

Утверждаю
Директор ИФЗ РАН
Чл.-корр. РАН



С.А. Тихоцкий

« 13 » ноября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук
на диссертационную работу Курдяевой Юлии Андреевны
«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ОТ ТРОПОСФЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ В
ВЕРХНЮЮ АТМОСФЕРУ

представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности:

25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Курдяевой Ю.А. посвящена **актуальной** проблеме - исследованию вертикального распространения волн из тропосферы в верхнюю атмосферу. В настоящее время экспериментальные исследования пространственно-временных вариаций параметров ионосферы достоверно выявили связь возмущений верхней атмосферы с процессами, развивающимися в нижних её слоях и на поверхности Земли. Атмосферные волны, генерируемые на тропосферных высотах различными источниками, например, метеорологическими, переносят потоки энергии и импульса и вносят существенный вклад в вариации параметров верхней атмосферы. Однако при численном изучении этих процессов возникает ряд проблем. Ключевой проблемой является как можно более точное задание этих источников волн, так как экспериментальной информации обычно недостаточно для моделирования из-за сложной структуры источников, которые к тому же меняются со временем. Поэтому разработка нового подхода к моделированию волн от указанных источников является актуальной и важной задачей.

В работе получен ряд **новых** научных результатов. Разработана математическая теория, которая позволяет решать краевую задачу о распространении волн от переменного давления на нижней границе. Такой подход позволяет эффективно использовать экспериментальные данные о

вариациях давления для расчета волн в атмосфере от тропосферных возмущений. Разработанная теория позволила провести исследования вертикального распространения инфразвуковых и внутренних гравитационных волн в атмосфере от реально наблюдаемых вариаций атмосферного давления, ассоциированных с тропосферными источниками. Были изучены характерные особенности термосферных возмущений, вызванные вертикальным распространением волн от таких источников как атмосферный фронт, солнечный терминатор и затмение. Автором впервые получена оценка амплитуды температурных возмущений в верхней атмосфере. Изучены процессы распространения волн от вариаций давления на поверхности Земли, а также характеристики генерируемых волн.

Поставленная в работе задача о распространении атмосферных волн от переменного давления у поверхности Земли обоснована физически. Корректность задачи показана при помощи строгих математических доказательств. Верификация внесенных автором изменений в уже существующую модель атмосферы высокого разрешения на основе предложенной теории подтверждается результатами проведенных тестовых расчётов. Поэтому сомнений в **достоверности** результатов, полученных уже с использованием экспериментальных данных о волновых процессах в верхней атмосфере, представленных в Главе 3 и 4, не возникает.

Диссертационная работа Курдяевой Юлии Андреевны состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, условных обозначений, списка рисунков и списка литературы. Работа имеет 121 страницу, включая 31 рисунок.

Во *введении* рассмотрена актуальность изучения вертикального распространения инфразвуковых и внутренних гравитационных волн, от различных тропосферных источников в верхнюю атмосферу. Показано, что создание новых подходов к численному моделированию волн от таких источников является важной и востребованной задачей.

В *первой главе* приведены основные уравнения и оговорены приближения, используемые в рассматриваемых гидродинамических задачах. Дан обзор существующих численных атмосферных моделей. Рассмотрена проблема моделирования инфразвуковых и внутренних гравитационных волн, вертикально распространяющихся от метеорологических явлений в верхнюю атмосферу.

Вторая глава посвящена постановке и исследованию краевой задачи о распространении атмосферных волн от вариаций давления у поверхности Земли. Рассмотрена физически обоснованная постановка задачи и математически исследована её корректность. Сформулированы теоремы единственности для недиссипативной и диссипативной исследуемых систем уравнений. Продемонстрированы результаты тестовых расчетов, выполненных с использованием модифицированной численной модели атмосферы высокого разрешения. Произведена верификация модернизированной численной модели и верификация численной модели.

В третьей главе рассмотрены особенности моделирования распространения волн от тропосферных источников. Предложена идея задания поля давления на значительной территории. Представлены результаты двумерного численного моделирования распространения атмосферных волн в верхнюю атмосферу в период солнечного затмения из области солнечного терминатора в нижней атмосфере. Полученные результаты проанализированы.

В четвертой главе представлены и проанализированы результаты трехмерного моделирования распространения волн от атмосферного фронта с использованием экспериментальных данных, полученных на сети микробарографов. Частично изучено влияние конечности расчетной области по горизонтали в задачах атмосферной динамики. Получены количественные характеристики для вертикально распространяющихся волн от тропосферных возмущений в верхнюю атмосферу.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в работе.

Научная значимость результатов диссертационных исследований, полученных соискателем, обусловлена разработкой нового подхода к моделированию волн от метеорологических источников.

Практическая значимость результатов работы

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, содержащее новые результаты, касающиеся вопросов корректного проведения численных экспериментов в задачах атмосферной физики, а также детального изучения явлений, определяющих динамические процессы в атмосфере. Рекомендуются использовать полученные результаты в организациях, занимающихся исследованиями проблем межслоевого атмосферного взаимодействия, нелинейного распространения волн в земной атмосфере и ионосфере, в частности, в ИЗМИР АН, ИФА им. А.М. Обухова РАН, Санкт-Петербургском государственном университете, НИРФИ, ИФЗ РАН, БФУ им. И. Канта, Российском государственном гидрометеорологическом университете.

Замечания по работе

По рассмотренной диссертационной работе можно сделать следующие замечания

- 1) Второе защищаемое положение, содержащееся во Введении, а также в автореферате, сформулировано как описание того нового, что было сделано автором, тогда как его следовало бы формулировать как новое научное положение или утверждение.
- 2) Верхняя атмосфера, куда распространяются волны от тропосферных источников, представляет собой слабоионизованную среду. В определенной мере эта среда, в отличие от нейтральной атмосферы,

должна, по-видимому, оказывать влияние на атмосферные волны, что, скорее всего, необходимо учитывать в исходных модельных уравнениях.

- 3) В автореферате и диссертации имеют место досадные опечатки, небрежность и неточность при формулировках (например, на стр. 9, 12, 13, 22 автореферата)

Перечисленные замечания и недостатки не снижают в целом высокий уровень диссертации, поскольку не затрагивают суть работы.

Заключение

Работа Курдяевой Ю.А. выполнена на актуальную тему и обладает научной новизной. Содержание диссертации соответствует заявленной специальности 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы». Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Полученные в ходе диссертационного исследования результаты являются оригинальными, личный вклад автора не вызывает сомнений. Защищаемые положения полностью раскрыты и обоснованы в работе.

Основные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в престижных рецензируемых отечественных и иностранных научных изданиях, рекомендованных ВАК. Результаты исследования неоднократно докладывались на отечественных и международных конференциях и семинарах.

Диссертация Курдяевой Юлии Андреевны является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для ученой степени кандидата наук, а Ю.А. Курдяева заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 физика атмосферы и гидросферы.

Отзыв составлен заведующим лабораторией тектоно-электромагнитных взаимодействий (401), доктором физико-математических наук Шалимовым Сергеем Львовичем.

Отзыв составлен на основе проведенного научного семинара Отделения 4 Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, на котором был заслушан доклад Курдяевой Ю.А. и обсуждена представленная диссертация (протокол № 2 от 25.12.2020 г.). Отзыв одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)

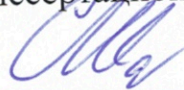
Адрес: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1.

Телефон: +7 (499) 766-26-56

Электронный адрес: direction@ifz.ru

Директор: Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент Российской академии наук, Профессор Российской академии наук, доктор физико-математических наук.

Я, Шалимов Сергей Львович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



С.Л. Шалимов

Подпись д.ф.-м.н., С.Л. Шалимова заверяю
Ученый секретарь ИФЗ РАН,
к.ф.м.н.



Д.В. Лиходеев