

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**на диссертацию Ермакова Дмитрия Михайловича**  
**«Спутниковое радиотепловидение мезомасштабных и синоптических**  
**атмосферных процессов»,**  
**представленную на соискание ученой степени доктора физико-**  
**математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика**

Диссертационная работа Д.М. Ермакова посвящена разработке и решению актуальной и важной в научном и практическом отношении проблемы – обработке и анализу данных дистанционного зондирования Земли в радиотепловом диапазоне. Предложенный автором новый подход к решению этой проблемы, получивший название «спутниковое радиотепловидение», открывает широкие возможности для исследования формирования и эволюции мезомасштабных и синоптических процессов в атмосфере Земли.

**Актуальность** диссертационной работы определяется несколькими обстоятельствами. Во-первых, широким использованием данных дистанционного зондирования Земли в различных областях человеческой деятельности, что требует развития систем обработки, анализа и интерпретации данных спутниковых измерений. Во-вторых, возможностями круглосуточных и всепогодных измерений из космоса характеристик системы атмосфера-океан в радиотепловом диапазоне, что делает такие измерения уникальными для анализа динамики и эволюции атмосферных процессов различных пространственно-временных масштабов. В-третьих, необходимостью разработки и реализации единого подхода к обработке данных измерений в радиотепловом диапазоне с низкоорбитальных спутников, позволяющего получать информацию о динамике и энергетике наблюдаемых процессов с высокой пространственно-временной детализацией непосредственно из данных измерений без привлечения дополнительных сведений.

Рассматриваемая диссертационная работа, общим объемом 288 стр. машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и списка литературы. Она содержит 9 таблиц и 67 рисунков. Библиография включает 265 наименований.

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, которые необходимо решить для ее достижения, кратко охарактеризованы методология и методы исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость результатов работы, изложены положения, выносимые на

защиту, указан личный вклад автора, обоснована достоверность представленных результатов, соответствие диссертации паспорту специальностей, приведены сведения об апробации работы, изложена структура диссертации.

**Первая глава** посвящена описанию характеристик объектов и методов исследования. В качестве ярких представителей мезомасштабных явлений выбраны тропические циклоны, а в качестве явлений синоптического масштаба рассмотрены так называемые «атмосферные реки». Для демонстрации широких возможностей спутникового радиотепловидения в качестве еще одного объекта исследований рассмотрены характеристики глобальной атмосферной циркуляции. Каждый из этих объектов подробно рассмотрен в последующих главах. Таким образом в рамках единой методологии охвачен широкий диапазон атмосферных процессов с горизонтальными масштабами от  $10^2$  км до  $10^4$  км. При этом подчеркнута, что нет принципиальных методических ограничений для перехода к более мелким масштабам порядка  $10^1$  км. Здесь же приведен обстоятельный обзор истории развития и современного состояния методов пассивного микроволнового зондирования атмосферы. И, наконец, изложена общая постановка обратной задачи восстановления характеристик динамики нижней тропосферы по данным спутникового радиотеплового зондирования.

**Вторая глава** содержит подробное описание и анализ решения поставленной обратной задачи восстановления характеристик динамики нижней тропосферы. Детально обсуждены физико-математические аспекты предложенного подхода, основанного на алгоритмах «анализа оптического потока» и «оценки и компенсации движения». Обосновывается использование двумерной (плоской) модели интегрированных по вертикали геофизических полей в задаче спутникового радиотепловидения. Детально описаны оригинальные вычислительные схемы (приведение к регулярной сетке, сшивка лагун, пространственно-временная интерполяция), позволяющие получить по данным измерений с разных спутников поля геофизических параметров с пространственным шагом до 0,125 географического градуса и временной дискретизацией до 1,5 час. К сожалению не указано, какое количество спутников, данные которых используются в этих схемах, является необходимым и достаточным для достижения таких характеристик. На основе предложенной схемы выполнена обработка многолетних рядов данных измерений приборами SSM/I, SSMIS, Windsat, AMSR-E, AMSR-2, установленными на различных спутниковых системах. Детально исследован вопрос о результирующей точности синтезированной схемы пространственно-временной интерполяции спутниковой информации. Показано, что апостериорная погрешность восстановленных по предложенной схеме полей интегрального влагосодержания атмосферы близка к

инструментально-алгоритмической погрешности восстановления данной величины непосредственно из радиотепловых измерений. На основе мультисенсорного подхода реализуется итерационное расширение базовой схемы с целью максимально эффективного использования всей доступной спутниковой радиометрической информации. Наконец рассмотрены новые возможности количественного описания атмосферных процессов, которые предоставляет предложенный автором подход спутникового радиотепловидения. При этом особое внимание уделено методике расчета адвективных потоков скрытого тепла, что позволяет проводить анализ эволюции широкого класса мезомасштабных и синоптических процессов.

Следующие 3 главы посвящены демонстрации возможностей разработанного автором метода спутникового радиотепловидения к исследованию некоторых мезомасштабных и синоптических процессов.

**Третья глава** содержит результаты анализа динамических процессов эволюции одного из самых интересных и разрушительных природных феноменов – тропических циклонов – в полях геофизических параметров системы океан-атмосфера на основе применения спутникового радиотепловидения. В настоящее время проблема прогнозирования зарождения тропических циклонов (ТЦ) остаётся одной из нерешенных в тропической метеорологии. Суть проблемы в том, что в тропической зоне рождается довольно большое количества тропических депрессий. Они хорошо идентифицируются на спутниковых снимках. Однако лишь малая часть из них развиваются до стадии тропического шторма, и лишь часть тропических штормов развиваются до стадии тайфуна (урагана). Ключевым вопросом является здесь поиск источника энергии для интенсификации тропического циклона и перехода в фазу урагана (тайфуна). На основе использования оригинальной методики расчета адвективных потоков скрытого тепла через замкнутые контуры вокруг центра ТЦ диссертантом проведен анализ эволюции более 10 ТЦ различных регионов активности тропических циклонов, в том числе для взаимодействующих тайфунов-близнецов. При этом достаточно убедительно показана связь между интенсификацией ТЦ и усилением конвергентных (направленных к центру) адвективных потоков скрытого тепла, величина которых на один-два порядка превосходит значения вертикальных потоков от океана к ТЦ и достаточна для объяснения энергетического баланса зрелых форм ТЦ. Достаточно убедительно выглядят результаты совместного анализа полей интегрального влагосодержания атмосферы и композитных полей температуры поверхности океана, свидетельствующие о том, что последняя не определяет однозначно динамику развития ТЦ.

**В четвертой главе** обсуждаются возможности спутникового радиотепловидения для исследования сравнительно нового атмосферного процесса синоптического масштаба, названного «атмосферные реки», интенсивное изучение которого началось лишь в 90-х годах прошлого столетия. Считается, что они обеспечивают быстрый перенос влаги из тропиков в средние и высокие широты, играют существенную роль в меридиональном транспорте скрытого тепла, а также могут являться причиной экстремальных погодных явлений в прибрежных районах. В то же время имеются существенные проблемы детектирования атмосферных рек по данным спутникового радиотеплового зондирования, значительно затрудняющие их изучение в глобальном масштабе. Автором последовательно и детально показано, как с помощью подхода спутникового радиотепловидения могут быть преодолены эти проблемы. Предложен новый алгоритм автоматического детектирования атмосферных рек на основе синтезированных полей интегрального влагосодержания, который позволяет проводить детальный анализ «тонкой структуры» глобальной атмосферной циркуляции. Наконец, выполнен расчет и проведено сопоставление мощностей потоков скрытого тепла в атмосферных реках и фоновых потоках вне атмосферных рек непосредственно на основе спутниковых измерений без привлечения дополнительных данных.

**Пятая глава** демонстрирует успешное применение спутникового радиотепловидения к описанию основных закономерностей глобальной циркуляции атмосферы. Анализируя результаты расчетов за 15-летний интервал полей интегрального влагосодержания и соответствующих им полей адвекции, автор получил реалистичную картину основных особенностей глобальной циркуляции: зональную структуру атмосферы, границы ячеек циркуляции, преобладание зонального переноса над меридиональным и их характерные скорости, типичные значения временных вариаций характеристик циркуляции и многое другое. Все это доказывает, что спутниковое радиотепловидение является уникальным инструментом, позволяющим получать информацию о широком наборе характеристик глобальной циркуляции непосредственно из данных спутниковых измерений. Результаты расчетов подтверждают отмечаемую в последнее время важную климатическую тенденцию в обоих полушариях – смещение границ тропической зоны к полюсам, получившую название «расширение тропиков».

**В шестой главе** представлено описание разработанного под руководством и при непосредственном участии автора геопортала спутникового радиотепловидения, развернутого на серверах ФИРЭ РАН. Геопортал призван решать задачу демонстрации эффективного информационного обеспечения исследователей результатами обработки данных спутникового мониторинга Земли по алгоритмам спутникового

радиотепловидения. Важно подчеркнуть, что геопортал предоставляет возможность дистанционной интерактивной работы не только с архивными данными самого геопортала, но и с виртуально интегрированными данными из других источников, находящимися в свободном доступе.

В **Заключении** подчеркнута суть предложенного автором подхода спутникового радиотепловидения к обработке и анализу данных спутникового радиотеплового мониторинга Земли и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Оценивая диссертационную работу в целом, считаю, что она представляет собой большой завершенный научный труд, выполненный на высоком профессиональном уровне, в котором предложено и развито новое научное направление – спутниковое радиотепловидения процессов, протекающих в системе атмосфера-океан, открывающее широкие перспективы как для исследования атмосферных явлений различных пространственно-временных масштабов, так и для использования в практических целях.

Научная новизна выполненных исследований и полученных результатов не вызывает сомнений. Во-первых, разработан принципиально новый подход к обработке и анализу данных спутникового радиотеплового мониторинга Земли – спутниковое радиотепловидение. Во-вторых, с помощью этого подхода продемонстрирована возможность получения новой информации об атмосферных процессах на основе спутниковых данных без привлечения дополнительных сведений из других источников. В-третьих, впервые на основе обработки только данных спутниковых измерений проведен тщательный анализ динамики и энергетики сложных атмосферных процессов – тропических циклонов и атмосферных рек – позволивший выявить ряд важных закономерностей их эволюции. В-четвертых, убедительно доказано, что в данных спутниковых дистанционных измерений содержится информация о важнейших чертах глобальной атмосферной циркуляции, которая может быть получена с помощью разработанного автором подхода спутникового радиотепловидения.

Практическая значимость выполненной работы определяется её нацеленностью не только на решение фундаментальных задач, но и на достижение результатов, которые могут найти применение в различных областях человеческой деятельности. В частности, спутниковое радиотепловидение является уникальным инструментом для независимого контроля результатов численного моделирования глобальной атмосферной циркуляции. Разработанный под руководством и при непосредственном участии автора геопортал спутникового радиотепловидения может быть использован для взаимной калибровки спутниковых радиометрических приборов. Геопортал открывает свободный доступ всем

заинтересованным к результатам массовой обработки спутниковых радиотепловых измерений. Можно с уверенностью сказать, что он представляет большой практический интерес для климатологов, метеорологов, синоптиков, радиофизиков и специалистов других профессий, работающих в различных организациях Российской Академии наук, Росгидромета, Минобрнауки России и других ведомств.

Достоверность полученных автором результатов и обоснованность научных положений и выводов, содержащихся в диссертации, определяется корректным использованием математического аппарата; подтверждается сопоставлением с независимыми спутниковыми измерениями, непротиворечивостью основных результатов и выводов, их четким физическим смыслом и согласованностью с современными представлениями об исследованных процессах.

Личный вклад автора достаточно убедительно отражен в диссертации. Основные результаты диссертации представлены в 23 публикациях в рецензируемых периодических научных изданиях. Работы автора хорошо известны специалистам в соответствующих областях знаний. Они докладывались на многочисленных всероссийских и международных конференциях и всегда вызвали интерес и получали высокую оценку участников. Диссертация хорошо структурирована, написана хорошим литературным языком и должным образом оформлена. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают основное содержание диссертации.

Как всякая большая научная работа рецензируемая диссертация имеет недостатки.

1. В главе 3 нет упоминаний о струях оттока в верхней тропосфере, которые, как известно, играют важную роль в динамике ТЦ.
2. Нет четкого объяснения что нового может дать детальное знание величин адвективных потоков скрытого тепла для прогнозирования быстрой интенсификации ТЦ и достаточно ли для этого временного разрешения спутникового радиотепловидения.
3. Рис. 3.1- 3.10 и другие в главе 3, на которых приведено сопоставление синхронных временных рядов интенсивности ТЦ (максимальной скорости горизонтального ветра) и мощности потоков скрытого тепла через заданные контуры вокруг его центра, демонстрируют сильную временную изменчивость мощности потоков скрытого тепла, в то время как интенсивность ТЦ меняется, в большинстве случаев достаточно медленно. Это может свидетельствовать о том, что существуют другие факторы помимо адвективных потоков, управляющие эволюцией ТЦ. В диссертации об этом ничего не сказано.

4. Не совсем удачно атмосферные реки отнесены к климатообразующим факторам (глава 4, с. 190). Правильнее их считать элементом общей циркуляции атмосферы.

5. Вызывает большое сомнение реалистичность оценки полуширины ВЗК (внутритропическая зона конвергенции) в 40 град в каждом полушарии (глава 5, с. 216).

6. Имеются и другие мелкие недостатки, в частности, очень мелкие рисунки в главах 3 и 4, на которых с трудом можно различить описываемые особенности явлений.

Однако отмеченные недостатки не являются принципиальными и несколько не умаляют достоинств выполненной работы и не принижают ценность основных результатов, полученных автором.

### **Заключение**

Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что диссертация Ермакова Дмитрия Михайловича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, связанное с решением крупной научной задачи в рамках радиофизических исследований Земли из космоса – восстановления динамических и энергетических характеристик мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов. Диссертация соответствует формуле специальности 01.04.03 «Радиофизика» и относится к области исследования, указанной в паспорте специальности под номером 5 в части «Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач. Создание систем дистанционного мониторинга гео-, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы», а также критериям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

Таким образом, соискатель Ермаков Дмитрий Михайлович безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Официальный оппонент  
доктор физ.-мат. наук, зам. директора  
Института экспериментальной метеорологии  
ФГБУ «НПО «Тайфун» по научной работе

Нерушев  
Александр Федорович

Контактные данные:  
тел.: 8 (484) 3971721, e-mail: [nerushev@rpatyphoon.ru](mailto:nerushev@rpatyphoon.ru)  
Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 25.00.29 – «физика атмосферы и гидросферы»

Адрес места работы:

Россия, 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы 4.

Тел. 8 (484) 3971540, [post@rpatyphoon.ru](mailto:post@rpatyphoon.ru)

Подпись Нерушева Александра Федоровича заверяю.

Ученый секретарь

ФГБУ «НПО «Тайфун», к.ф.м.н.



А.И. Бурков

«21» февраля 2019 г.