

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

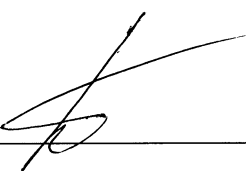
Кафедра оптики и биофотоники

**«Моделирование спектров пропускания и отражения биологических
тканей методом Монте-Карло»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 254 группы
03.04.02 «Физика» (Физика оптических и лазерных явлений)
Физического факультета
Карандашова Романа Жавдятовича

Научный руководитель
профессор, д.ф.-м.н.



В.В. Тучин

Заведующий кафедрой
профессор, д.ф.-м.н.



В.В. Тучин

Саратов 2017 год

Введение. Данная выпускная квалификационная работа посвящена моделированию спектров отражения и пропускания биологических тканей методом Монте-Карло. Выбор метода Монте-Карло по расчёту спектров пропускания и отражения биоткани обусловлен его высокой точностью и соответствием получаемых с его помощью результатов с экспериментальными данными. В настоящее время прослеживается тенденция сведения реальных экспериментов к компьютерному моделированию. Причиной этому является, во-первых, дорогостоящее оборудование для проведения опытов, а во-вторых, точный результат, получаемый моделированием методом Монте-Карло.

Актуальность работы: Актуальность темы данной выпускной квалификационной работы обуславливается, во первых, широким распространением метода Монте-Карло как исследовательского инструмента в области спектроскопии биологических объектов, а во вторых, недостаточной изученности работоспособности алгоритма инверсного Монте-Карло.

Цель работы: Основной целью данной работы является моделирование спектров коллимированного пропускания биотканей в обычных условиях и в условиях оптического просветления, а так же проверка работы алгоритма инверсного Монте-Карло.

Задачи работы:

- 1) Моделирование спектров коллимированного пропускания методом Монте-Карло для разных толщин биоткани. Сопоставление полученного результата со спектрами, рассчитанными по закону Бугера.
- 2) Моделирование влияния параметров экспериментальной схемы на спектры коллимированного пропускания, рассчитанные с помощью метода Монте-Карло. Сопоставление полученного результата со спектрами, рассчитанными по закону Бугера.
- 3) Восстановление оптических параметров биоткани по рассчитанным спектрам полного, коллимированного пропускания и диффузного отражения

методом инверсного Монте-Карло. Анализ полученных результатов при различных исходных параметрах биоткани.

4) Моделирование спектров коллимированного пропускания методом Монте-Карло в условиях оптического просветления биоткани. Восстановление оптических параметров биоткани в условиях просветления.

Научная новизна работы: В работе приведены результаты исследования работы инверсного метода Монте-Карло при различных исходных оптических параметрах ткани. В современной литературе отсутствуют сведения о проведении подобных исследований.

Научная значимость работы обусловлена проведением строгого моделирования с учетом особенностей реальных экспериментальных схем. Полученные результаты о спектрах коллимированного пропускания для тонких образцов представляют практический интерес в спектроскопии рассеивающих сред, а так же для учёта особенностей влияния параметров оптических схем по расчету спектров коллимированного пропускания на сами спектры.

Структура и объём ВКР. Выпускная квалификационная магистерская работа состоит из введения, четырёх разделов: 1. Моделирование методом Монте-Карло; 2. Применение метода Монте-Карло для расчёта оптических параметров биологических тканей; 3. Просветление биологических тканей; 4. Применение метода Монте-Карло для моделирования коллимированного пропускания в условиях просветления ткани; заключения и списка литературы, состоящего из 20 наименований. Материалы работы изложены на 64 страницах.

Основная часть. В разделе 1 даётся теоретическое изложение прямого моделирования методом Монте-Карло и инверсного метода моделирования Монте-Карло. Метод Монте-Карло (в оптике) – это численный метод расчёта оптических характеристик в поглощающих и рассеивающих свет средах. С помощью метода Монте-Карло[1] вычисляются такие характеристики как:

коэффициент диффузного отражения R_d , коэффициент полного пропускания T_t , коэффициент коллимированного пропускания T_c , а так же рассчитывается внутренне распределение света в среде. Сама среда характеризуется набором из трёх параметров: коэффициент поглощения, коэффициент рассеяния и фактор анизотропии. Этот метод является альтернативой аналитического решения уравнения переноса излучения, которое зачастую невозможно решить без использования упрощений, вносящих погрешности в конечный результат. В этом плане метод Монте-Карло является более точным, гибким и универсальным инструментом в решении задач взаимодействия света с веществом, но его реализация требует большого вычислительного времени. Однако с развитием вычислительной техники данная проблема постепенно отходит на второй план.

Для решения обратной задачи, то есть, для нахождения спектров поглощения и рассеяния по имеющимся спектрам пропускания и отражения применяется алгоритм инверсного метода Монте-Карло. Алгоритм инверсного метода Монте-Карло, применяемый в данной работе, основывается на алгоритме, описанном в источниках [2,3].

В разделе 2 представлено описание мышечной ткани [4], выбранной в качестве образца для исследования в данной работе. По заданным оптическим параметрам мышечной ткани было произведено моделирование спектров коллимированного пропускания методом Монте-Карло и по закону Бугера. Моделирование показало, что на тонких образцах спектры коллимированного пропускания, рассчитанные моделированием Монте-Карло, практически полностью совпадают со спектрами, рассчитанными по закону Бугера. Такая тенденция наблюдается для образцов, толщиной до 1 мм. Полученный результат полностью оправдал ожидания и говорит о том, что в случае тонких исследуемых образцов, для расчета коллимированного пропускания можно использовать закон Бугера. На толщинах, превышающих 1 мм, спектры пропускания, рассчитанные методом Монте-Карло, отличаются от спек-

тров, рассчитанных по закону Бугера, по форме кривой и по амплитуде. Причиной такого отличия является то, что в случае образцов, толщина которых превышает 1 мм, большой вклад в формирование спектра коллимированного пропускания вносят рассеянные фотоны, которые не учитываются законом Бугера. Таким образом, результаты моделирования показали границу применимости закона Бугера для исследования коллимированного пропускания в рассеивающих средах.

Было также произведено моделирование реальной экспериментальной схемы по расчету коллимированного пропускания в дальней и ближней геометрии, при разных значениях диаметра светового пучка. Были получены следующие результаты:

- 1) В случае дальней геометрии изменение диаметра входного окна фотодетектора (при условии его равенства с диаметром светового пучка) никак не влияет на спектры коллимированного пропускания.
- 2) Спектры, рассчитанные методом Монте-Карло в ближней геометрии имеют разную амплитуду и форму кривой коллимированного пропускания по сравнению со спектрами по Бугеру и со спектрами, рассчитанными в дальней геометрии. Причиной такого отличия является попадание в фотодетектор рассеянных фотонов, чего не происходит при дальней геометрии и не учитывается законом Бугера.
- 3) Для толщины образца в 0.05 см, спектры коллимированного пропускания, рассчитанные методом Монте-Карло в дальней геометрии полностью совпадают со спектрами, рассчитанными по закону Бугера при всех значениях диаметра входного окна фотодетектора.
- 4) Для толщины образца в 0.05 см спектры коллимированного пропускания изменяются по амплитуде при изменении диаметра входного окна фотодетектора. Связано это с регистрацией разного числа рассеянных фотонов, формирующих спектр коллимированного пропускания.

На образце толщиной 0.05 см было произведено инверсное моделирование Монте-Карло для разных исходных спектров коэффициента рассеяния. Моделирование показало, что коэффициент поглощения хорошо восстанавливается при повышении амплитуды исходных спектров коэффициента рассеяния. Небольшая разница наблюдается в полосах поглощения, которая может быть скомпенсирована настройкой точности вычислений при работе алгоритма инверсного Монте-Карло. Иная ситуация обстоит с восстановлением транспортного коэффициента рассеяния. Восстановленный транспортный коэффициент рассеяния по амплитуде сильно превосходит исходный. С ростом исходного значения коэффициента рассеяния, наблюдается сильное искажения формы исходной кривой рассеяния.

В разделе 3 рассмотрены основные механизмы управления оптическими параметрами биотканей [5,6,7], а так же перспективы применения оптического просветления в медицине.

В разделе 4 для среды толщиной 0.05 см были смоделированы спектры коллимированного пропускания в условиях оптического просветления. Моделирование спектров коллимированного пропускания мышечной ткани в условиях оптического просветления проводилось следующим образом: исходный спектр коэффициента рассеяния уменьшался со 100% значения до 5% значения с шагом уменьшения в 5%. Спектр коэффициента поглощения при этом оставался неизменным. Прямое моделирование Монте-Карло показало рост спектра коллимированного пропускания с уменьшением спектра коэффициента рассеяния. Такой результат полностью соответствует теоретическим представлениям и подтверждается результатами многочисленных экспериментов. Затем, для ткани в условиях просветления было произведено инверсное моделирование методом Монте-Карло. Показано, что спектры коэффициентов поглощения хорошо восстанавливаются при понижении амплитуды спектров рассеяния. Небольшие отличия, как и в случае с повышением амплитуды спектров рассеяния, наблюдаются в полосах поглощения, что, как уже было отмечено в разделе 2 данной работы, может быть скомпенсировано

настройкой точности работы алгоритма инверсного Монте-Карло. Восстановленные спектры коэффициентов транспортного рассеяния, в случае понижения амплитуды исходных спектров коэффициента рассеяния, по амплитуде превышают исходные спектры коэффициентов транспортного рассеяния по всему спектру. Аналогичный результат был получен в пункте 2 данной работы. Однако, в случае понижения амплитуд исходных спектров рассеяния, искажение формы кривой спектров транспортного коэффициента рассеяния не наблюдается.

Заключение. Моделирование спектров коллимированного пропускания мышечной ткани методом Монте-Карло привело к следующим результатам:

- 1) Были выявлены границы применимости закона Бугера. Как показало моделирование, спектры коллимированного пропускания, рассчитанные для тонких образцов ткани (0.5 мм – 1 мм) по закону Бугера практически полностью совпадают со спектрами коллимированного пропускания, рассчитанными методом Монте-Карло. Это даёт возможность применять закон Бугера для расчёта спектров коллимированного пропускания для тонких образцов ткани.
- 2) Было установлено влияние геометрии эксперимента (в выбранной экспериментальной схеме) на рассчитываемые спектры коллимированного пропускания. Как показало моделирование, изменение размеров пучка и входного окна фотодетектора для случая дальней геометрии не влияет на конечный результат. В этом случае, на тонких образцах, спектры коллимированного пропускания, рассчитанные методом Монте-Карло практически полностью совпадают со спектрами коллимированного пропускания, рассчитанными по закону Бугера. В случае ближней геометрии, фотодетектор начинает улавливать рассеянные фотоны и спектры коллимированного пропускания, рассчитанные методом Монте-Карло превышают по амплитуде спектры коллимированного пропускания, рассчитанные по закону Бугера. Изменение размеров пучка и

входного окна фотодетектора в случае ближней геометрии приводит к не очень значительным изменениям в спектрах коллимированного пропускания, рассчитанных методом Монте-Карло.

- 3) Моделирование спектров коллимированного пропускания в условиях оптического просветления методом Монте-Карло показало рост пропускания с уменьшением исходных спектров коэффициента рассеяния. Такой результат полностью соответствует теоретическим представлениям и наблюдается в реальных экспериментах.

Восстановление оптических параметров мышечной ткани показало, что при фиксированном исходном спектре коэффициента поглощения, но увеличивающимся спектре коэффициента рассеяния, восстановленные спектры коэффициента поглощения не сильно отличаются от исходного спектра коэффициента поглощения, а восстановленные спектры транспортного коэффициента рассеяния с ростом исходного спектра коэффициента рассеяния сильно превосходят исходные спектры транспортного коэффициента рассеяния. Причём с ростом исходного спектра коэффициента рассеяния происходит искажение формы кривой восстановленного транспортного коэффициента рассеяния по сравнению с исходным. В условиях просветления, с уменьшением исходного спектра коэффициента рассеяния, восстановленные спектры коэффициентов поглощения по-прежнему не сильно отличаются от исходного спектра коэффициента поглощения. Снижение спектра коэффициента рассеяния в этом случае не приводит к искажению форм кривых восстановленных спектров транспортного коэффициента рассеяния, однако они по-прежнему сильно превосходят по амплитуде исходные спектры транспортного коэффициента рассеяния. Для установления причины такого поведения восстанавливаемых спектров коэффициента транспортного рассеяния необходимо проведения дополнительного исследования, в котором алгоритм инверсного Монте-Карло с необходимостью должен использовать вычислительные мощности ГПУ[8,9]. В рамках этого исследования необходимо проверить работу

алгоритма инверсного Монте-Карло: с повышенной точностью; с использованием другим фазовых функции; с использованием других начальных приближений.

Список использованных источников.

1. Wang L., Jacques S. L., Zheng L. MCML—Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues //Computer methods and programs in biomedicine. – 1995. – Т. 47. – №. 2. – С. 131-146.
2. Башкатов А. Н. и др. Оптические свойства биологических тканей брюшины в спектральном диапазоне 350–2500 нм //Оптика и спектроскопия. – 2016. – Т. 120. – №. 1. – С. 6-14.
3. Башкатов А. Н. и др. Оптические свойства тканей толстой кишки человека в спектральном диапазоне 350–2500 нм //Квантовая электроника. – 2014. – Т. 44. – №. 8. – С. 779-784.
4. Башкатов, А.Н. Общий физический практикум. Биофотоника : учебно-методическое пособие / А.Н. Башкатов, Э.А. Генина, Л.Е. Долотов, А.Б. Правдин, В.В. Тучин ; под ред. проф. В.В. Тучина. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2011. 144 с.
5. Башкатов А. Н., Генина Э. А., Тучин В. В. Оптическое просветление биологических тканей перспективы применения в медицинской диагностике и фототерапии //Альманах клинической медицины. – 2008. – №. 17-1.
6. Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния //Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167. – №. 5. – С. 517-539.
7. Тучин, В.В. Оптика биологических тканей. Методы рассеяния света в медицинской диагностике / В.В. Тучин. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. 812 с.
8. Фикс И. И., Кириллин М. Ю., Катичев А. Р. Реализация метода Монте-Карло на CUDA для задач оптической биомедицинской диагностики

//Применение гибридных высокопроизводительных вычислительных систем для решения научных и инженерных задач. – С. 15.

9. Demidov V. et al. Modeling and interpreting speckle pattern formation in swept-source optical coherence tomography (Conference Presentation)
//SPIE BiOS. – International Society for Optics and Photonics, 2017. – С. 1006304-1006304-1.