

УТВЕРЖДАЮ  
директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института физики  
атмосферы им. А.М.Обухова Российской академии  
наук (ИФА им. А.М. Обухова РАН)

д.ф.-м.н.



Куличков С.Н.

« 1 » \_\_\_\_\_ марта 2019

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Ермакова Дмитрия Михайловича

**«Спутниковое радиотепловидение мезомасштабных и синоптических процессов»,**

представленную на соискание ученой степени

*доктора физико-математических наук*

*по специальности 01.04.03 – радиофизика*

Диссертационное исследование Ермакова Дмитрия Михайловича на тему «Спутниковое радиотепловидение мезомасштабных и синоптических процессов» состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы.

Актуальность темы исследования объясняется возрастающей ролью дистанционного зондирования в исследовании процессов на поверхности океана и в атмосфере. Анализ динамики атмосферных процессов на основе данных спутникового мониторинга было признано актуальным и перспективным практически с начала спутниковой эры. И особую роль здесь играет радиотепловое зондирование, позволяющее получать всепогодную, регулярную и глобальную в масштабах Земли информацию. Благодаря возможности ежесуточного восстановления основных геофизических параметров системы атмосфера-океан пассивное микроволновое зондирование способно

обеспечить исследователей информацией об изменчивости основных метеорологических полей в масштабе всей планеты, а также о зарождении и эволюции основных мезомасштабных и синоптических процессов. По указанным причинам высокую актуальность приобрела задача разработки и реализации единого подхода к обработке и анализу спутниковых радиотепловых данных, позволяющего исследовать динамические аспекты разномасштабных атмосферных процессов, давать краткосрочный анализ (и прогноз) их развития, получать численные, физически значимые характеристики их энергетического баланса. Поэтому актуальность представленной работы не вызывает сомнений. Решение поставленных в работе задач способствует развитию атмосферного моделирования и улучшению методов прогноза атмосферных явлений.

**Целью** работы является построение и практическая реализации единой методики обработки и анализа регистрируемых со спутников радиотепловых полей и (или) полей восстанавливаемых геофизических параметров системы океан-атмосфера.

Для достижения поставленной цели диссертантом были решены следующие задачи:

- Проведен анализ методов восстановления динамики мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов как специфический класс обратных задач спутникового дистанционного зондирования Земли в радиотепловом диапазоне;
- разработана вычислительная схема восстановления атмосферной динамики с использованием регистрируемых со спутников радиотепловых полей системы океан-атмосфера;
- выполнен анализ точности предложенной расчетной схемы с помощью обработки и сопоставления больших массивов спутниковой информации;
- на базе реализованной расчетной схемы развит подход к совместной обработке мультисенсорной спутниковой информации;
- на основе развитого подхода разработана и реализована универсальная методика детального анализа эволюции разномасштабных атмосферных процессов в терминах характеристик их энергетического баланса;

- реализованная методика использована для выявления роли адвекции скрытого тепла при эволюции тропических циклонов как одного из важнейших типов атмосферных процессов;
- реализованная методика использована для анализа аспектов меридионального и зонального переноса скрытого тепла над акваториями Мирового океана на синоптических масштабах, в частности, связанного с формированием так называемых «атмосферных рек»;
- организована и проведена массовая обработка данных радиотеплового спутникового мониторинга за более чем десятилетний период непрерывных наблюдений для детального анализа синоптических и климатически значимых процессов на планетарных масштабах
- с помощью разработанного геопортала спутникового радиотепловидения реализован открытый доступ к глобальным полям ряда основных геофизических параметров системы «океан-атмосфера».

Результаты диссертационного исследования подразумевают непосредственное использование разработанных методов и алгоритмов для исследования динамики атмосферы на различных масштабах с использованием данных дистанционного зондирования. Это показывает высокую **научную и практическую значимость** работы. Также в работе показана возможность использования спутниковой информации для оценки глобальной климатической изменчивости.

Полученные диссертантом научные результаты реализованы в виде открытого геопортала спутникового радиотепловидения, дающего возможность доступа к глобальным полям ряда основных геофизических параметров системы «океан-атмосфера». Методика восстановления динамики полей геофизических параметров системы океан-атмосфера позволяет проводить экспресс-анализ эволюции атмосферных процессов. Она может быть широко использована для оптимального пространственно-временного совмещения радиотепловых дистанционных данных с информацией независимых измерений, что открывает новые перспективы как для совместного анализа разнородной спутниковой информации, так и для калибровки и кросс-калибровки спутниковых радиометрических приборов, а также для валидации климатических и региональных моделей.

Основные результаты, представленные в диссертации, получены в рамках исполнения государственных заданий ФАНО РФ по темам «ЦОХКИ» и «ЦОХКИ-1» и включены в 12 научно-технических отчетов. Ряд результатов получен в ходе работ по проектам РФФИ

**Содержание**, представленной на отзыв диссертации, хорошо структурировано и соответствует поставленным цели и задачам, отражает заявленные автором исследовательские подходы и может быть оценено как полное описание аргументаций, выдвинутых соискателем положений на защиту.

Во **введении** обоснована актуальность темы работы, определены цели и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, освещено современное состояние исследуемой проблемы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** содержится обзор литературы, посвященной исследуемой тематике. Изложены основы спутникового радиотепловидения мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов как обратной задачи дистанционного зондирования Земли радиофизическими методами. Кратко охарактеризованы объекты исследования – мезомасштабные и синоптические атмосферные процессы; дан обзор истории развития и современного состояния методов спутниковой радиотепловой (пассивной микроволновой) диагностики атмосферы; описана общая постановка обратной задачи анализа динамики нижней тропосферы по периодическим дистанционным данным спутникового радиотеплового мониторинга Земли.

Во **второй главе** приводится обоснование первого и второго положений, выносимых на защиту. **Глава** посвящена физико-математическому решению поставленной обратной задачи и анализу новых возможностей исследования динамики атмосферы с использованием разработанных методов.

**Третья глава** показывает возможности спутникового радиотепловидения для анализа динамических процессов эволюции тропических циклонов в полях геофизических параметров системы океан-атмосфера. (Положения 3 и 4, выносимые на защиту).

**Четвертая глава** описывает возможности спутникового радиотепловидения для изучения синоптических атмосферных процессов на примере атмосферных рек (АР). Кратко описаны феномен АР и современные проблемы их исследования, предложены и

проиллюстрированы примерами пути преодоления указанных проблем с помощью спутникового радиотепловидения. (положение 5).

**В Пятой главе 5** возможности спутникового радиотепловидения применены для исследования характеристик глобальной атмосферной циркуляции на климатических значимых масштабах. Построены широтные распределения среднегодовых и сезонных меридиональных протоков скрытого тепла над Мировым океаном в целом, а также Тихим, Атлантическим и Индийским океанами. Полученные распределения находятся в качественном согласии с известными данными моделирования, а также с отмечаемой в ряде работ климатической тенденцией «расширения тропиков». (положение 6).

**Глава 6** посвящена описанию разработанного под руководством и при непосредственном участии автора геопортала спутникового радиотепловидения, основной целью которого было эффективное обеспечение независимых исследователей и исследовательских коллективов результатами обработки данных радиотеплового спутникового мониторинга Земли по алгоритмам спутникового радиотепловидения. (положение 7).

В результате рассмотрения вопросов, поставленных в работе перед диссертантом, Ермаков Дмитрий Михайлович приходит к ряду заслуживающих поддержки выводов, отражённых в **заключении**.

1. По предложенной и реализованной схеме интерполяционной обработки радиотепловых спутниковых данных выполнена обработка пятнадцатилетних рядов данных на основе глобальных измерений приборами SSM/I (спутники F13, F14, F15 серии DMSP), SSMIS (спутники F16, F17, F18 серии DMSP), Windsat (Coriolis), AMSR-E (Aqua), AMSR-2 (GCOM-W1). Показано, что обеспечиваемая реализованной схемой точность восстановления удовлетворительна для широкого спектра практических и фундаментальных применений. Проведено сопоставление полей интегрального влагосодержания атмосферы, восстановленных (без интерполяции) по данным измерений радиометром SSMIS со спутника F17 серии DMSP (США) и оптимально синхронизированных с ними по реализованной схеме обработки полей той же величины, исходно восстановленных по данным аналогичного прибора SSMIS на спутнике F16. Путем численного моделирования, а также сопоставления интерполированных полей интегрального влагосодержания атмосферы с данными независимых наблюдений за тропическими циклонами подтверждена удовлетворительная (в пределах погрешности

определения центра тропического циклона в радиотепловом поле) точность восстановления краткосрочной динамики полей интегрального влагосодержания атмосферы на мезо- и синоптических пространственных масштабах.

2. Предложена и реализована в замкнутом виде относительно входных спутниковых данных методика расчета адвективных (горизонтальных) потоков атмосферного скрытого тепла. Благодаря этому, в частности, достигнута уникальная возможность независимой проверки и уточнения ряда теоретических оценок и предположений, до настоящего времени не имевших статистически обеспеченных экспериментальных подтверждений.

3. С помощью реализованной методики детального анализа полей интегрального влагосодержания атмосферы на примере более 10 тропических циклонов (ТЦ) показана связь эволюции ТЦ с адвекцией скрытого тепла из окружающей атмосферы к центру ТЦ: конвергентные (сходящиеся к центру) потоки тепла соответствуют интенсификации ТЦ, а дивергентные – диссипации. С помощью реализованной методики применения сложных динамических контуров рассчитаны адвективные потоки скрытого тепла, организованные системой взаимодействующих тайфунов-близнецов, и показано, что они определили характер эволюции рассмотренной системы.

4. С помощью реализованной методики совместного анализа полей интегрального влагосодержания атмосферы и композитных полей температуры поверхности океана на примере исследования урагана Alberto (2000), супертайфуна Haiyan (2013) и тропического шторма Podul (2013) показано, что в условиях почти идентичного состояния океана сценарии эволюции ТЦ могут существенно различаться (от быстрой интенсификации до квазистационарного режима и диссипации) в зависимости от величины и знака атмосферной адвекции скрытого тепла.

5. Предложенная методика обработки спутниковых радиотепловых дистанционных данных, основанная на совокупность реализованных алгоритмов спутникового радиотепловидения, позволила преодолеть основные трудности анализа нитевидной структуры глобальной атмосферной циркуляции и исследования атмосферных рек: фрагментации объектов исследования вследствие их значительной зональной протяженности и расхождения полос спутникового сканирования; пространственно-временного совмещения полей различных геофизических параметров для их совместного

анализа; необходимости получения количественной информации о формируемых атмосферными реками потоках скрытого тепла.

6. Выполненный на основе подхода спутникового радиотепловидения анализ глобальной атмосферной циркуляции на временном интервале 2003 – 2017 годов реалистично воспроизвел многие ее характерные элементы и параметры, такие как: зональную структуру, границы ячеек циркуляции, преобладание зонального переноса над меридиональным и характерные скорости и направления адвекции в нижней тропосфере над всеми акваториями Мирового океана; годовые и сезонные вариации, проявляющиеся в миграции границ внутритропической зоны конвергенции и гармониках потоков скрытого тепла с периодами 0,033 месяца (сутки), 6 и 12 месяцев; среднее положение термического экватора на уровне 5° северной широты, конвергенцию потоков скрытого тепла в экваториальной зоне, средний положительный поток скрытого тепла из южного полушария в северное.

7. Разработанный и созданный геопортал спутникового радиотепловидения (<http://fire.fryazino.net/tpw/>) реализует процедуры удаленной работы с глобальными полями ряда геофизических характеристик системы «океан-атмосфера» (интегральное влагосодержание атмосферы, полный водозапас облаков, скорость приводного ветра и т.д.) в непрерывном интервале наблюдений 2003 – 2017 гг. при полном пространственном покрытии акваторий Мирового океана на сетке 0,25°, а также интерактивной совместной обработки этих данных с информацией из других открытых источников средствами виртуальной интеграции.

Основные вопросы, которые возникли при прочтении работы:

1. Первый вопрос связан с терминологией. Непонятно, что автор подразумевает под термином «Нижняя тропосфера». Какие это высоты? При этом нигде не приводятся более употребимые термины «Пограничный слой атмосферы», приземный (приводный) слой. И что подразумевается под термином «высота атмосферы»? Высота пограничного слоя, высота планетарного пограничного слоя или свободной атмосферы? «Падающее солнечное излучение» - обычно используется термин «приходящее солнечное излучение».
2. Рассматривалась ли возможность применения для заполнения лакун альтернативных методов, например, использование нейронных сетей, в частности, построения

самоорганизующихся карт?

3. Рассматривалась ли возможность включения в схему построения глобальных радиотепловых полей данных российского радиометра МТВЗА-ГЯ, тем более что архив данных в настоящее время доступен на сайте "НИЦ "Планета" <http://planet.rssi.ru/calval/>.
4. Почему для расчета изменчивости на синоптическом масштабе выбран именно 15-летний интервал? Стандартный период для оценки климатической изменчивости составляет 30 лет, и доступные данные микроволнового зондирования позволяют охватить этот период.
5. Было бы интересно провести расчет изменчивости широтной адвекции скрытого тепла через различные широты в районах наиболее интенсивного циклогенеза с целью оценки его активности. Это же касается и исследования климатической изменчивости повторяемости атмосферных рек в одних и тех же регионах.
6. Во введении автор говорит, что особое внимание в работе будет уделено Арктическому региону, но тем не менее этот интереснейший с климатической точки зрения регион остался за рамками работы. Возможно ли проведение аналогичного анализа для полярных мезоциклонов. Учитывая их небольшой размер и малое время жизни?
7. Для оценки динамики мезомасштабных явлений в настоящее время используются региональные негидростатические модели (WRF, COSMO и пр.), в том числе и в виде вложений в глобальные климатические модели. Их пространственное разрешение может достигать несколько километров. Рассматривается ли дальнейшее развитие работы в области сравнения и валидации результатов расчетов региональных моделей? Проводился ли анализ воспроизведения рассматриваемых процессов. в частности. атмосферных рек в современных атмосферных реанализах?

В заключении хотелось бы сказать, что высказанные замечания имеют в основном дискуссионный и рекомендательный характер, и не умоляют общую положительную оценку проделанной соискателем работы.

Основные положения диссертации отражены в её автореферате, 17 научных статьях изданий из списка ВАК, а также прошли обсуждения на более чем 20 российских и зарубежных конференциях.



Диссертация представляет собой результат тщательного научного исследования, выполненного на высоком профессиональном уровне и отличающегося новизной предложенных методов и подходов к решению поставленных задач. Особенно хочется отметить, что диссертация написана очень четко и аргументировано хорошим языком, иногда даже излишне литературным. Изложение автора отличается стройностью и обоснованностью выводов. Вызывает некоторое удивление, что интереснейшие и значимые результаты работы опубликованы только в очень ограниченном списке отечественных научных журналов. Дальнейшая рекомендация автору – выходить на международный уровень.

Результаты, полученные автором, представляют интерес для организаций РАН (ИОРАН, ИФА, ИПФ, ИВМ, ИПМ, ИВП, ИКИ), Росгидромета (ГОИН, ААНИИ, ГГО, ИПГ) и других, занимающихся океанологическими и прикладными исследованиями. Изложенные в работе результаты могут быть применимы для задач анализа океанских и атмосферных процессов по данным дистанционного зондирования и мониторинга и прогноза динамики атмосферы, в том числе опасных атмосферных явлений.

Обобщая содержание отзыва можно утверждать, что диссертационная работа Д.М. Ермакова представляет самостоятельное, законченное и серьезное научное исследование, соответствующее мировым стандартам в области геофизических исследований. Основные цели диссертационной работы достигнуты. Положения, выносимые на защиту, в совокупности составляют научное достижение, сутью которого является развитие метода обработки и анализа регистрируемых со спутников радиотепловых полей и полей восстанавливаемых геофизических параметров системы океан-атмосфера.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы.

Представленная диссертация **«Спутниковое радиотепловидение мезомасштабных и синоптических процессов»**, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Ермаков Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика”.

Отзыв подготовлен:

Заведующая лабораторией взаимодействия атмосферы и океана Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Доктор физико-математических наук  
Репина Ирина Анатольевна  
Тел. 8-495-951-85-49 e-mail: repina@ifaran.ru



Работа была доложена и одобрена на семинаре Отдела динамики атмосферы ИФА им. А.М. Обухова РАН 23 октября 2018 г. (протокол семинара № 7/17).

Заведующий Отделом динамики атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Академик  
Голицын Георгий Сергеевич



Отзыв заверен:

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

ü

Кандидат географических наук  
Краснокутская Людмила Дмитриевна

