

**Заключение диссертационного совета 24.1.047.01, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института вычислительной математики и математической геофизики  
Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки  
и высшего образования Российской Федерации, по диссертации на  
соискание учёной степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 2.06.2026 № 5

**О присуждении** Цгоеву Чермену Алановичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Математическое моделирование воспалительной фазы инфаркта миокарда» по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 10 марта 2026 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.1.047.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, созданного приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03.06.2021 г.

**Соискатель** Цгоев Чермен Аланович, 26 января 1995 года рождения. В 2020 году соискатель окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по направлению подготовки «Механика и математическое моделирование». В 2024 году соискатель окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по направлению подготовки «Компьютерные и информационные науки». Работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** в лаборатории технологий анализа и обработки биомедицинских данных Федерального государственного

бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук Воропаева Ольга Фалалеевна, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ), лаборатория технологий анализа и обработки биомедицинских данных, ведущий научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:**

Ильин Александр Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук по специальности 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет вычислительной математики и кибернетики, кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, профессор,

Ворожцов Евгений Васильевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН), Лаборатория физики быстропротекающих процессов, ведущий научный сотрудник

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН), г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном Чупахиным Александром Павловичем, д.ф.-м.н., заведующим лабораторией биомеханики и многомасштабной механики сложных сред ИГиЛ СО РАН (специальность ВАК: 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы») и Валовой Галиной Сергеевной, к.ф.-м.н., научным сотрудником лаборатории биомеханики и многомасштабной механики сложных сред ИГиЛ СО РАН (специальность ВАК: 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы»), указали, что диссертация отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842; научные результаты, полученные в работе, соответствуют паспорту специальности 1.2.2–Математическое

моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор Цгоев Чермен Аланович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 39 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 39 работ. Работы представляют собой научные публикации, среди которых 7 статей в рецензируемых журналах из Белого списка (К-1, 2), рекомендованных ВАК и индексируемых в РИНЦ и SCOPUS или WoS, 24 тезиса докладов и 6 статей в трудах международных и всероссийских конференций, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. В публикациях изложены все основные результаты кандидатской диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Все выносимые на защиту результаты получены автором лично. У соискателя с соавторами работ отсутствует конфликт интересов относительно результатов, выносимых на защиту.

#### **Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Численное моделирование инфаркта миокарда при многососудистом поражении коронарного русла. I. Анализ некоторых модельных сценариев // Математическая биология и биоинформатика. – 2024. – Т. 19. – № 1. – С. 183-211.

Личный вклад автора заключается в обсуждении стратегии вычислительных экспериментов, проведении расчетов и анализе результатов моделирования воспалительной фазы инфаркта миокарда при многососудистом поражении коронарного русла, включая анализ на модельных примерах пространственно-временной динамики и закономерностей формирования крупного очага инфаркта из нескольких мелких соседствующих очагов ишемии.

2. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Численное моделирование инфаркта миокарда при многососудистом поражении коронарного русла. Ч. II. Закономерности формирования крупного очага повреждения и структурообразования // Математическая биология и биоинформатика. – 2024. – Т. 19. – № 2. – С. 497-532.

Личный вклад автора заключается в обсуждении постановки задачи, стратегии вычислительных экспериментов, разработке программ, проведении расчетов и анализе результатов моделирования взаимодействия множественных очагов инфаркта миокарда в зависимости от наиболее характерных внешних и индивидуальных факторов, в том числе степени

ишемического повреждения, варибельности иммунной реакции и свойств среды.

3. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Численное моделирование инфаркта миокарда. I. Анализ пространственно-временных аспектов развития местной воспалительной реакции // Математическая биология и биоинформатика. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 49-71.

Личный вклад автора заключается в обсуждении стратегии вычислительных экспериментов, разработке программ, проведении расчетов и анализе результатов моделирования пространственно-временной динамики воспалительной фазы инфаркта миокарда, включая исследование пространственно-временных закономерностей развития воспаления и формирования демаркационного воспаления.

4. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Численное моделирование инфаркта миокарда. II. Анализ механизма поляризации макрофагов как терапевтической мишени // Математическая биология и биоинформатика. – 2023. – Т. 18. – № 2. – С. 367-404.

Личный вклад автора заключается в обсуждении постановки задачи, стратегии вычислительных экспериментов, разработке программ, проведении расчетов и анализе данных моделирования в части, касающейся процессов активации и поляризации макрофагов, регуляции воспалительной реакции и оценки эффективности различных терапевтических стратегий с использованием иерархии разработанных математических моделей.

5. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А., Шокин Ю.И. Численное моделирование воспалительной фазы инфаркта миокарда // Прикладная механика и техническая физика. – 2021. – Т. 62. – № 3 (367). – С. 105-117. (Voropaeva O.F., Tsgoev C.A., Shokin Yu.I. Numerical simulation of the inflammatory phase of myocardial infarction // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2021. – V. 62. – № 3. – P.441-450.)

Личный вклад автора заключается в обсуждении стратегии вычислительных экспериментов, разработке программ, проведении расчетов и анализе результатов моделирования пространственно-временной динамики воспалительной фазы инфаркта миокарда, включая построение пространственно-распределенной модели инфаркта миокарда и исследование механизмов пространственной локализации решения и структурообразования.

6. Tsgoev C.A., Voropaeva O.F., Shokin Y.I. Mathematical modelling of acute phase of myocardial infarction // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. – 2020. – V. 35. – № 2. – P.111-126.

Личный вклад автора заключается в обсуждении стратегии вычислительных экспериментов, разработке программ, проведении расчетов

и анализе результатов моделирования острой фазы инфаркта миокарда в ядре повреждения, включая формулировку и разработку экономичной вычислительной технологии структурной и параметрической идентификации систем дифференциальных уравнений и построение математической модели острой фазы инфаркта миокарда в ядре повреждения.

7. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Численная модель динамики факторов воспаления в ядре инфаркта миокарда // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2019. – Т. 22. – № 2(78). – С. 13-26. (Voropaeva O.F., Tsgoev Ch.A. A Numerical Model of Inflammation Dynamics in the Core of Myocardial Infarction // Journal of Applied and Industrial Mathematics. – 2019. – V. 13. – № 2. – P. 372-383.)

Личный вклад автора заключается в обсуждении стратегии вычислительных экспериментов, разработке программ, проведении расчетов и анализе результатов моделирования воспалительного процесса в ядре инфаркта миокарда, включая разработку и исследование базовой точечной математической модели, а также численный анализ эффективных алгоритмов решения прямых и обратных коэффициентных задач.

8. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Программный комплекс VT/MI-2DM для моделирования процесса гибели клеток миокарда во время острой фазы инфаркта с применением уравнений типа реакция–диффузия // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023683234 от 03.11.2023 – Заявка № 2023681579 от 19.10.2023.

Личный вклад автора заключается в разработке численного алгоритма и разработке программного комплекса VT/MI-2DM для моделирования процессов гибели клеток миокарда в острой фазе инфаркта на основе уравнений типа реакция–диффузия, а также в создании архитектуры комплекса, тестировании вычислительных модулей и анализе результатов моделирования.

9. Воропаева О.Ф., Цгоев Ч.А. Программный комплекс VTMO для численного исследования динамики факторов воспаления в ядре инфаркта миокарда // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018612327 от 15.02.2018 г. – Заявка № 2017663641 от 26.12.2017 г.

Личный вклад автора заключается в разработке программного комплекса VTMO, предназначенного для численного решения нелинейных жестких систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику факторов воспаления в ядре инфаркта миокарда. В рамках работы автором реализованы численные алгоритмы для решения прямых и обратных коэффициентных задач, методы анализа чувствительности моделей, инструменты для статистического анализа результатов.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

1. **Отзыв на автореферат** представила Сенчукова Светлана Робертовна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных механизмов неопластических процессов Института молекулярной патологии и патоморфологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» Министерства науки и высшего образования РФ. **Отзыв положительный** и не содержит замечаний.
2. **Отзыв на автореферат** представил Черных Геннадий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории математического моделирования Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ) Министерства науки и высшего образования РФ. **Отзыв положительный** и не содержит замечаний.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается их высокой квалификацией в вопросах математического моделирования задач механики, биомеханики, биологии и медицины, теории динамических систем и теории дифференциальных уравнений, вычислительной математики и численных методов, разработки и использования комплексов программ, наличием публикаций в рецензируемых журналах по теме диссертации и способностью определить научную и прикладную ценность диссертационной работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** на примере инфаркта миокарда метод математического моделирования сложных трудноформализуемых объектов, созданы проблемно-ориентированные алгоритмы решения прямых и обратных задач, комплексы программ, оригинальную вычислительную технологию идентификации математических моделей на основе идеи декомпозиции-сборки, экспериментально-вычислительного и оптимизационного подходов; **предложены** новые минимальные математические модели (иерархия) механизма типового ответа врожденной иммунной системы на локальное стерильное повреждение миокарда при ишемическом инфаркте, которые описывают основные закономерности развития воспаления и поэтому имеют исключительно широкую область применимости в задачах математической иммунологии, биологии и медицины;

**доказаны** адекватность выбора, эффективность и достаточная точность разработанных алгоритмов и методов решения прямых и обратных задач, программных комплексов и вычислительной технологии идентификации систем посредством численного решения ряда тестовых, модельных и практических задач, сопоставлением с расчетами с привлечением ряда известных численных методов и экспериментальными данными;

**введена** новая научная концепция математической формализации воспалительной фазы инфаркта миокарда как типового ответа врожденной иммунной системы на локальное стерильное повреждение миокарда, основанная на иерархии минимальных математических моделей и обеспечивающая возможность применения результатов исследования в математической иммунологии, биологии и медицине.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** высокая эффективность сочетания экспериментально-вычислительного подхода и декомпозиции—сборки систем ОДУ, лежащих в основе экономичной вычислительной технологии структурной и параметрической идентификации моделей объектов/процессов с высоким уровнем неопределенности;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методология математического моделирования, элементы теории идентификации систем и теории динамических систем, методы вычислительной математики, метод декомпозиции;

**изложен** иерархический подход к математическому моделированию воспалительной фазы инфаркта миокарда, основанный на создании базовой минимальной модели и ее модернизации посредством последовательного перехода от модели динамики воспалительного процесса к модели динамики смерти клеток миокарда и от приближения локальной пространственной однородности процессов к реакционно-диффузионной постановке при сохранении структурной и параметрической общности реакционной части моделей и базовых свойств решений, имеющих биологическую значимость;

**раскрыты** потенциал вещественного генетического алгоритма BGA (Breeder Genetic Algorithm) как инструмента идентификации сложных систем, в том числе в решении задач идентификации моделей математической биологии, а также основные закономерности пространственно-временного развития повреждения во время воспалительной фазы острого крупноочагового инфаркта миокарда;

**изучены** свойства решений систем нелинейных жестких систем ОДУ и реакционно-диффузионных уравнений, используемых в качестве

математических моделей, включая триггерный характер динамики, локализацию возмущений скалярных полей в области конечных размеров и структурообразование, а также наиболее распространенные в лабораторной практике сценарии формирования крупного очага повреждения в левом желудочке сердца мыши, обусловленные вариативностью свойств среды и индивидуальных факторов, включая пространственно-временную неоднородность иммунной реакции и ишемических повреждений миокарда, многососудистое поражение коронарного русла и рецидивирующий инфаркт; **проведена модернизация** отдельных элементов известных методов решения обратных коэффициентных задач применительно к математическим постановкам, используемым при моделировании воспалительной фазы инфаркта миокарда, что создает основу для их применения в других задачах математической биологии.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** иерархия новых математических моделей, а также технология структурной и параметрической идентификации биологических систем с высоким уровнем неопределенности;

**определены** высокий исследовательский потенциал разработанного метода моделирования, математических моделей воспалительной фазы инфаркта и программно-алгоритмического инструментария, которые определяются широтой области приложений, включающей не только ишемические инфаркты сердца и мозга, но и нейродегенеративные и онкологические процессы, повреждения в результате механических и химических воздействий, хирургических вмешательств, т.е. самый широкий круг общепатологических процессов, важным фактором патогенеза которых является врожденный иммунный ответ;

**создана** основа для формирования системы практических рекомендаций по управлению воспалительной фазой инфаркта миокарда на основе анализа терапевтического потенциала цитокинов и цитокин-зависимых механизмов активации, поляризации и перепрограммирования макрофагов;

**представленные** математические модели и технологии могут применяться при организации исследований функционирования больших систем с высоким уровнем неопределенностей в биологии и медицине, оценке эффективности новых противовоспалительных терапевтических стратегий, анализе результатов клинических и лабораторных исследований, планировании новых лабораторных экспериментов и популяционных исследований.

### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** подтверждается применением универсального диагностического определения инфаркта миокарда, принятого международным кардиологическим сообществом под эгидой Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ); известными представлениями о биологии инфаркта миокарда и механизмах врожденной иммунной реакции; использованием элементов теории систем и системного анализа, общепринятой методологии идентификации систем, математического моделирования и вычислительного эксперимента; применением классических моделей химической и биокинетики, включая закон действующих масс, функции Михаэлиса—Ментен и Хилла;

**идея базируется на** обобщении известных представлений о биологии инфаркта миокарда и механизмах врожденной иммунной реакции, анализе экспериментальных данных о клеточных и молекулярных процессах воспалительной фазы инфаркта миокарда, а также на компартментном и экспериментально-вычислительном подходах к построению минимальной математической идеализации исследуемого процесса;

**использовано** сравнение результатов, полученных разработанными моделями, с экспериментальными данными и клиническими наблюдениями, опубликованными в независимых источниках;

**установлено** соответствие результатов вычислительных экспериментов с экспериментальными данными и клиническими наблюдениями, опубликованными в независимых источниках;

**использованы** конечно-разностные методы численного решения задач Коши для нелинейных жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений, неявный метод расщепления по пространственным переменным для решения уравнений типа реакция–диффузия, комплекс методов оптимизации, методы анализа чувствительности моделей, классический инструментарий математической статистики, а также современные инструментальные средства и методы программирования для реализации программного комплекса.

### **Личный вклад соискателя состоит в:**

- разработке алгоритмов решения прямых и обратных задач и их программных реализаций, проведении сопоставительного анализа группы наиболее употребимых методов оптимального поиска для обоснования выбора вещественного генетического алгоритма BGA как основного инструмента исследований;

- проведении совокупности вычислительных экспериментов, связанных с разработкой вычислительной технологии идентификации и идентификацией новых математических моделей;
- формировании стратегии проведения и реализации вычислительных экспериментов по исследованию механизма патогенеза инфаркта и терапевтических стратегий; обработке и интерпретации результатов вычислительных экспериментов;
- подготовке и представлении статей и докладов в части, касающейся исследования воспалительной фазы инфаркта миокарда.

**В ходе защиты диссертации критических замечаний не поступило.**

Соискатель Цгоев Ч.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 2 июня 2026 года диссертационный совет принял решение за решение фундаментальной научной задачи, имеющей важное теоретическое и практическое значение для развития методов математического моделирования инфаркта миокарда и широкого круга сложных медико-биологических процессов, исследования механизмов врожденной иммунной реакции, **присудить** Цгоеву Ч.А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 12 докторов наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета 24.1.047.01  
доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент РАН, профессор

Кабанихин Сергей Игоревич

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.1.047.01  
доктор физико-математических наук,  
доцент



Сорокин Сергей Борисович

2 июня 2026 г.