

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**диссертационного совета Д 002.096.XX (24.1.130.01), созданного
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской
академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН),
по диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

аттестационное дело №: _____

решение диссертационного совета от 18 марта 2026 протокол № 1

О присуждении **Закирову Марату Нафисовичу**, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Распознавание атмосферных инфразвуковых сигналов импульсных источников методами морфологического анализа вейвлет-спектров»** по специальности 1.6.18 — «Науки об атмосфере и климате» — в виде рукописи принята к защите 15 января 2026 года диссертационным советом Д 002.096.XX (24.1.130.01), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН); почтовый адрес: 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, стр.1; номер и дата приказа о создании диссертационного совета: Приказ Минобрнауки России от 24 октября 2022 г. № 1345/нк (изменение состава: Приказ Минобрнауки России от 25 сентября 2025 г. № 910/нк).

Соискатель — **Закиров Марат Нафисович**, 13 сентября 1998 года рождения, гражданин России.

В 2022 году соискатель с отличием окончил магистерскую программу на кафедре математического моделирования и информатики физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по направлению «Физика» (наименование программы: «Информационные технологии в физике»). В 2022 году принят на работу в

Институт физики атмосферы. В 2022 году поступил в аспирантуру в Институт физики атмосферы. С 2023 года соискатель работает младшим научным сотрудником в Радиоакустической лаборатории в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Радиоакустической лаборатории в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук.

Научный руководитель – гражданин России, доктор физико-математических наук, Куличков Сергей Николаевич, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник, советник директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Красненко Николай Петрович, гражданин России, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник, профессор;
 2. Чупин Владимир Александрович, гражданин России, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» дала положительный отзыв. В отзыве, подписанном Михайловым Евгением Федоровичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой физики атмосферы СПбГУ, Гавриловым Николаем Михайловичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры физики атмосферы СПбГУ, Ковалем Андреем Владиславовичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры физики атмосферы СПбГУ, и утвержденном Микушевым Сергеем Владимировичем, проректором по научной работе Санкт-Петербургского государственного университета, указано, что диссертационная работа Закирова М.Н. является актуальной и направлена на решение научной проблемы, которая имеет очень важную теоретическую и практическую ценность и новизну. В работе представлены новые математические модели и вычислительные методы для распознавания атмосферных инфразвуковых сигналов от импульсных источников на основе анализа их вейвлет-спектров. Приводится описание методики обнаружения инфразвуковых сигналов на основе обобщения представления об их форме. В отзыве отмечены три замечания, которые, впрочем, не влияют на общую положительную оценку работы. В отзыве указано, что диссертация Закирова М.Н. соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Закиров Марат Нафисович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате. Отзыв ведущей организации составлен по итогам доклада Закирова М.Н. на заседании семинара кафедры физики атмосферы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Санкт-Петербургский государственный университет», протокол № 44/12/13-02-1.

Соискатель имеет 20 опубликованных научных работ по теме диссертации, в том числе 9 работ в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК или приравненных к ним, и 11 тезисов докладов на научных конференциях, получено 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. Работы посвящены анализу инфразвуковых волн в атмосфере, включая описание авторской методики обнаружения импульсных сигналов на основе морфологического анализа их вейвлет-спектров. Закиров М.Н. принимал решающее участие в написании данных работ. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

Основные работы по теме диссертации:

1. Chulichkov A.I., Tsybulskaya N.D., **Zakirov M.N.** et al. Detecting Infrasonic Signals from Impulsive Sources on the Basis of Their Wavelet Spectrum Forms // Pure and Applied Geophysics. – 2022. – V. 179. – P. 4609–4625.
2. **Закиров М.Н.**, Куличков С.Н., Чуличков А.И. [и др.]. Метод декомпозиции в задаче акустического зондирования анизотропной структуры атмосферы // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2023. – Т. 511, №1. – С. 98–104.
3. **Закиров М.Н.** Метод декомпозиции в задаче акустического зондирования анизотропной структуры атмосферы. // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2023.
4. **Закиров М.Н.**, Куличков С.Н., Чуличков А.И., Цыбульская Н.Д. Распознавание сигналов от импульсных источников на основе формы вейвлет-спектров, построенной методом главных компонент // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2024. – Т. 517, №2. – С. 114–118.

5. Kshevetskii S., Kulichkov S., Chunchuzov I., **Zakirov M.** et al. Nonlinear Burgers Type Equation for Acoustic Waves in the Ray Approximation in a Moving Atmosphere (Theory, Experiment) // Pure and Applied Geophysics. – 2024. – V. 181. – P. 1945–1961.
6. Косяков С.И., Куличков С.Н., **Закиров М.Н.** О развитии неустойчивости Кельвина-Гельмгольца во фронтовой области интенсивной нелинейной акустической волны в атмосфере. // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2025.
7. Косяков С.И., Куличков С.Н., **Закиров М.Н.** Метод «Крупных частиц» при математическом моделировании неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в воздухе. // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2025.
8. Косяков С.И., Митасов Ю.А., Куличков С.Н., **Закиров М.Н.**, Буш Г.А. Распространение импульсных акустических волн в приземном слое атмосферы. Часть 1. Влияние физико-химических характеристик атмосферы на трансформацию акустических импульсов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2025. – Т. 61, № 5. – С. 683–698.
9. Косяков С.И., Митасов Ю.А., Куличков С.Н., **Закиров М.Н.**, Буш Г.А. Распространение импульсных акустических волн в приземном слое атмосферы. Часть 2. Влияние подстилающей поверхности на форму и параметры акустических импульсов. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2025. – Т. 61, № 6. – С. 770–785.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Кандидата технических наук, доцента кафедры ИУ'10 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» **Абдуллина Тимура Ринатовича**. Отзыв на автореферат положительный. В качестве

замечания отмечено, что недостаточно подробно описаны параметры обучающей выборки для нейронной сети, вычислительная сложность процедуры нелинейной оптимизации и анализ чувствительности алгоритма к изменению порога.

2. Кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Кольского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба Российской академии наук **Асминга Владимира Эрнестовича**. Отзыв на автореферат положительный. Рецензент отмечает, что в работе не реализован простой алгоритм определения импульсного сигнала по локальному отклонению от фона, превышающему порог чувствительности.

3. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника кафедры физической химии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» **Белеги Елены Дмитриевны**. Отзыв на автореферат положительный. В замечаниях отмечается, что в работе используются аббревиатуры, которые не всегда объясняются при первом употреблении, а также подписи не ко всем рисункам понятны и детальны.

4. Доктора технических наук, директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук **Виноградова Юрия Анатольевича**. Отзыв на автореферат положительный. В замечаниях к работе указано, что архитектура и структура свёрточной нейронной сети не были специально изучены на предмет надёжности и эффективности. Кроме того отмечается, что в работе не проводится сравнение предлагаемого метода подготовки исходных данных перед подачей в нейросети с альтернативными возможностями.

5. Доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры физической химии химического факультета Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» **Новаковской Юлии Вадимовны.** Отзыв на автореферат положительный. В отзыве присутствует ряд вопросов об оптимальном количестве и расположении приёмников; об интенсивности сигнала, обеспечивающего его надёжное распознавание при наличии других источников; зависимости формы сигнала от местоположения источника; об использовании нескольких первых главных компонент в Главе 3.

6. Кандидата физико-математических наук, доцента физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» **Сердобольской Марии Львовны.** Отзыв на автореферат положительный. В качестве замечания к автореферату отмечена несогласованность изложения отдельных глав работы.

7. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, **Сорокина Александра Григорьевича.** Отзыв на автореферат положительный. К недостаткам работы отнесена несогласованность текста в предложении на стр. 9.

8. Доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт динамики геосфер имени академика М.А.Садовского Российской академии наук **Спивака Александра Александровича.** Отзыв на автореферат положительный. Отзыв без замечаний.

9. Доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой математического моделирования и информатики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» **Чуличкова Алексея Ивановича.** Отзыв на автореферат

положительный. В качестве недостатка автореферата указано отсутствие информации о количестве примеров для обучения нейронной сети.

10. Кандидата физико-математических наук, доцента кафедры физики атмосферы физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» **Юшкова Владислава Пролетарьевича**. Отзыв на автореферат

положительный. В качестве замечаний отмечено, что если амплитуда сигнала сравнима с уровнем шума, то ключевым условием идентификации сигналов от импульсных источников является использование не одной точки приёма, а наблюдательной сети, локальной или по всему земному шару. Кроме того отмечено, что использование подготовленной библиотеки сигналов предопределяет условие, что сигналы идентифицированы, при этом библиотека включает лишь малую длительность от всего множества записей в точке измерений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации (с их согласия) обосновывается наличием широко известных достижений в соответствующей отрасли науки, публикаций в соответствующей сфере исследования, а также компетентностью и способностью определить научную и практическую ценность диссертации в соответствующей отрасли науки.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: представлен новый метод распознавания сигналов от импульсных источников на основе морфологического анализа изображений их вейвлет-спектров. Разработан эффективный метод декомпозиции сигнала на составляющие заданной формы в виде N- и U-волн произвольной ширины с различными амплитудами и задержками. С помощью метода главных компонент построены формы, свойственные каждому из двух классов сигналов.

Научная новизна. В работе соискателя изложен новый метод распознавания атмосферных инфразвуковых сигналов от импульсных источников, в основе которого лежит сочетание морфологического анализа и вейвлет-преобразования для поиска характерных инвариантов на вейвлет-спектрах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для науки и практики. Разработанная математическая модель формы вейвлет-спектра импульсного инфразвукового сигнала представляет собой новый класс решений в теории распознавания образов, адаптированный к задачам обработки геофизических данных. Модель обобщает представления о форме импульсных сигналов в условиях неопределённости и может быть использована в других областях, где наблюдаются сильные искажения и шумовые помехи. Предлагаемый метод распознавания устойчив к широкому классу искажений сигнала, происходящих с ним в процессе распространения в атмосфере. В работе также показано, что система функций, особым образом составленная из N- и U-волн, образует базис в пространстве сигналов конечной длины на равномерной сетке, что создаёт теоретическое обоснование для использования этих функций в задачах аппроксимации и зондирования атмосферы. Применение метода главных компонент для построения формы изображений вейвлет-спектров вводит класс статистических моделей, способных находить инвариантные признаки в спектрах сигналов.

Алгоритмы могут быть воспроизведены на любом языке программирования, что позволяет автоматизировать обработку больших объемов данных. Разработанные методы с небольшими изменениями могут быть интегрированы в автоматизированные системы обработки данных.

Достоверность полученных результатов обеспечивается: использованием методов морфологического анализа, которые имеют строгую математическую базу и применяются в соответствии с принятыми в литературе процедурами. Все положения диссертации обоснованы,

соответствуют общепринятым физическим представлениям о структуре инфразвуковых импульсных сигналов и согласуются с современными теоретическими концепциями и результатами других исследований. Выводы работы прошли достаточную апробацию в виде докладов на конференциях и публикаций в рецензируемых научных журналах.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все основные результаты диссертации получены автором лично или при его непосредственном участии. Постановка задач диссертационного исследования, а также подготовка полученных результатов к публикации в научных журналах и их представлению на конференциях и семинарах, проводилась при участии и поддержке научного руководителя Куличкова С.Н. Текст диссертации полностью написан автором. Для обработки данных, расчета результатов и их визуализации на рисунках в диссертации использованы программы, написанные автором лично.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и имеет внутреннее единство, содержит результаты, обобщающие представления о форме импульсного сигнала и предлагающие уникальный класс решений задачи распознавания инфразвуковых сигналов в атмосфере. Она представляет собой законченную актуальную квалификационную научную работу и содержит новые результаты.

В ходе защиты диссертации соискателю задавали вопросы члены диссертационного совета: д.ф.-м.н. **Рублев А.Н.** Соискатель Закиров М.Н. ответил на все заданные ему вопросы. Замечания критического характера в ходе защиты диссертации членами диссертационного совета не высказывались.

На заседании 18 марта 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Закирову Марату Нафисовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 12 докторов наук (по специальности

рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали **ЗА** присуждение учёной степени – 13, **ПРОТИВ** присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

д.ф.-м.н., академик РАН

В.А. Семенов

Ученый секретарь диссертационного совета

к.ф.-м.н.

А.В. Чернокульский

18 марта 2026 г.

