

Отзыв научного руководителя

на диссертационную работу Закирова Марата Нафисовича
«Распознавание атмосферных инфразвуковых сигналов импульсных
источников методом морфологического анализа вейвлет-спектров»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и
климате

Закиров Марат Нафисович в 2022 г. с отличием окончил магистерскую программу на кафедре математического моделирования и информатики физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

По окончании Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова, в том же году Марат Нафисович поступил в очную аспирантуру Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

Задачами, поставленными Марату Нафисовичу, были разработка новых, не используемых ранее, математических моделей для анализа данных регистрации акустических сигналов, распространяющихся в атмосфере; а также создание вычислительных методов, технологий обработки и комплексов компьютерных программ, реализующих данные методы.

Это важная и актуальная тема, поскольку, многие природные и антропогенные явления генерируют акустические сигналы в слышимом и инфразвуковом диапазонах частот, который распространяется в атмосфере на расстояния в сотни и тысячи километров, проходя при этом различные области высот не только в приземном слое атмосферы, но и в области высот 20-150 км в средней и верхней атмосфере.

Решение поставленной задачи путем разработки новых методов анализа акустических сигналов позволит осуществить значимый прорыв в решении проблемы обнаружения, мониторинга и классификации разнообразных источников в атмосфере природного (атмосферных фронтов, смерчей, извержений вулканов и пр.) и техногенного (взрывов, аварий на газопроводах и др.) происхождения.

Разрабатываемые в диссертационной работе методы позволят также внести существенный вклад в исследования вертикальной стратификации температуры и атмосферы, в целом, в области высот от 0...150 км. И что, особенно важно, в исследовании малоизученной проблемы анизотропной тонкослоистой структуры верхней атмосферы с вертикальными масштабами

от десятков метров до единиц километров и горизонтальными масштабами в десятки и сотни раз превышающих вертикальные.

В мировой и отечественной науке задачам обнаружения и оценке энергии разнообразных источников уделяется значительное внимание. С этой целью была с 1997 года создана Международная система инфразвукового мониторинга режима выполнения Договора о Всеобъемлющем запрещении Ядерных Испытаний (ДВЗЯИ), включающая 60 инфразвуковых станций, распределенных по всему Земному Шару. Были получены данные регистрации от сотен тысяч разнообразных источников. В тоже время, разработка методов автоматического распознавания подобных источников находится еще на начальном этапе своего развития.

К настоящему времени в ИФА им. А.М. Обухова РАН разработаны основы методики распознавания импульсных источников акустического излучения на фоне непрерывного инфразвукового излучения от природных источников (полярные сияния, микробаромы, атмосферные штормы и др.). При этом, методики распознавания импульсных источников различного типа, к настоящему времени, созданы лишь самим Маратом Нафисовичем при выполнении им диссертационного исследования.

Особо следует выделить предложение М.Н. Закирова использовать возможности нейросети для распознавания различных источников и полученные им, при этом, значимые научные результаты.

К особому прорыву в решении проблемы дистанционного акустического зондирования тонкой неоднородной структуры средней и верхней атмосферы, следует отнести предложенный М.Н. Закировым метод декомпозиции при анализе регистрируемых на больших расстояниях от взрывов инфразвуковых сигналов.

Действительно, длительность начально зондирующего импульса имеет значения около 1 секунды, в то время как на большом расстоянии от взрыва регистрируется инфразвуковой сигнал продолжительностью до нескольких минут. Это происходит из-за прихода в пункт регистрации акустических лучей, поворачивающих в атмосфере на различных высотах и имеющих различные рефракционные лучевые траектории. Но главной физической причиной подобного существенного увеличения длительности регистрируемых сигналов является частичное отражение исходного зондирующего импульса на тонкослоистой структуре атмосферы вдоль всей трассы распространения звука. Именно, это и является отправной точкой для разработки акустического метода исследования анизотропной структуры атмосферы.

Здесь М.Н. Закировым сделан существенный прорыв путем разложения регистрируемых на больших расстояниях от взрывных источников инфразвуковых сигналов на отдельные импульсы в форме U и N-волн, которые и являются физическим основанием формирования продолжительного регистрируемого сигнала, поскольку они приходят в пункт регистрации в различные моменты времени, распространяясь вдоль различных лучевых траекторий и частично отражаясь от анизотропных неоднородностей температуры и ветра на различных высотных уровнях. Исследуя задержки во времени приходящих в пункт наблюдения U и N-волн можно, в дальнейшем, разработать перспективные акустические методы зондирования анизотропных структур в атмосфере. Тем самым, результаты исследования, полученные М.Н. Закировым имеют существенный потенциал развития на последующих этапах его научной деятельности.

Проделанная работа и полученные результаты являются свидетельством высокой научной квалификации, а также создают хороший задел для дальнейших исследований. Отмечу, что Марат Нафисович также освоил работу с современными моделями атмосферы, самостоятельно провел численные эксперименты, результаты которых сейчас анализируются в т.ч. с использованием разнообразных подходов.

Обучаясь в аспирантуре, Марат Нафисович глубоко погрузился в выбранную область исследований, обучился современным численным методам анализа и обработки данных, включая различные методы морфологического и вейвлет анализа, в том числе написал большое количество собственных программ и получил соответствующие Свидетельства от Федеральной службы по интеллектуальной собственности РФ.

Диссертант активно участвовал в отечественных и международных конференциях, выступал на семинарах, участвовал в темах Госзадания, работам по хоздоговорам, применяя освоенные им навыки.

Проделанная Маратом Нафисовичем работа характеризует его как квалифицированного специалиста, владеющего необходимым математическим и физическим аппаратом, способного самостоятельно проводить научные исследования, получать новые результаты и критически их анализировать.

Считаю, что диссертация М.Н. Закирова представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, и отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – науки об атмосфере и климате.

Научный руководитель,
д.ф.-м.н.



Куличков С.Н.

01.12.2025

Подпись Куличкова С.Н. заверяю
Ученый секретарь
ИФА им. А.М. Обухова РАН, к.ф.-м.н.



Ю.В. Киселева