

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу В.В. Перекатовой «Развитие методов реконструктивной оптико-акустической визуализации биологических тканей», представляемой на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 01.04.21 – Лазерная физика.

Диссертационная работа В.В. Перекатовой посвящена развитию методов реконструктивной оптико-акустической (ОА) визуализации биологических тканей. В настоящее время ОА диагностика развивается быстрыми темпами, что связано с развитием элементной базы (лазеров с быстрой перестройкой длины волны, многоэлементных высокочувствительных антенн и проч.) и разработкой новых методик применения данного метода в биомедицине. В последние годы ОА диагностика достигла больших успехов, позволив визуализировать в реальном времени в 3D анатомические особенности биологических тканей, содержащие как эндогенные хромофоры (гемоглобин, жиры, меланин, коллаген, вода), так и экзогенные контрастные агенты. Кровь, в основном состоящая из окси- и дезоксигемоглобина, является наиболее сильным поглотителем по сравнению с другими компонентами биологической ткани (эндогенными хромофорами), что позволяет использовать ОА визуализацию для исследования кровеносных сосудов *in vivo*, и, соответственно, делает возможным *in vivo* диагностику новообразований, сопровождающихся ангиогенезом. Поскольку оптическое поглощение различных эндогенных и экзогенных хромофоров по-разному зависит от длины волны, мультиспектральные ОА исследования позволяют восстанавливать пространственное распределение концентраций отдельных хромофоров биологической ткани с известными парциальными спектрами оптического поглощения. Однако для проведения количественных ОА оценок – определения соотношений концентраций хромофоров в данной точке исследуемого объекта – требуется совместное решение акустической и оптической задач для каждой оптической длины волны. Основное внимание в Диссертационной работе уделено определению степени насыщения крови кислородом мультиспектральным ОА методом, что, несомненно, является важной задачей для различных медико-биологических приложений.

В ходе исследования В.В. Перекатовой был разработан алгоритм решения обратной задачи акустики на основе трехмерной модели распространения акустических волн от распределенных источников в среде с частотно-зависимым акустическим поглощением, имитирующей биологическую ткань, и с учетом нестационарной функции размытия точки сферически фокусируемой ультразвуковой антенны. В Диссертационной работе В.В. Перекатовой разработан новый метод решения обратной задачи ОА визуализации с одновременным учетом функции размытия точки сферически фокусируемой ультразвуковой антенны и распределения освещенности в среде. Было продемонстрировано, что разработанный метод совместного решения обратных задач оптики и акустики, экспериментально апробированный на модельных средах и в условиях *in vivo*, позволяет получать восстановленные изображения с меньшим временем обработки по сравнению с известным алгоритмом синтеза апертуры. Впервые В.В. Перекатовой было проведено теоретическое исследование погрешности измерительной оптико-акустической системы по отношению к определению степени насыщения крови кислородом на различных глубинах с учетом влияния пространственного распределения освещенности от лазерной длины волны и с учетом затухания освещенности в кровеносном сосуде. В частности, было показано, что для минимизации погрешности экспериментального определения степени насыщения крови кислородом при двухволновом зондировании объекта в условиях неизвестного распределения освещенности необходимо использовать длины волн в диапазонах 658 ± 40 нм и 900-1069 нм. В диссертационной работе было впервые проведено сравнительное экспериментальное исследование двух методов оценки оксигенации: на основе измерения амплитуд оптико-акустических сигналов и на основе определения эффективного коэффициента затухания оптико-акустических сигналов. Проведение серии *in vivo* экспериментов по двухволновому определению степени насыщения крови кислородом амплитудным методом

показало, что оптимальные пары длин волн составляют 700 нм и длина волны из диапазона 850 – 1069 нм. Эти результаты хорошо согласуются с теоретическими оценками погрешности определения оксигенации в случае, когда оптические свойства известны приближенно.

Исследование В.В. Перекатовой опирается на известные теоретические модели распространения акустического и оптического излучения, широко используемые в акустике и оптике, а также на ряд достоверных математических методов. Полученные в диссертации результаты подтверждаются численными, модельными, *in vitro* и *in vivo* экспериментами.


Разработанные В.В. Перекатовой алгоритмы количественной реконструкции могут быть использованы в экспериментальной медицине и клинической диагностике для получения ангиографических изображений биологических тканей с возможностью локального определения степени насыщения крови кислородом в каждом кровеносном сосуде.

При выполнении работы В.В. Перекатова продемонстрировала высокую работоспособность, эрудицию, владение методами математического анализа и численного моделирования. В ходе выполнения диссертационной работы В.В. Перекатова разобралась с физическими принципами различных методов диагностики биологических тканей, освоила аналитические и численные методы решения различных физических задач, самостоятельно провела анализ современной литературы в области исследований. Результаты исследований были представлены на всероссийских и международных конференциях. По результатам ее работы было опубликовано 9 статей в изданиях, входящих в список ВАК, в том числе в ведущих мировых журналах по применению оптических методов для решения биомедицинских задач *Journal of Biomedical Optics* (импакт-фактор 2.555), *Photoacoustics* (импакт-фактор 5.25), *Biomedical Optics Express* (импакт-фактор 3.91). В.В. Перекатова стала лауреатом Конкурса работ молодых ученых ИПФ РАН и лауреатом стипендий им. акад. Г.А. Разуваева, а также лауреатом стипендии Американского Акустического Общества. За время работы в отделе радиофизических методов в медицине ИПФ РАН (будучи студентом ВШОПФ ННГУ, а затем аспирантом ИПФ РАН) с 2013 года В.В. Перекатова выросла в квалифицированного научного сотрудника, ведущего активную исследовательскую деятельность.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная В.В. Перекатовой диссертационная работа «Развитие методов реконструктивной оптико-акустической визуализации биологических тканей» соответствует выбранным специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 01.04.21 – Лазерная физика, а В.В. Перекатова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:
зав. отд. 360 ИПФ РАН,
к.ф.-м.н.


(подпись)


(расшифровка подписи)
« 27 » ноября 20 19 г.

«Подпись Турчина Ильи
Викторовича заверяю»
Ученый секретарь ИПФ РАН




(подпись)

И.В. Корюкин
(расшифровка подписи)