

## 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»

Представленное диссертационное исследование ставило **основной целью** построение и практическую реализацию единой методики обработки и анализа регистрируемых со спутников радиотепловых полей и (или) полей восстанавливаемых геофизических параметров системы океан-атмосфера, использующей замкнутую относительно этих параметров вычислительную схему и обеспечивающей восстановление динамики наблюдаемых процессов с высокой пространственно-временной детализацией, а также возможность краткосрочного прогноза их развития и детальное исследование аспектов их эволюции на основе построения временных рядов физически значимых характеристик их энергетического баланса.

**Актуальность темы исследования.** Задачи восстановления динамических и энергетических характеристик атмосферных процессов различных масштабов занимают заметное место в исследованиях Земли дистанционными методами. При этом спутниковая микроволновая радиометрия является уникальным средством получения представительной оперативной информации о состоянии нижних, наиболее прогретых и насыщенных влагой, слоев атмосферы. Именно краткосрочная (на интервалах времени порядка суток и часов) динамика этих слоев является определяющей при формировании и эволюции широкого ряда мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов, в том числе, сопровождающихся экстремальными погодными явлениями. По этой причине задача построения единой методики обработки и анализа спутниковых радиотепловых данных для получения физически значимых количественных характеристик энергетического баланса разномасштабных атмосферных процессов, на решение которой направлено представленное диссертационное исследование, является высоко актуальной с научной точки зрения, а актуальность точного прогноза в самых различных сферах человеческой деятельности вполне очевидна.

**Научная новизна.** В диссертации предложено обобщение обратной задачи восстановления атмосферных параметров по данным спутникового радиотеплового мониторинга, состоящее в расширении классической постановки для мгновенных состояний геофизических полей кинематической моделью адвекции. Это позволило, использовать информационную избыточность больших массивов измерений для расчета динамики

восстанавливаемых геофизических атмосферных полей в рамках сформулированных в работе дополнительных предположений. Научную новизну работы определяют следующие основные результаты:

1. На основе развитой в диссертации методики в замкнутом виде осуществлен расчет адвективных вертикально интегрированных потоков атмосферного скрытого тепла, реализующихся в различных типах мезомасштабных и синоптических атмосферных процессов.
2. Предложена и программно реализована замкнутая схема интерполяционной обработки данных спутникового радиотеплового мониторинга Земли, обеспечивающая восстановление состояний геофизических полей атмосферы с более высоким временным разрешением и в областях пространства, лишь частично охваченных измерениями.
3. На основе этой схемы выполнен детальный (с шагом по времени в 3 – 6 часов) анализ связи между конвергентным (дивергентным) режимом адвекции скрытого тепла и интенсификацией (диссипацией) тропических циклонов, а также анализ нитевидной структуры атмосферной циркуляции в целях исследования атмосферных рек.
4. С помощью развитого в диссертации подхода только на основе данных спутникового радиотеплового мониторинга восстановлены характеристические параметры глобальной атмосферной циркуляции и их эволюция в пятнадцатилетнем интервале наблюдений (2003 – 2017 гг.).
5. Создан геопортал спутникового радиотепловидения, на котором реализованы открытый доступ к интерполированным глобальным полям основных геофизических параметров системы «океан-атмосфера» (интегральное влагосодержание, полный водозапас облаков, скорость приводного ветра, векторное поле адвекции водяного пара), а также возможность их интерактивной интерполяции на произвольный момент времени.

#### **Достоверность полученных результатов.**

Результаты диссертационной работы представляются обоснованными и достоверными, что обусловлено корректным применением адекватного математического аппарата и соответствием общефизическим представлениям о динамике и эволюции процессов, ставших объектами исследования. Основные результаты диссертации многократно обсуждались на представительных международных и всероссийских конференциях по тематике исследования, а также опубликованы в 19 статьях в реферируемых научных журналах.

#### **Научная и практическая значимость.**

Развитый в диссертации подход спутникового радиотепловидения атмосферных процессов обеспечивает возможность качественного и количественного экспресс-анализа

разномасштабных атмосферных процессов; оптимального пространственно-временного совмещения радиотепловых спутниковых данных с результатами независимых измерений в целях совместного анализа, а также калибровки и кросс-калибровки спутниковых радиометрических приборов. Расчеты адвективных потоков скрытого тепла могут быть востребованы для дополнения и уточнения теоретических представлений и дальнейшего развития оперативных моделей эволюции быстроразвивающихся атмосферных явлений, в том числе, катастрофического характера. Благодаря созданному геопорталу спутникового радиотепловидения результаты расчетов по созданной методике могут найти применение в решении широкого круга задач дистанционного зондирования Земли, метеорологии, климатологии, выходящих за рамки представленного диссертационного исследования. Включенные в диссертацию результаты вошли в отчеты по проектам РФФИ, в том числе, выполненном под руководством соискателя (грант РФФИ № 15-07-04422).

**Оформление и структура диссертации.** Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК РФ, а автореферат достаточно полно отражает ее содержание. Несомненным достоинством работы является обширный обзор современного состояния исследуемой проблемы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений и списка использованных источников из 265 наименований. Объем диссертации составляет 288 страниц, включая 9 таблиц и 67 рисунков.

В качестве **замечаний** к работе можно отметить следующее:

1. Применимость линеаризации уравнений (1.14), (2.1) задач радиометрического зондирования, предполагающая существование производных восстанавливаемых параметров, требует дополнительных комментариев. Например, применимость этой процедуры может быть нарушена не только из-за указанных в работе факторов наличия трехмерной структуры скорости, но и на переходах границ раздела подстилающих поверхностей. Причем, это могут быть не только постоянные границы между различными геологическими структурами, но и границы, создаваемые прохождением зоны осадков или другими динамическими процессами. Сильная нелинейность такой задачи может приводить не только к ошибкам, но и к неединственности решения. И хотя работе доказана эффективность предложенных алгоритмов, необходимо также специальное исследование ситуаций, где эта эффективность нарушается. Возможно, это исследование заложено в план дальнейшей работы диссертанта.
2. Использование производных первого и второго порядка по экспериментальным данным в алгоритмах регуляризации решения данных уравнений вызывает вопросы, связанные с решением проблемы некорректности задач их вычисления (особенно второй производной).

3. При оценках ошибок интерполяции в разделе 2.3 следовало бы иметь в виду (и в перспективе – учитывать) пространственную неоднородность и временную нестационарность статистических характеристик атмосферных параметров, которые могут приводить к существенным отклонениям от полученных в работе распределений погрешности. Очевидно, что интерполяция на расстояния и времена, большие масштабов корреляции (или измерения структурных функций) интерполируемых параметров приведет к погрешностям, сравнимым с уровнем их естественных вариаций.

Перечисленные замечания не меняют общую положительную оценку выполненной весьма масштабной работы, которая представляет собой переход на новый, качественно более высокий, уровень спутникового мониторинга атмосферы. Представленное диссертационное исследование полностью удовлетворяет соответствующим требованиям ВАК РФ, а соискатель, Ермаков Дмитрий Михайлович, безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03-«радиофизика».

Официальный оппонент

Гайкович Константин Павлович,

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03-«радиофизика»), профессор, ведущий научный сотрудник отдела физики полупроводников Института физики микроструктур РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

«19» февраля 2019 г.

 / К.П. Гайкович /

Адрес места работы: ГСП-105, Нижний Новгород, 603950, Россия, Институт физики микроструктур РАН — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»


Рабочий телефон: +7 8314179468

E-mail: gai@ipm.sci-nnov.ru

Подпись К.П. Гайковича заверяю

Ученый секретарь ИФМ РАН



 / Д.М. Гапонова /