

ОТЗЫВ
Официального оппонента К.Г. Орлова
на диссертацию

Курдяевой Юлии Андреевны

«Численное моделирование
вертикального распространения волн
от тропосферных источников в верхнюю атмосферу»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 25.00.29 - «Физика атмосферы и гидросферы»

Диссертационная работа Курдяевой Юлии Андреевны посвящена разработке нового подхода к численному моделированию вертикального распространения волн от различных тропосферных источников в термосферу и изучению влияния этих волн на состояние верхней атмосферы. В работе поставлена и исследована задача о распространении волн в стратифицированной атмосфере от волновых колебаний давления на нижней границе (на поверхности Земли) в соответствии с которой была модернизирована и проверена на аналитических решениях уже существующая модель нейтральной атмосферы. Также важной частью работы являются полученные результаты расчетов вертикального распространения волн от экспериментально наблюдаемых вариаций давления, ассоциированных с тропосферными возмущениями.

Выбранная тема диссертации является интересной и **актуальной**, так как распространение инфразвуковых и внутренних гравитационных волн из нижней в верхнюю атмосферу является важной составляющей атмосферной динамики. Экспериментальные методы исследования в настоящее время не позволяют детально исследовать как характеристики самих волн, так и вызванные ими эффекты. Поэтому развитие новых подходов к численному моделированию распространения волн, генерируемых тропосферными источниками, является важной задачей физики атмосферы.

Диссертационная работа Курдяевой Ю.А. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, условных обозначений, списка рисунков и списка литературы. Объем работы составляет 121 страницу, включая 31 рисунок. Список литературы содержит 129 источников.

Во **введении** корректно обозначены цели и задачи исследования, сформулированы выносимые на защиту положения, научная новизна исследования, научная значимость и применяемые методы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней рассмотрены основные гидродинамические уравнения, используемые для описания атмосферных процессов. Обсуждаются различные приближения, применимые для описания динамики атмосферного газа. Особое внимание уделено численным методам, используемым в различных атмосферных моделях. Рассмотрена проблематика моделирования инфразвуковых и внутренних гравитационных волн, распространяющихся от метеорологических явлений. В конце главы выдвинута основная идея данного исследования: научиться использовать данные наблюдений вариаций давления у поверхности Земли в численных расчетах в качестве источника волн, минуя расчет метеорологических явлений в тропосфере.

Во **второй главе** описана постановка и исследование краевой задачи о генерации волн переменным давлением на нижней границе. Предложенная автором диссертации постановка задачи даёт возможность использовать экспериментальные данные о вариациях давления на поверхности Земли в качестве одного из нижних граничных условий. Приведено доказательство единственности решения поставленной задачи и предложен метод её решения. Полученный автором диссертации теоретический результат показывает, что решение зависит от давления на нижней границе. В соответствии с этим результатом была модернизирована и верифицирована численная модель нейтральной атмосферы «AtmoSym».

В **третьей главе** представлены тестовые результаты двумерного численного моделирования вертикального распространения волн с использованием экспериментальных данных о вариациях давления. Предложен способ задания поля давления на значительной территории для моделирования распространения волн от метеорологического источника. Представлены результаты численного моделирования.

В **четвертой главе** рассматриваются результаты трехмерных расчетов, где использованы экспериментальные данные, полученные на четырех микробарографах ИФА им. А.М. Обухова РАН в периоды, когда амплитуды вариаций давления существенно превышали фоновые и ассоциированные с прохождением атмосферного фронта. Сравнение рассмотренного случая экстремальных колебаний давления со среднестатистическими волновыми колебаниями давления на поверхности Земли дают оценку амплитуды типичных колебаний температуры, обусловленных распространением инфразвуковых волн и ВГВ снизу в 4-5 К. Установлено, что в создаваемых волновых

возмущениях в верхней атмосфере лидирующая роль принадлежит инфразвуку. Амплитуда температурных волновых возмущений в верхней атмосфере равна 100К, амплитуда горизонтальной скорости 60 м/сек.

В **заключении** отражены все результаты, полученные в диссертационной работе.

Диссертация написана ясным языком и хорошо иллюстрирована. Диссертант продемонстрировал хорошее знание литературы по теме работы и владение соответствующими методами, что, несомненно, является достоинством работы.

К сожалению, диссертационная работа не лишена недостатков:

1. В главе 2 диссертант пишет о том, что численное решение хорошо согласуется с аналитическим. При этом не указаны размеры области моделирования в численной модели, параметры расчетной сетки, используемой для тестирования и шаг по времени. Думаю, было бы не лишним диссертанту отметить, как изменение шагов по времени и по пространственным направлениям (с учетом выполнения условия Куранта) влияет на точность решения. А после рисунка 2.5 привести рисунок с относительной погрешностью численного и аналитического решений. Иначе утверждение «хорошо согласуется» кажется не подтвержденным.

2. Выводы, приведенные в конце четвертой главы справедливы, вероятно, для безветренной атмосферы. В действительности, учет горизонтального и вертикального ветра может существенно повлиять на распространение АГВ, а учет рельефа поверхности может повлиять на амплитуду этих волн (поскольку взаимодействие ветер – рельеф может породить ВГВ вне места расположения микробарографов). В связи с этим возникает вопрос о достоверности полученных результатов.

3. Несмотря на то, что, в целом, работа написана достаточно аккуратно, встречаются и небрежности. Векторные величины в некоторых уравнениях отмечены как скалярные. Например, в уравнениях 1.7 - 1.9 – скорость, сила, ускорение внешних сил. Не все обозначения, используемые в уравнениях, расшифрованы. Например, не указано что обозначает символ g в уравнениях 1.4 и 1.7. В уравнениях 1.6 и 1.9 не расшифрован символ μ . Вероятно, в уравнении 1.6 этот символ обозначает молярную массу, а в 1.9 – кинематическую вязкость. На страницах 55 и 57 вместо ссылки на уравнения с граничными условиями указан символ (?). На странице 78 есть предложение, начинающееся со слов «Обсуждается влияние конечности области атмосферы ...». Корректнее будет так «Обсуждается влияние конечности области моделирования ...».

4. В работе обнаружено большое количество синтаксических и орфографических ошибок.

Для улучшения качества диссертационной работы многие из этих ошибок были указаны автору.

Указанные погрешности не влияют на общую высокую оценку работы.

Диссертация Курдяевой Ю.А. «Численное моделирование вертикального распространения волн от тропосферных источников в верхнюю атмосферу» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, демонстрирующую достаточную профессиональную подготовку автора. Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842п.9 для ученой степени кандидата наук, а Курдяева Юлия Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

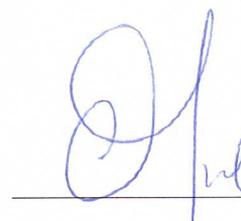
Полученные в работе результаты, несомненно, имеют теоретический и прикладной интерес, являются новыми и математически обоснованными, представляют собой существенный вклад в развитие соответствующих разделов прикладной математики и атмосферных исследований и могут быть полезны специалистам, занимающимся исследованиями физических и динамических процессов в атмосфере и ионосфере.

Основные результаты работы опубликованы, прошли апробацию на российских и международных конференциях и обсуждались на различных научных семинарах.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание, опубликованные работы соответствуют положениям, вынесенным на защиту.

Орлов Константин Геннадьевич
кандидат физико-математических наук
по специальности 05.13.18 (Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ),
заместитель директора по научной работе
ФГБНУ «Полярный геофизический институт»

10.11.2020



К.Г. Орлов

Адрес места работы:
184209
Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Академгородок, д. 26а
Рабочий телефон: 8 (81555) 76542
Электронный адрес: orlov@pgia.ru

Я, Орлов Константин Геннадьевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

10.11.2020

Подпись Орлова К.Г. удостоверяю,
и. о. ученого секретаря ПГИ



К.Г. Орлов



Т.А. Попова