

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНУЮ ПАЗУХУ МЕТОДОМ  
МОНТЕ-КАРЛО ПРИ ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ**

Р.Ю. Гнеушев<sup>1</sup>, Е.О. Брянская<sup>1</sup>, В.В. Дрёмин<sup>1</sup>, А.Г. Букин<sup>2</sup>, И.Н. Маковик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», Орёл

<sup>2</sup>МОУ «Институт инженерной физики», Серпухов

*В данной работе рассмотрен метод численного моделирования Монте-Карло для определения закономерности распространения светового излучения в биоткани. Промоделирована биологически неоднородная среда, представленная структурами черепа и верхнечелюстных пазух, а также патологическими изменениями в них, в программной среде TracePro.*

**Ключевые слова:** *оптическая диагностика, диафаноскопия, околоносовые пазухи, воспалительные заболевания, моделирование Монте-Карло, оптические свойства.*

**MONTE CARLO SIMULATION OF PROBING RADIATION  
PROPAGATION THROUGH THE MAXILLARY SINUS IN DIGITAL  
DIAPHANOSCOPY**

R.Yu. Gneushev<sup>1</sup>, E.O. Bryanskaya<sup>1</sup>, V.V. Dremine<sup>1</sup>, A.G. Bukin<sup>2</sup>, I.N. Makovik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

<sup>2</sup>Institute of Engineering Physics, Serpukhov

*In this paper we consider a Monte-Carlo numerical simulation method to determine the distribution of light radiation in biological tissue. It was simulated biologically inhomogeneous medium that includes structures of the skull and maxillary sinuses, as well as pathological changes in them, by the software environment TracePro.*

**Keywords:** *optical diagnostics, diaphanoscopy, paranasal sinuses, inflammatory diseases, Monte-Carlo simulation, optical properties.*

В последнее время оптические неинвазивные технологии имеют широкое применение для диагностики патологических состояний в различных областях медицины. Так, метод цифровой диафаноскопии видится перспективным для разделения нормального и патологического состояний (воспаление, кистозные и опухолевые ткани) верхнечелюстных пазух. Метод основан на визуализации картин рассеяния низкоинтенсивного излучения при его прохождении через верхнечелюстные пазухи.

Область исследования, представленная различными тканями черепа и верхнечелюстными пазухами, имеет сложноорганизованную структуру. Оптические свойства биологических слоёв, в частности величина поглощения и рассеяния света [1, 2], варьируются в зависимости от

анатомических и гендерных особенностей пациентов [3, 4], так же, как и от присутствия в среде патологических изменений. Проведенные предварительные экспериментальные исследования показали сильное влияние на результат диагностики изменения данных параметров [5, 8]. Исходя из этого, важным видится определение закономерности изменения уровня зондирующего сигнала при различных анатомических и оптических свойствах области исследования, что поможет модернизировать приборную реализацию устройства цифрового диафаноскопа и получить новые диагностические критерии для определения различных патологических состояний. Для этих целей был использован метод численного моделирования Монте-Карло в программной среде TracePro (Lambda Software).

На этапе создания модели задавались толщины и размеры слоёв тканей, характерные для мужчин и женщин, а также соответствующие им коэффициенты поглощения и рассеяния. Кроме того, учитывалось присутствие в среде патологических изменений в виде опухолевых тканей и кистозной жидкости. Моделирование проводилось для источников излучения двух длин волн 650 и 850 нм по  $10^6$  моделируемых фотонов каждый.

На рисунке 1 представлены результаты моделирования зондирующего сигнала (ход фотонов через биологическую среду и карта освещенности) без патологии в верхнечелюстной пазухе (а) и с кистой (б) для женщины.

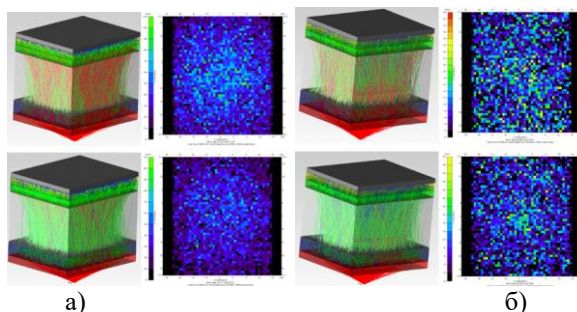


Рис. 1 – Результаты моделирования зондирующего сигнала, проходящего через верхнечелюстную пазуху женщины без патологии (а), с кистой (б) на длине волны 650 нм (вверху) и 850 нм (внизу)

Анализ полученных при моделирование данных показал, что в области ближнего ИК-диапазона (850 нм) спад имел более выраженный характер как у мужчин, так и у женщин. Добавление в моделируемый объект патологический изменений в форме кистозной жидкости приводило к ещё более выраженному снижению сигнала (у мужчин для пазухи без кисты – 0,064 Вт, с кистой – 0,0102 Вт; у женщин – 0,076 Вт и 0,016 Вт, соответственно).

Полученный результат наглядно демонстрирует связь картин рассеяния излучения с оптическими характеристиками области исследования, а именно с высокими поглощающими свойствами кистозной жидкости в ближнем ИК-диапазоне [1, 2], утолщением слоя слизистой оболочки пазухи, характерным для патологических изменений [6], а также с различием в толщине костной ткани и размеров верхнечелюстной пазухи у мужчин и женщин [7].

Используя полученные результаты, планируется корректировка параметров зондирующей и измерительной частей устройства для реализации метода цифровой диафаноскопии для обеспечения схожих картин рассеяния света для различных пациентов и возможности их последующего сравнения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2634.2019.8.

#### *Библиографический список*

1. Jacques, S. L. Optical properties of biological tissues: a review // *Phys. Med. Biol.*, 58(11). – pp. 37-61. – 2013.
2. Peters, V. G. Optical properties of normal and diseased human breast tissues in the visible and near infrared in the visible and near infrared / D.R. Wymant, M.S. Patterson, G.L. Frank // *Phys. Med. Biol. Relat. Content*, 35(9). – pp. 1917-1334. – 1990.
3. Gracco, A. Quantitative evaluation with CBCT of palatal bone thickness in growing patients / L. Lombardo, M. Cozzani, G. Siciliani // *Prog. Orthod.*, 7(2). – pp. 164-174. – 2006.
4. Kang, S. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults / S.J. Lee, S.J. Ahn, M.S. Neo, T.W. Kim // *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 131(4). – pp. 74-81. – 2007.
5. Bryanskaya, E. O. Diagnosis of inflammatory diseases of the paranasal sinuses using digital diaphanography / I.N. Makovik, A.G. Bukin, O.A. Bibikova, B.M. Shuraev, O. Minet, U. Zabarylo, A.V. Dunaev, V.G. Artyushenko // *Proc. SPIE* 11073. – 2019. – 110731P.
6. Teke, H. Y. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans / S. Duran, N. Canturk, G. Canturk // *Surg. Radiol. Anat.*, 29(1). – pp. 9-13. – 2007.
7. Bashkatov, A.N. Optical properties of mucous membrane in the spectral range 350–2000 nm / E.A. Genina, V.I. Kochubey, V.V. Tuchin, E.E. Chikina, A.B. Knyazev, O.V. Maree // *Opt. Spectrosc.*, 97(6). – pp. 978-983. – 2004.
8. Брянская Е.О. Применение метода цифровой диафаноскопии для диагностики воспалительных заболеваний околоносовых пазух / Е.О. Брянская, И.Н. Маковик, О.А. Бибикина, А.В. Дунаев, О. Минэ, У. Забарило, Е.Г. Феликсбергер, В.Г. Артюшенко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2019. – № 3 (335) – С. 111-120.