

**Отзыв на автореферат диссертации Закирова Марата Нафисовича  
«Распознавание атмосферных инфразвуковых сигналов импульсных  
источников методами морфологического анализа вейвлет-спектров»**

Автореферат диссертации, представлен на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и  
климате

Диссертационная работа Закирова Марата Нафисовича «Распознавание атмосферных инфразвуковых сигналов импульсных источников методами морфологического анализа вейвлет-спектров» посвящена развитию методики исследований атмосферных инфразвуковых волн импульсного характера. Во введении достаточно полно дается актуальность выбранной темы. Действительно, для стратифицированной по температуре атмосферы, и экспоненциального расслоения среды по плотности с высотой, в условиях ее чрезвычайно выраженной пространственно - временной изменчивости, инфразвуковые сигналы от импульсных источников, такие как взрывы и извержения вулканов способны распространяться на сверхдальние расстояния. На фоне большого уровня природных и антропогенных шумов в атмосфере задача выделения и идентификации инфразвуковых сигналов на значительном удалении от источника зачастую может оказаться нереальной.

Современные требования к выполнению некоторых национальных проектов (таких как, Изучение акустических эффектов рэлеевских волн от удаленных землетрясений и международных проектов (например, Договор о Всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний) требуют разработки и применения новых методов для идентификации и надежного распознавания инфразвуковых событий импульсного характера в условиях низкого уровня отношения сигнал/шум, неопределенной формы сигнала и отсутствия другой полезной информации о местоположении источника и характере распространения сигнала.

Таким образом, автор полагает, что в этих условиях особую значимость приобретают методы, основанные на частотно – временном анализе устойчивых к искажениям морфологических признаков сигналов, присутствующим в атмосфере. Полагается, что вейвлет – анализ инфразвуковых сигналов в совокупности с распознаванием образов и машинного обучения дает возможность для автоматизации рутинного процесса классификации инфразвуковых сигналов, что очень важно при большом объеме данных.

Исходя из сказанного, автор видит цель данной работы в разработке математической модели и вычислительных методов для распознавания атмосферных инфразвуковых сигналов от импульсных источников на основе вейвлет-анализа спектров и методики морфологического анализа с обучением.

В ходе выполнения работы получены главные результаты, имеющие практическую ценность:

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. 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.

Программное обеспечение для распознавания и классификации инфразвуковых сигналов от импульсных источников, созданное с участием автора в результате выполнения диссертационной работы, защищено 5-ю авторскими свидетельствами.

Текст диссертации содержит 125 страницы текста и 46 рисунков, выполненных с необходимым качеством. Библиография диссертации содержит 117 ссылок на литературные источники. Основные результаты диссертации опубликованы в 9-ти авторитетных рецензируемых изданиях, входящих в базы данных SCOPUS, Web of Science или Russian Science Citation Index (RSCI).

К недостаткам можно отнести (на мой взгляд) некоторую несогласованность текста в предложении на стр. 9 после формулы 2: «Знаменатель показывает невязку проекцию, и чем она меньше, тем ближе  $\xi$  к форме.....». При этом, этот недостаток несколько не умаляют достоинств диссертационной работы, а в целом результаты диссертации соответствует всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к оформлению диссертаций, а сам соискатель достоин присвоения ученой степени кандидата физико – математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».



Сорокин Александр Григорьевич,  
с. н.с. Института Солнечно-земной физики СО РАН,  
к.ф.- м. н по специальности - физика атмосферы и гидросферы.

Адрес: 664033 г. Иркутск, ул Лермонтова 126 а,

Контакт: e-mail: [sor@iszf.irk.ru](mailto:sor@iszf.irk.ru)

10 марта 2026 г

Подпись Сорокина А.Г. заверяю:  
Ученый секретарь ИСЗФ СО РАН  
к.ф.- м. н. Салахутдинова И.И.

