

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по научной работе  
и цифровому развитию  
ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
Доктор физ.-мат. наук, профессор  
Алексей Александрович Короновский



11 октября 2024 года

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского" по диссертации Маркова Сергея Валерьевича "Исследование физических принципов акустооптического метода определения группы крови человека по системе АВ0" на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.2 – "Биофизика", выполненной на кафедре оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского".

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского" № 191 – Д от 16.12.2021 г.

В 2017 году Марков Сергей Валерьевич с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского" по направлению подготовки 12.04.04 "Биотехнические системы и технологии" с присуждением квалификации "Магистр". В 2021 году Марков Сергей Валерьевич окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского" по направлению подготовки 03.06.01 "Физика и астрономия", направленность "Биофизика" с присвоением квалификации "Исследователь. Преподаватель-исследователь". Диплом об окончании аспирантуры № 106431 0284726 выдан 30.08.2021 г.

Во время обучения в аспирантуре Марковым Сергеем Валерьевичем были сданы кандидатские экзамены по иностранному языку, по истории и философии науки, а также по специальности "Биофизика" (Приложение к диплому аспиранта № 106431 0285112 выдано 30.08.2021 г.).

Марков Сергей Валерьевич был прикреплен для написания диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности "Биофизика" с 11 октября 2021 года сроком на три года (до 11 октября 2024 года) согласно приказу ректора ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского" № 139 – Д от 11.10.2021 года.

Научный руководитель – Дубровский Валерий Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского", утверждённый приказом ректора ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского" № 191 – Д от 16.12.2021 г., представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании Научного медицинского центра ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского" и кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н. Г. Чернышевского" с приглашением специалистов по профилю диссертации.

На заседании присутствовали:

1. Тучин Валерий Викторович, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
2. Симоненко Георгий Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
3. Синичкин Юрий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
4. Дубровский Валерий Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
5. Генина Элина Алексеевна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
6. Янина Ирина Юрьевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
7. Лазарева Екатерина Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
8. Цой Мария Олеговна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
9. Генин Вадим Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией "Учебная лаборатория атомной физики, квантовой электроники и спектроскопии" ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
10. Сердобинцев Алексей Александрович, кандидат физико-математических наук, и. о. заведующего лабораторий биомедицинской фотоакустики и "Дистанционно управляемые системы для тераностики" Научного медицинского центра ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского", доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
11. Свенская Юлия Игоревна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории "Дистанционно управляемые системы для тераностики" Научного медицинского центра ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
12. Березин Кирилл Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
13. Правдин Александр Борисович, кандидат химических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
14. Федосов Иван Владленович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".
15. Серебрякова Изабелла Анатольевна, аспирант, инженер кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского".

Рецензенты диссертации:

Симоненко Георгий Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского" представил положительный отзыв.

Синичкин Юрий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ им. Н.Г. Чернышевского" представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:



Диссертация Маркова С.В. посвящена выявлению основных физических принципов, на которых основано действие акустооптического метода определения группы крови человека по системе АВ0.

### **Научная новизна исследования**

1. Исследованы процессы протекающие в образце крови при их использовании в акустооптическом методе определения группы крови человека;
2. Предложена и экспериментально подтверждена математическая модель седиментации крови в виде коллективного процесса;
3. Предложена и экспериментально подтверждена механическая модель седиментации крови в виде коллективного процесса;
4. Предложена и экспериментально подтверждена математическая модель группировки эритроцитов в виде коллективного процесса;
5. Разработаны и опробованы способы обработки экспериментальных данных, значительно повышающие разрешающую способность акустооптического метода, повышая точность определения группы крови в сложных ситуациях.

### **Научная и практическая значимость**

В настоящей работе приведены результаты исследования процессов, протекающих во время проведения эксперимента по определению групповой принадлежности образца крови по системе АВ0, а также разработки цифровых способов анализа экспериментальных данных. В частности, один из представленных способов в рамках апробации давал результат разрешающей способности по величине, находящейся на уровне  $R \approx 10^5$ .

Для описания процесса седиментации была успешно продемонстрирована модель, в основе которой лежал принцип коллективного процесса, что отличает настоящую работу от многих других работ по схожим тематикам исследования. Более того, имело место представление не только математической, но и механической модели. Последнее является дополнительным подтверждением идеи о коллективном подходе к описанию седиментации крови.

Представленная модель группировки эритроцитов также рассматривалась с точки зрения коллективного процесса. Сравнение с экспериментальными данными также имело успешный исход.

Стоит отметить, что подтверждение того, что коллективный подход к описанию процессам седиментации и группировки, является одной из основных задач, решаемых в рамках настоящей работы.

### **Апробация работы:**

Материалы, изложенные в диссертации, докладывались на следующих конференциях и симпозиумах:

1. Оптическая цифровая регистрация седиментации эритроцитов и ее моделирование в форме коллективного процесса Дубровский В.А., Дворецкий К.Н., Марков С.В. – Saratov Fall Meeting - 2017
2. Регистрация седиментации эритроцитов и ее моделирование в форме коллективного процесса Дубровский В.А., Дворецкий К.Н., Марков С.В. – Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2017.
3. Registration and modeling of the sedimentation process of erythrocytes and their aggregates in vitro, Дубровский В.А., Марков С.В., Дворецкий К.Н., Карпочева Е. П. – Saratov Fall Meeting - 2018.
4. Ultrasonic standing wave action upon the sedimentation process of human erythrocytes, Дубровский В.А., Марков С.В., Торбин С. О., Карпочева Е. П. – Saratov Fall Meeting - 2018.

5. Влияние эффекта агрегации на процесс седиментации эритроцитов в растворах крови человека Дубровский В.А., Марков С.В., Дворецкий К.Н., Карпочева Е. П. – Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2018.
6. Red blood cells and their aggregates sedimentation mechanical model - experiment and mathematical description of the process, Дубровский В.А., Марков С.В., Ковалев Д.Г. – Saratov Fall Meeting - 2019.
7. Modeling of erythrocytes grouping process by ultrasound standing wave, Дубровский В.А., Марков С.В., – Saratov Fall Meeting - 2020.
8. The process of erythrocytes grouping by ultrasound standing wave, Дубровский В.А., Марков С.В., Торбин С. О. – SFM-2021.

#### **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Личный вклад автора состоит в самостоятельном выполнении представленных в настоящей диссертации экспериментальных исследований, анализа данных и расчётов. А именно, проведение экспериментов по изучению седиментации крови в зависимости от ряда факторов; пробоподготовка, настройка экспериментальной установки, проведение опытов, сбор полученных экспериментальных данных, их предварительный анализ, расчёты искомых величин и эмпирических зависимостей: смещение границы "седимент-супернатант" от времени; скорость седиментации крови от концентрации цельной крови в образце; оптимальное содержание крови в образце; оптимальная длительность ультразвукового воздействия на образец при опытах по типированию образцов. Выполнение основных расчётов как по моделированию, так и по обработке экспериментальных данных, а также разработка программных способов анализа, с точки зрения написания программного кода, также были выполнены автором работы. Постановка задач настоящего исследования и обсуждение полученных в его ходе результатов осуществлялись под руководством В. А. Дубровского. Экспериментальные исследования проводились на базе лаборатории кафедры биофизики и цифровых технологий ФГБОУ ВО "Саратовский ГМУ им. В. И. Разумовского Минздрава России".

#### **Достоверность результатов исследования**

Подтверждается воспроизводимостью полученных результатов, их соответствием тем данным, которые были получены другими авторами, работающими в том же направлении. Также это подтверждается фактом прохождения этих результатов через критическое рассмотрение рецензентами. Достоверность экспериментальных результатов была обеспечена использованием современной цифровой аппаратуры. Все выявленные и сформулированные закономерности, формулы и описания моделей и процессов были получены в результате строгого анализа полученных в ходе исследования данных с помощью принятых современных методик обработки.

#### **Соответствие диссертации научной специальности**

Диссертация Маркова Сергея Валерьевича "Исследование физических принципов акустооптического метода определения группы крови человека по системе АВ0" соответствует паспорту научной специальности 1.5.2. – Биофизика (пп. 1.1, 3, 4).

#### **Полнота изложения материалов диссертации в научных работах, опубликованных соискателем**

По материалам диссертации опубликовано 9 работ в отечественных и зарубежных изданиях, из них 4 статьи в журналах из перечня, рекомендованного ВАК, 8 тезисов докладов на научных российских и международных конференциях, где изложены основные результаты диссертационного исследования.

Статьи в журналах и сборниках трудов ВАК, Scopus и Web of Science



1. Оптическая цифровая регистрация седиментации эритроцитов и ее моделирование в форме коллективного процесса, В.А. Дубровский, К.Н. Дворецкий, **С.В. Марков**, Е.П. Карпочева, В.В. Тучин // Оптика и спектроскопия, 2019, том 126, вып. 5, С 678 – 689;
2. Экспериментальное и математическое моделирование седиментации эритроцитов донорской крови в форме коллективного процесса, В. А. Дубровский, **С. В. Марков**, Д. Г. Ковалёв // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2021. Т. 21, вып. 2. С. 165–177;
3. The Sedimentation Rate of Free Erythrocytes and Their Associates, the Influence of a Standing Ultrasonic Wave, Valeri A. Doubrovski, **Sergey V. Markov**, Stanislav O. Torbin, Elena P. Karpocheva // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2021, том 7, выпуск 4;
4. Влияние способов обработки экспериментальных результатов на разрешающую способность акусто-оптического метода определения группы крови человека, В. А. Дубровский, **С. В. Марков** // Оптика и спектроскопия, 2022, том 130, вып. 6, С 906–917;

Ряд научных работ соискателя, содержащих результаты диссертационного исследования находятся в печати.

#### **Тезисы докладов конференций:**

1. The process of sedimentation of red blood cells of donor blood was investigated experimentally by means of digital photo recording. // Saratov Fall Meeting – 2017 "Optical digital recording of sedimentation of erythrocytes and its modeling in the form of a collective process" – постерный доклад.
2. Экспериментально с помощью цифровой фоторегистрации исследуется процесс седиментации эритроцитов донорской крови при высоких уровнях ее разведения физиологическим раствором. // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2017 "Регистрация седиментации эритроцитов и ее моделирование в форме коллективного процесса" – постерный доклад.
3. Blood sedimentation theoretical model is constructed for two cases: 1) free erythrocytes sedimentation (high blood dilution degree) and 2) subsidence of erythrocyte aggregates (low blood dilution degree, up to whole blood). // Saratov Fall Meeting – 2018 "Registration and modeling of the sedimentation process of erythrocytes and their aggregates in vitro" – постерный доклад.
4. Study of the influence of a standing ultrasonic wave on blood sedimentation process // Saratov Fall Meeting – 2018 "Ultrasonic standing wave action upon the sedimentation process of human erythrocytes" – постерный доклад.
5. Построена теоретическая модель оседания крови для случая оседания эритроцитарных агрегатов (слабое разведение крови, вплоть до цельной крови) // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2018 "Влияние эффекта агрегации на процесс седиментации эритроцитов в растворах крови человека" – постерный доклад.
6. The red blood cells and their aggregates sedimentation process is modeled by mechanical disks sedimentation observation and their speed measuring. // Saratov Fall Meeting – 2019 "Red blood cells and their aggregates sedimentation mechanical model - experiment and mathematical description of the process" – постерный доклад.
7. Experimentally and theoretically (mathematical modeling), the donor blood erythrocytes grouping process by a standing ultrasonic wave is considered. // Saratov Fall Meeting-2020 "Modeling of erythrocytes grouping process by ultrasound standing wave" – постерный доклад.
8. The article presents data processing methods for experimental results, that were obtained on acousto-optical human blood typing setup, it's principals and approbation. // Saratov

Fall Meeting – 2021 "Acousto-optical human blood typing method. Experimental data processing" – постерный доклад.

### **Ценность научных работ**

Ценность научных работ Маркова Сергея Валерьевича заключается в расширении теоретических представлений о ряде процессов, протекающих в крови при её анализе *in vitro*, в разработке цифровых способов обработки экспериментальных данных, полученных с помощью акустооптического метода определения групповой принадлежности крови человека. Результаты научных работ соискателя могут быть использованы для создания нового инструментального метода определения группы крови человека по системе АВ0.

### **Общая оценка диссертации**

Диссертационная работа Маркова Сергея Валерьевича "Исследование физических принципов акустооптического метода определения группы крови человека по системе АВ0" является законченной научно-квалификационной работой, содержащей сведения об особенностях процессов, протекающих в образцах крови при использовании акустооптического метода определения групповой принадлежности образца крови. Подробно рассмотрен такой процесс как седиментация крови – в рамках настоящей работы упор сделан на то, что данный процесс является коллективным, макропроцессом. С учётом данной особенности был разработан ряд моделей, удовлетворительно сопоставляющихся с результатами экспериментов. Было также показано, что наличие ультразвукового воздействия на образец является каталитическим фактором для агглютинации и последующей индуцированной седиментации крови. Также были представлены достаточно высокие значения величин разрешающей способности, полученные при использовании определённых цифровых статистических способах обработки, что также является признаком достоверности результатов всего акустооптического метода.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне с применением современных методов исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в научных статьях и материалах конференций.

Диссертация Маркова Сергея Валерьевича "Исследование физических принципов акустооптического метода определения группы крови человека по системе АВ0" рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.5.2. – Биофизика как удовлетворяющая критериям, установленным в пп. 9-11, 13, 14 действующего "Положения о присуждении учёных степеней" для кандидатских диссертаций.

Заключение принято на расширенном заседании Научного медицинского центра ФГБОУ ВО "СГУ имени Н.Г. Чернышевского" и кафедры оптики и биофотоники ФГБОУ ВО "СГУ имени Н.Г. Чернышевского" с приглашением специалистов по профилю диссертации. На заседании присутствовали 13 человек, имеющих право голосовать, из них 5 докторов наук и 8 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты голосования: "за" – 13 чел., "против" – нет, "воздержались" – нет, протокол № 12/24 от 8 октября 2024 г.

### **Председатель заседания**

Доктор физико-математических наук, профессор,  
Заведующий кафедрой оптики и биофотоники,  
Руководитель научного медицинского центра  
ФГБОУ ВО "СГУ имени Н.Г. Чернышевского"

Тучин Валерий Викторович

Подпись <u>Тучина В.В.</u> удостоверяю
Ученый секретарь
Ученого совета СГУ <u>В.Г. Семенова</u>
« 09 » <u>октября</u> 20 <u>24</u> г.