

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.237.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.02.2023 г. № 4

О присуждении Федотовой Екатерине Алфеевне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование нагрева атмосферы Земли солнечным и тепловым излучением» по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 08.12.2022 (протокол заседания №10/пз) диссертационным советом 24.1.237.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук», 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель, Федотова Екатерина Алфеевна, 11 ноября 1987 года рождения, в 2012 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по специальности 010700.68 – Физика. В 2016 году окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Полярный геофизический институт» (г. Апатиты) по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы». Кандидатский экзамен по специальности 1.2.2. –

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» сдала в 2021 г. в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.

В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника сектора вычислительного эксперимента в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Полярный геофизический институт» (г. Апатиты).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Полярный геофизический институт». В период подготовки диссертации соискатель обучалась в аспирантуре и продолжила работу над диссертацией после окончания аспирантуры.

Научный руководитель – Мингалев Игорь Викторович, доктор физико-математических наук, и.о. директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Полярный геофизический институт».

Официальные оппоненты:

Фомин Борис Алексеевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела физики высоких слоёв атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО),

Шильков Александр Викторович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела №6 Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)» в своем положительном отзыве, подписанном **Кораблевым Олегом Игоревичем**, доктором физико-математических наук, заведующим отделом физики планет ИКИ РАН, чл.-корр. РАН и

утвержденном директором ИКИ РАН доктором физико-математических наук чл.-корр. РАН, Петруковичем Анатолием Алексеевичем, указала, что в диссертации Федотовой Е.А. представлен ряд новых важных научных результатов в области численного моделирования процессов переноса излучения в атмосфере Земли, которые имеют большую практическую ценность и открывают новые возможности для математического моделирования общей циркуляции атмосферы Земли. Созданный на основе параметризации оптических характеристик атмосферы Земли блок расчета переноса излучения рекомендуется использовать в новых моделях погоды, разрабатываемых для Гидрометцентра России. Диссертация Федотовой Е.А. удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.2.2. - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а автор заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из них 5 работ в профильных научных изданиях из перечня ВАК по специальности 1.2.2.

Список основных публикаций по теме диссертации:

1. *Федотова Е.А.* Тестирование радиационного блока модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли. Математическое моделирование, 2022, том 34, № 8, С. 38–55.

2. *Четверушкин Б.Н., Мингалев И.В., Чечеткин В.М., Орлов К.Г., Федотова Е. А., Мингалев В.С.* Блок расчета солнечного излучения атмосферы в модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли. Математическое моделирование, 2022, том 34, № 3, С. 43–70.

3. *Четверушкин Б.Н., Мингалев И.В., Чечеткин В.М., Орлов К.Г., Федотова Е. А., Мингалев В.С., Мингалев О.В.* Модели общей циркуляции атмосферы Земли. Достижения и направления развития. Математическое моделирование, 2020, том 32, № 11, С.29–46.

4. Четверушкин Б.Н., Мингалев И.В., Федотова Е.А., Орлов К.Г., Чечеткин В.М., Мингалев В.С. Расчет собственного излучения атмосферы в модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли. Математическое моделирование, 2020, том 32, № 2, С. 77–100.

5. Игнатьев Н.И., Мингалев И.В., Родин А.В., Федотова Е. А. Новый вариант метода дискретных ординат для расчета собственного излучения в горизонтально однородной атмосфере. Журнал вычислительной математики и математической физики. 2015, том 55, № 10, С.1741–1755.

Работа [1] является персональной работой соискателя. В работах [2, 4] вклад автора заключался в написании и отладке комплексов программ и проведении расчетов для тестирования методик расчета поля собственного излучения и поля солнечного излучения в нижней и средней атмосфере Земли. В работе [3] соискатель составила описание разработанного ею блока радиационного нагрева атмосферы, который входит в модель общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли. В Работе [5] вклад соискателя заключался в разработке различных вариантов метода дискретных ординат для расчета собственного излучения в горизонтально однородной атмосфере и разработке комплекса программ, с помощью которых была проверена эффективность этих методов, а также в проведении большей части тестовых расчетов, которые позволили выбрать наиболее эффективный из рассмотренных вариантов. Все сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации достоверны.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы ведущей организации и оппонентов, также поступил 1 отзыв на автореферат. Все отзывы положительные. Отзывы содержат ряд замечаний:

В отзыве ведущей организации ФГБУН ИКИ РАН:

1. Во введении к главе 1 метод дискретных ординат назван модифицированным, что в дальнейшем не раскрывается.
2. Использование программами графических процессоров позволяет проводить большой объем вычислений, однако в работе не указаны ни

машинная точность расчётов, ни эффективность параллелизации, что позволило бы судить об обоснованности выбора именно матричной прогонки для решения системы линейных алгебраических уравнений.

3. В главе 3, несмотря на упоминания выделения носителей резонансов при лебеговском осреднении, из текста работы не ясно, было ли оно использовано. В отдельных местах используется не общепринятая в теории переноса терминология: например, метод групп называется параметризацией.

В отзыве официального оппонента д.ф.-м.н. Фомина Б.А.

1. Название не совсем удачное. Тепловое излучение в основном охлаждает атмосферу.

2. Спектральное разрешение в расчётах обусловлено доплеровской шириной спектральных линий в верхней части атмосферы, которое пропорционально частоте центра линии. Поэтому в расчётах солнечной радиации можно использовать на порядок более грубую частотную сетку, чем в тепловой области.

3. Стр. 24. «вклад каждой линии поглощения ... необходимо вычислять в 50000 узлах сетки по частоте.» Это не совсем так. Существуют «многосеточные» алгоритмы в которых вклад линии вычисляется всего в сотне узлов.

В отзыве официального оппонента к.ф.-м.н. Шилькова А.В.:

1. К сожалению, автор не приводит в тексте конкретные цифры по сокращению числа арифметических операций и объема памяти компьютера, которые дает применение используемого метода осреднения спектров в сравнении с поточечными «Line-by-Line»-расчетами при точности 1%, 5%,... Часто в работах можно встретить утверждение, что применение такой-то схемы (метода) приводит к экономии времени или увеличивает точность в 3-5 раз и это здорово. В данном случае, по моим оценкам, речь идет о сокращении операций не менее чем на 2-3 порядка, но эти цифры не приведены.

2. В тексте работы не приведены данные по оптимизации сетки по высоте в облачной атмосфере. Ответ на вопрос важен при встраивании радиационного блока в модель общей циркуляции. Для достаточно точного описания многократного рассеяния излучения, по-видимому, необходима более подробная сетка вблизи границы облака. Выбор «сгущение против потери в точности» зависит от применяемого метода расчета пространственно-углового распределения излучения.

В отзыве на автореферат от к.т.н. Моисеевой Натальи Олеговны, доцента кафедры Авиационной метеорологии и экологии ФГБОУ ВО СпбГУ ГА им. Новикова:

1. Из автореферата не ясно, в какой мере предложенные автором методы и комплекс программ влияют на характеристики быстродействия, экономичности и точности основной решаемой задачи;
2. Использование не вполне применимой формулировкой «толстых облачных слоев» наряду с общепринятой – «облачных слоев большой оптической толщины».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью и высоким уровнем компетентности по основным вопросам, рассматриваемым в диссертации.

Оппонент Фомин Б.А. провел большое количество расчетных работ по моделированию переноса излучения в атмосфере Земли и Венеры с высоким разрешением по частоте излучения, а также по построению параметризаций оптических параметров атмосферы Земли. Он является автором и соавтором большого количества публикаций по данной теме.

Оппонент Шильков А.В. обладает высоким уровнем компетентности в области моделирования переноса излучения в атмосфере Земли, он является специалистом по численному решению задач переноса излучения и по математическому обоснованию методов построения параметризаций оптических параметров атмосферы Земли. Квалификация оппонента подтверждается списком его публикаций.

Сотрудники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) являются известными специалистами в области исследования атмосфер планет Солнечной системы и их спутников методами дистанционного зондирования с помощью численного решения задач о переносе излучения в планетных атмосферах, что также подтверждено их публикациями.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработаны и апробированы новые экономичные и точные методы расчета полей теплового и солнечного излучения в нижней и средней атмосфере Земли с учетом рассеяния, предназначенные для использования в модели общей циркуляции. Экономичность достигается за счет фактического уменьшения числа точек спектра, в которых требуется проводить расчет поля излучения.

2. Построены неравномерные сетки по частоте излучения в двух диапазонах: солнечном и тепловом; создана библиотека оптических параметров атмосферных газов и аэрозолей в узлах этих сеток.

3. Создан комплекс программ для экономичных, быстрых и точных расчетов полей теплового и солнечного излучения в нижней и средней атмосфере Земли. Пакет включается в качестве радиационного блока в модель общей циркуляции атмосферы Земли и допускает ускорение вычислений с использованием графических процессоров.

4. Для верификации и контроля точности модификаций радиационного блока с различным числом каналов создан поддерживающий комплекс программ, осуществляющий расчет полей излучений с высоким спектральным (Line-by-line) разрешением.

5. С помощью созданных программных комплексов проведено численное моделирование влияния толстых облачных слоев на перенос

излучения, выявлены границы для возможных скоростей нагрева–охлаждения воздуха в плотных облаках.

Теоретическую значимость имеют методы построения параметризаций, предназначенных для экономичных расчетов полей теплового и солнечного излучения, которые учитывают вариации газового состава в средней и нижней атмосфере и обеспечивают высокую точность расчетов, в том числе при наличии облачных слоев. Также теоретическую значимость представляют выявленные с помощью моделирования закономерности нагрева-охлаждения воздуха в нижней и средней атмосфере Земли.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики представляет библиотека оптических характеристик атмосферы Земли в инфракрасном и оптическом диапазонах, предназначенная для расчетов полей излучения. Данная библиотека может использоваться широким кругом исследователей.

Достоверность результатов исследования подтверждается корректностью примененных физико-математических моделей, высокой точностью использованных численных методов и алгоритмов, а также подтверждается согласием между результатами расчетов и данными наблюдений.

Личный вклад соискателя. Все выносимые на защиту результаты, приведенные на стр. 7 данного заключения, получены лично автором. Кроме того, автор осуществляла подготовку и выполнение расчетов.

В ходе защиты диссертации соискатель Федотова Е.А. аргументированно ответила на заданные вопросы и высказанные замечания.

Во время дискуссии в поддержку диссертации выступили: председатель совета академик РАН, д.ф.-м.н. Б.Н.Четверушкин, ученый секретарь совета к.ф.-м.н. Корнилина М.А., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Тишкин В.Ф.

На заседании 16.02.2023 г. диссертационный совет принял решение:

за разработку радиационного блока нового поколения для экономичного и точного расчета полей солнечного и собственного теплового излучений Земли в программах общей циркуляции атмосферы высокого пространственного разрешения присудить Федотовой Е.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного
совета 24.1.237.01



Четверушкин Борис Николаевич

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.237.01

Корнилина Марина Андреевна

16.02.2023 г.