilled and heavy water upon exposureto an electron beam of nanosecond duration // Tech. Phys. Lett. 2017. V. 43, N 12. P. 1054–1056.

V.M. Orlovskii, V.A. Panarin. **Changes in the IR spectra of drinking water, melt water from snow, and heavy water by nanosecond electron beam irradiation.**

The absorption spectra of drinking water, melt water from snow, and heavy water during irradiated by nanosecond electron flux are studied. Under repeated irradiation of water, a change in the absorption spectrum of a substance was observed. The a analysis of water absorption spectra in the IR range showed differences between the absorption spectra of irradiated and non-irradiated water.