

Влияние концентрации глюкозы в компонентах крови на их спектральные характеристики в ТГц диапазоне частот

О. П. Черкасова^{1,*}, Е. Е. Берловская^{2,†}, А. А. Бутылин^{2,‡}, А. М. Макуренков^{2,§}

¹Институт лазерной физики СО РАН

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра медицинской физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Статья поступила 25.04.2016; Подписана в печать 05.05.2016)

В работе исследовали влияния высокого содержания глюкозы в крови на спектры поглощения и отражения компонентов крови в диапазоне частот $0.05 \div 2.7$ ТГц. Наблюдаемые отличия в экспериментальных спектрах сравнивали с модельной диэлектрической функцией воды с целью выявления параметра, который дает наибольший вклад в изменение диэлектрической функции образца. Было получено, что изменение вклада первого Дебаевского слагаемого, описывающего «медленную» релаксацию молекул воды, связано с вариациями концентрации глюкозы в образцах крови.

PACS: 78.30-j; 83.80.Lz; 77.22.Ch

УДК: 535-14, 681.785.423.8, 616.15-07

Ключевые слова: терагерцовая импульсная спектроскопия, компоненты крови, глюкоза, модель Дебая.

Сахарный диабет занимает одно из первых мест среди заболеваний по количеству летальных исходов. Высокий уровень глюкозы в крови человека при диабете приводит к развитию тяжелых осложнений. В этой связи, развитие новых методов диагностики данного заболевания является актуальной задачей. Метод импульсной терагерцовой спектроскопии позволяет определить показатель преломления, коэффициент поглощения и спектр диэлектрической функции исследуемого образца за одно измерение. Анализ полученных спектральных характеристик исследованных проб в перспективе дает предпосылки к созданию экспресс-диагностики указанного заболевания. Работа посвящена исследованию влияния высокого содержания глюкозы в крови на спектры поглощения и отражения компонентов крови в диапазоне частот $0.05 \div 2.7$ ТГц. Наблюдаемые отличия в экспериментальных спектрах сравнивали с модельной диэлектрической функцией воды с целью выявления параметра, который дает наибольший вклад в изменение диэлектрической функции образца.

Измерения проводили на импульсном терагерцовом спектрометре, подробно описанном в работах [1, 2], в двух геометриях взаимодействия излучения с веществом: пропускания и отражения. Эксперименты в геометрии пропускания проводили в кювете толщиной 500 мкм, что обеспечивало десятикратное превышение отношения сигнал/шум и величину коэффициента пропускания 0.2–0.5. Для спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) использовали призму Довэ из высокоомного кремния. При основании призмы $1,5 \times 2$ см и угла при вершине 90° , поляризация

электрического поля была в плоскости падения излучения. Призму помещали в слабо-сходящийся пучок терагерцового излучения, так, чтобы перетяжка пучка находилась на основании призмы. В качестве опорного сигнала использовали отражение от свободного основания призмы, а в качестве измерительного — сигнал, полученный при налитом на основание призмы исследуемом растворе. Все измерения проводились при температуре 21°C . Исследовались образцы плазмы крови и эритроцитов человека и животных, имеющих высокий уровень глюкозы в крови.

Спектры поглощения растворов не имеют узких спектральных особенностей на частотах ниже 3.0 ТГц [3]. Форма регистрируемого спектра зависит от содержания в образце воды, которая имеет сильную дисперсию в низкочастотной части ТГц диапазона. Для выявления малых изменений в растворах и повышения достоверности наблюдаемых отличий, проводились измерения двумя методами — регистрировались спектры пропускания и отражения. После анализа экспериментальных спектров относительно спектра чистой воды, в приближении, что наблюдаемые изменения связаны с изменением поведения молекул воды в анализируемом биологическом образце, подбирался один из параметров диэлектрической функции водного раствора, вариация которого приводит к спектральным особенностям, наблюдаемым в экспериментальных данных. Результатом работы явилось заключение, что в для образцов с высоким содержанием глюкозы вклад первого Дебаевского слагаемого, описывающего «медленную» релаксацию молекул воды, уменьшается на 20%. Таким образом, изменение данного параметра связано с вариациями концентрации глюкозы в образцах крови, и может рассматриваться как предпосылка для использования метода импульсной терагерцовой спектроскопии в целях диагностики заболеваний диабетом.

*E-mail: o.p.cherkasova@gmail.com

†E-mail: elena.ber@rambler.ru

‡E-mail: butybuty@yandex.ru

§E-mail: makurenkov@physics.msu.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-02-01364).

Авторы выражают благодарность профессору А. П.

Шкуринову (МГУ) и научному сотруднику М. М. Назарову (ИПЛИТ РАН) за плодотворное обсуждение и помощь в проведении экспериментов.

[1] Назаров М. М., Шкуринов А. П., Кулешов Е. А., Тучин В. В. Квантовая электроника. **38**, № 7. С. 647. (2008).

[2] Черкасова О. П., Назаров М. М., Ангелуц А. А., Шкуринов А. П. Оптика и спектроскопия. **120**, № 1. С. 59.

(2016).

[3] Cherkasova O. P., Nazarov M. M., Smirnova I. N., Angeluts A. A., Shkurinov A. P. Physics of Wave Phenomena. **22**, № 3. P. 185. (2014).

Effect of blood glucose concentration on the spectral characteristics of blood components in the THz frequency range

O. P. Cherkasova^{1,a}, E. E. Berlovskaya^{2,b}, A. A. Butylin^{2,c}, A. M. Makurenkov^{2,d}

¹*Institute of Laser Physics of SB RAS, Novosibirsk 630090, Russia*

²*Department of Medical Physics, Faculty of Physics,*

M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

E-mail: ^ao.p.cherkasova@gmail.com, ^bberlovskaya@me.com, ^cbutybuty@yandex.ru, ^dmakurenkov@physics.msu.ru

In this paper we have studied an effect of blood glucose concentration on the absorption and reflection spectra of blood components in the frequency range of 0.05–2.7 THz. The observed differences in the experimental spectra were compared with the dielectric function of water in order to identify the parameter that makes the greatest contribution to the change in the dielectric function of sample. It was obtained that the changes of impact of the first Debye term describing «slow» relaxation of water molecules are associated with variations in the glucose concentration in blood samples.

PACS: 78.30-j; 83.80.Lz; 77.22.Ch

Keywords: Terahertz time-domain spectroscopy, blood components, glucose, Debye model.

Received 25.04.2016.

Сведения об авторах

1. Черкасова Ольга Павловна — докт. биол. наук, вед. науч. сотрудник; тел.: (383) 330-99-22; e-mail: o.p.cherkasova@gmail.com.
2. Берловская Елена Евгеньевна — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 727-85-43, e-mail: berlovskaya@me.com.
3. Бутылин Андрей Александрович — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-48-37, e-mail: butybuty@yandex.ru.
4. Макуренков Александр Михайлович — канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель; e-mail: makurenkov@physics.msu.ru.