

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Красненко Николая Петровича

на диссертационную работу **Закирова Марата Нафисовича**

**«Распознавание атмосферных инфразвуковых сигналов импульсных источников
методами морфологического анализа вейвлет-спектров»,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа посвящена решению важной прикладной задачи – автоматическому распознаванию, распространяющихся в атмосфере, инфразвуковых сигналов от импульсных источников на фоне разнообразных помех.

Тема диссертационной работы является **актуальной**. Существует практическая потребность в мониторинге природных и техногенных катастроф, верификации международных договоров, а также недостаточность существующих методов фиксации, распознавания, идентификации инфразвуковых сигналов в атмосфере. На больших расстояниях это крайне сложно сделать визуально, а субъективный анализ непригоден для автоматизированных систем.

Целью диссертации являлась разработка математических моделей и вычислительных методов для распознавания атмосферных инфразвуковых сигналов от импульсных источников на основе анализа их вейвлет-спектров с применением методов морфологического анализа и машинного обучения.

Диссертационная работа состоит из введения, три глав, заключения, списка литературы и приложения. Список литературы содержит 117 источников. Текст изложен на 125 страницах, включающих 46 рисунков.

Во **введении** обоснована актуальность задачи; приводится краткий обзор существующих методов анализа сигналов; формулируются цель работы – разработка морфологических методов анализа вейвлет-спектров, декомпозиции сигналов и классификации с помощью методов машинного обучения; научная новизна, защищаемые положения, практическая и теоретическая значимости, достоверность результатов, личный вклад автора в работу, список трудов автора, благодарности и краткое содержание диссертации по главам.

В **первой главе** предложена математическая модель формы фрагмента вейвлет-спектра импульсного сигнала как линейного подпространства множества кусочно-

постоянных изображений с упорядоченными яркостями (центр ярче фона). Разработан морфологический метод обнаружения сигналов, проверена устойчивость метода к шумам, построена ROC-кривая, продемонстрирована работа на реальных данных.

Во **второй главе** разработан метод декомпозиции сигнала на характерные формы при нелинейном распространении и отражении от слоистых неоднородностей, так называемые N- и U-волны. Предложен эффективный алгоритм нахождения параметров волн для задач акустического зондирования атмосферы.

В **третьей главе** разработаны методы классификации сигналов на основе машинного обучения. Методом главных компонент построены формы вейвлет-спектров для различных классов источников. Создана и обучена сверточная нейронная сеть, показавшая высокую точность на реальных данных при обучении на синтетических зашумленных образцах.

В **заключении** диссертации представлены основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования. Они заключаются в том, что:

1. Построена математическая модель формы изображения вейвлет-спектра импульсного инфразвукового сигнала, представляющая собой множество кусочно-постоянных функций с упорядоченными значениями. Разработан морфологический метод идентификации таких сигналов на основе анализа формы их вейвлет-спектров. Метод подходит для распознавания сигналов от взрывов и извержений вулканов. Устойчив к шуму и не требует точного знания формы сигнала.

2. Показано, что построенная система из сдвинутых во времени N- и U- волн образует базис в пространстве дискретных сигналов конечной длины, что позволяет аппроксимировать произвольные дискретные сигналы конечной длины.

3. Разработан метод декомпозиции акустических сигналов N- и U- волны, позволяющий представить сигнал в виде суперпозиции компонент, соответствующих отражениям от слоистых неоднородностей атмосферы, и обеспечивающий оценку ключевых параметров волн – их амплитуд, времен задержек и ширины.

4. Создан метод построения формы спектра сигналов на основе метода главных компонент. Метод позволяет автоматически выделять характерные черты вейвлет-спектров для различных классов источников и использовать их для классификации новых сигналов.

5. Разработана и обучена свёрточная нейронная сеть для классификации инфразвуковых сигналов. Сеть продемонстрировала высокую точность распознавания на реальных данных и устойчивость к шуму при обучении на синтетических примерах.

6. Создано программное обеспечение, реализующее разработанные методы обработки и анализа инфразвуковых сигналов. Получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности РФ.

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы **обоснованы**. Их **достоверность** подтверждается опорой на классический аппарат морфологического анализа изображений, проведенными вычислительными экспериментами, апробацией основных результатов на российских и международных конференциях, а также публикациями в рецензируемых журналах.

По научной новизне полученных результатов. Формулировки новизны в диссертации и в автореферате несколько отличаются друг от друга. Перечисленные под нумерацией в диссертации пункты новизны скорее соответствуют полученным результатам, а не самой новизне. Свидетельства на программное обеспечение фиксируют авторские права на листинг программы, а не новизну. Лучше написано в автореферате, но в всё одном абзаце. А надо бы раскрыть новизну методов, сформулированных в защищаемых положениях. Наверно следует научную новизну сформулировать как - впервые для задач атмосферной акустики предложен метод распознавания атмосферных инфразвуковых сигналов импульсных источников, в основе которого лежит сочетание морфологического анализа и вейвлет-преобразования для поиска инвариантов в инфразвуковых сигналах.

Не вызывает сомнения **личный вклад** соискателя в представленную работу и полученные результаты.

Научная и практическая значимость. 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 инфразвуковых сигналов в условиях неопределенности и может быть использована также и в других областях, где наблюдаются сильные искажения и шумовые помехи. В этом и заключается практическая ценность.

Автореферат в целом **соответствует** содержанию диссертации и достаточно полно отражает ее структуру, но есть замечания.

Замечания, недостатки по диссертационной работе:

1. По морфологическому методу: Импульсность, неимпульсность. Имеется ли критерий распознавания сигналов от различных источников или только идет фиксация сигналов (всплесков) на фоне шумов? Метод имеет ограничения по оперативности, влияющие на распознавание. Возможны пропуски, ошибки. Насколько это важно и

критично в реальной работе для распознавания в потоке сигналов? Может же быть и многолуче́вость.

2. Морфологический метод обнаружения сигналов от импульсных источников по вейвлет-спектрограммам ограничен информацией лишь из одного канала записи. Есть ли возможность повысить его эффективность путем привлечения информации из каких-то других каналов?

3. Применение изображений вейвлет-спектров для распознавания сигналов от различных источников вещь полезная и эффективная. Увеличивается размерность признаков для распознавания. Но здесь возникает вопрос, есть ли для этого какая-то база эталонов?

4. Применение нейронной сети конечно может улучшить качество распознавания сигналов, но главное на чем её обучать. Приведенный пример использования обучающей выборки с зашумлением сигнала от источника ИФА показателен, но как быть в реальности.

5. Слово «свёрточная» в нейронной сети. В диссертации в кавычках, в автореферате без кавычек. Как это понимать?

6. Недостатки оформления:

- Имеются расхождения в текстах диссертации и автореферата. Цель и задачи: хотя суть соответствует, формулировки отличаются и даже количество решаемых задач в одном документе 6, в другом 11. Также и по научной новизне (изложено выше).
- Стилистика в автореферате: написано...решены задачи..., а в перечислении... изучить, провести и т.д.
- Глава 1 перегружена по сравнению с другими.
- Надпись на рисунке 1.3 диссертации – вейвлет-скалограмма. Это что?
- Не везде на рисунках есть обозначения величин и их единиц измерения.
- В тексте диссертации на стр. 19 и в списке литературы (14, 22) не полностью приведены библиографические данные собственных публикаций.

Основные достоинства диссертационной работы

В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне: написана понятным языком. Сделан хороший обзор литературы. Получены новые оригинальные результаты.

Заключение

Указанные замечания не являются принципиальными и не умаляют научной значимости основных теоретических и практических результатов диссертационной работы. У автора чувствуется хорошая базовая подготовка в области информатики и за счет этого он привнес новые идеи (методы) в решение конкретной задачи атмосферной

акустики. Совокупность выполненных исследований характеризует соискателя как сформировавшегося учёного, способного самостоятельно ставить и решать актуальные научные задачи.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, оформленным на высоком уровне в соответствии с требованиями ВАК. Выводы работы соответствуют поставленным целям, обоснованы теоретически и экспериментально, достоверны и апробированы. Основные результаты изложены в 9 статьях в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, или приравненных к ним изданиях.

Диссертационная работа Закирова М.Н. соответствует паспорту специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате и Положению «О порядке присуждения ученых степеней», утверждённому постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,

Красненко Николай Петрович,

доктор физико-математических наук (специальность 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы), профессор по специальности «Акустика».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт мониторинга климатических и экологических
систем Сибирского отделения Российской академии наук,
заведующий лабораторией акустических исследований,
главный научный сотрудник.

634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10 / 3

Тел.: +7 (3822) 492418

<https://imces.ru/>

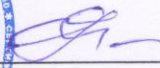
E-mail: krasnenko@imces.ru

«24» февраля 2026 г.


Н.П. Красненко

Подпись д.ф.-м.н., проф. Н.П. Красненко заверяю

Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН К.Г.Н.


Н.Н. Чередыко

