

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Пашинова Евгения Владимировича
«Восстановление трехмерных полей тропосферного водяного пара по
данным многочастотных дистанционных радиометрических
измерений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика

Диссертационная работа Е.В. Пашинова посвящена решению актуальной и важной в научном и практическом отношении задачи – разработке новых методов восстановления глобальных трёхмерных полей водяного пара в атмосфере Земли. Разработанный и реализованный автором метод открывает широкие возможности для исследования особенностей глобального вертикального распределения водяного пара в тропосфере посредством дистанционных радиометрических измерений как с космических платформ, так и с поверхности Земли.

Актуальность диссертационной работы определяется двумя важнейшими обстоятельствами. Во-первых, той ролью, которую играет водяной пар в энергетике атмосферы, в процессах переноса тепла и влаги в системе океан – атмосфера и, в конечном счете, в формировании климата Земли. Во-вторых, необходимостью разработки новых эффективных дистанционных методов и средств определения трехмерной структуры полей влажности в средней и нижней тропосфере, где сосредоточена основная масса водяного пара и где протекают наиболее интенсивные процессы энергообмена.

Рассматриваемая диссертационная работа, общим объемом 162 стр. машинописного текста, состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка литературы. Она содержит 16 таблиц и 68 рисунков. Библиография включает 96 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы её цели, приведены основные научные результаты и положения, выносимые на защиту. Обосновываются научная и практическая значимость работы, степень достоверности результатов проведенных исследований, соответствие диссертации паспорту специальности, определен личный вклад автора в результаты, изложенные в диссертации.

В первой главе, носящей обзорный характер, обстоятельно рассмотрены основные научные задачи, для решения которых необходима информации о глобальном трёхмерном распределении водяного пара в тропосфере Земли. Изложена история развития средств и методов микроволнового радиометрического зондирования профиля влажности

тропосферы из космоса. Подробно рассмотрены методы восстановления профилей влажности атмосферы, используемые в настоящее время для обработки результатов радиометрических измерений с космических платформ. Содержание этой главы свидетельствует о научной эрудиции автора, хорошем знании предмета диссертационной работы и литературных источников.

Вторая глава посвящена исследованию особенностей формирования радиотеплового излучения нижними слоями атмосферы. Последовательно рассмотрены основные факторы, влияющие на излучения системы океан – атмосфера, регистрируемое из космоса. Детально исследованы высотные профили основных метеопараметров (температуры и влажности), от которых зависит регистрируемое излучение, и их статистические характеристики. При этом наряду с моделями стандартной атмосферы была обработана информация 6880 метеозондов корабельного радиозондирования. Хотелось бы отметить оригинальное представление результатов обработки данных зондирования в виде двумерных гистограмм, с нанесенными значениями средней величины и СКО. Представленные в главе 2 результаты позволили диссертанту сделать вывод о том, что используемые в настоящее время методы и средства радиотеплового зондирования из космоса не могут обеспечить желаемой точности восстановления высотного профиля влажности нижней тропосферы и что необходим поиск и разработка новых эффективных методов.

В третьей главе диссертации, являющейся, по моему мнению, центральной, дано теоретическое обоснование применения дифференциальных радиотепловых измерений в области слабой полосы поглощения водяного пара 22,235 ГГц для повышения точности восстановления вертикальных профилей влажности тропосферы по данным зондирования как с поверхности Земли, так и из космоса. Помимо теоретических расчетов диссертант принимал непосредственное участие в проведении, обработке и интерпретации результатов натурного наземного эксперимента по восстановлению профиля влажности тропосферы с использованием дифференциальных радиотепловых измерений на океанографической платформе Морского гидрофизического института РАН (МГИ) (пос. Кацивели, Крым). Результаты наземного эксперимента с использованием перестраиваемого радиометра 18–27,2 ГГц подтвердили возможности дифференциальных радиотепловых измерений и показали, что с их помощью можно успешно восстанавливать вертикальные профили влажности тропосферы с разрешением по высоте 1 км, в том числе имеющие инверсии. Теоретическое обоснование применимости метода дифференциальных радиотепловых измерений для зондирования нижней тропосферы из космоса и выбор оптимального набора дополнительных частотных каналов в полосе

22,235 ГГц, проведены на примере моделирования измерений комплексом МИРС разрабатываемого космического эксперимента «Конвергенция».

Четвертая глава посвящена восстановлению глобальных трёхмерных полей водяного пара в тропосфере Земли на основе модельных расчетов, а также реальных данных российского модуля температурного и влажностного зондирования атмосферы МТВЗА-ГЯ на спутнике «Метеор-М» № 2. Для этого был выбран статистический метод решения обратной задачи, основанный на использовании искусственной нейронной сети (ИНС). В результате проведения численных экспериментов удалось установить, что для успешного восстановления вертикальных профилей влажности в качестве входной информации необходимо иметь не только измеряемую прибором яркостную температуру, но и вертикальный профиль температуры атмосферы. Изюминкой диссертации являются восстановленные глобальные трёхмерные поля влажности тропосферы по данным МТВЗА-ГЯ. Для этого был разработан сложный двухэтапный нейросетевой алгоритм, состоящий из двух последовательно соединённых ИНС. Первая ИНС восстанавливает профиль температуры атмосферы, вторая — влажности. Разработанный алгоритм позволил впервые восстановить глобальные трёхмерные поля водяного пара в атмосфере Земли по данным МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2 за 1,5 года с 01.05.2015 по 24.10.2016. При этом относительная ошибка восстановления профиля абсолютной влажности атмосферы в семи слоях с центрами от 0,6 до 8,6 км колеблется от 5 до 45 %.

В приложении в качестве примера представлены глобальные поля усреднённого значения абсолютной влажности тропосферы на 7 атмосферных уровнях от 1000 до 300 мбар за 12 и 13 июля 2015 г. На них отчётливо различимы как крупномасштабные, так и мезомасштабные процессы – протяжённые атмосферные реки и тропический циклон.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Оценивая диссертационную работу в целом, считаю, что она представляет собой большой завершённый научный труд, выполненный на высоком профессиональном уровне, в котором решена важная в научном и практическом плане задача: разработка и обоснование новых методов повышения точности восстановления вертикальных профилей влажности тропосферы по данным радиотепловых спутниковых измерений и создание алгоритмов восстановления глобальных трёхмерных полей водяного пара в атмосфере Земли.

Научная новизна выполненных исследований и полученных результатов не вызывает сомнений. Во-первых, впервые детально исследован теоретически и обоснован результатами компьютерного моделирования подход дифференциальных радиотепловых измерений в полосе 22,235 ГГц, обеспечивающий улучшение чувствительности и

высотной избирательности к изменению профиля влажности в нижней тропосфере в слое 1–5 км. Предложен и обоснован набор частот, обеспечивающий повышение качества восстановления профиля водяного пара. Во-вторых, проведён натурный эксперимент по восстановлению профиля влажности тропосферы при зондировании с поверхности Земли на основе дифференциальных радиотепловых измерений, подтвердивший эффективность предлагаемого подхода и возможность восстановления сложных профилей с инверсией. В-третьих, разработан и опробован путем численного моделирования нейросетевой алгоритм, улучшающий точность восстановления вертикального распределения влажности атмосферы на основе данных радиотеплового спутникового зондирования с дополнительным использованием радиометрических каналов в полосе 22,235 ГГц. Алгоритм проверен на практике: *впервые* восстановлены глобальные трёхмерные поля водяного пара на основе данных измерений российского спутникового микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ.

Практическая значимость результатов выполненной работы связана с возможностью использования разработанной методики для потоковой обработки результатов спутниковых измерений ныне работающим российским радиотепловым комплексом МТВЗА-ГЯ, а также разрабатываемыми перспективными микроволновыми зондировщиками, в том числе и прибором МИРС, входящим в состав научной аппаратуры космического эксперимента «Конвергенция», а также данных наземных измерений. Результаты работы могут найти применение в 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 хорошим совпадением полученных результатов, с данными реанализа и радиозондовыми измерениями, непротиворечивостью основных результатов и выводов, их четким физическим смыслом и согласованностью с современными представлениями о предмете исследований.

Личный вклад автора в разработку программных комплексов для проведение модельных расчётов и обработки экспериментальных данных; оптимизацию набора дополнительных частотных каналов в полосе 22,235 ГГц; разработку алгоритмов восстановления профиля влажности тропосферы на основе искусственных нейронных сетей по модельным данным МИРС КЭ «Конвергенция» и реальным данным спутникового радиотеплового комплекса МТВЗА-ГЯ «Метеор-М» № 2, проведение расчетов, получение и анализ результатов достаточно убедительно отражен в диссертации.

Основные результаты работы представлены в 36 публикациях, среди которых 8 входят в перечень журналов, рекомендованных ВАК, они также неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях. Диссертация хорошо структурирована, написана грамотным литературным языком и должным образом оформлена. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают основное содержание диссертации.

В тоже время рецензируемая диссертация имеет ряд **недостатков**.

1. Вывод к первой главе на с. 42: «*Информация о глобальных трёхмерных полях водяного пара в атмосфере Земли является ключевым элементом современных климатических исследований...*» представляется слишком категоричным. Правильнее сказать «*...одним из важных элементов современных климатических исследований*».

2. Один из выводов ко второй главе на с.75 и 76: «*Анализ судовых радиозондовых измерений показал, что в среднем высотная зависимость профиля абсолютной влажности тропосферы имеет экспоненциальный вид, влажность падает с высотой, и на высоте 10 км меньше приземной почти в 400 раз. Основная масса водяного пара (90 %) сосредоточена в толще атмосферы на высотах от 0 до 5 км*» тривиален. Об этом давно и хорошо известно.

3. Остается не выясненным вопрос – можно ли с помощью разработанного метода восстанавливать высотные профили влажности при сильной инверсии? В третьей и четвертой главах приведены примеры восстановления вертикальных профилей влажности со слабыми инверсиями (интенсивность инверсий не более 1 г/м^3). В то же время в природе зачастую встречаются достаточно сильные инверсии. Один из примеров можно видеть на с. 80 диссертации (рис. 3.3).

4. Одна и та же величина (τ) названо то оптической толщиной, то оптической плотностью, то полным поглощением атмосферы (с.21, 42).

5. Имеются и другие мелкие недостатки, в частности:

- коэффициент корреляции указан с избыточной точностью до 5-го знака после запятой (с.92);
- терминологическая неточность: разделение ИК и оптического диапазона (с.3). Оптический диапазон спектра электромагнитного излучения включает в себя, вообще говоря, УФ, видимые и ИК волны;
- ошибки в подписях или отсутствие пояснений к рисункам (рис. 1.8, 1.9).

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

Заключение

Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что диссертация Пашинова Евгения Владимировича является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по разработке и применению новых методов восстановления глобальных трёхмерных полей водяного пара в атмосфере Земли, имеющей существенное значение для радиофизических исследований Земли из космоса. Диссертация соответствует формуле специальности 1.3.4 «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 кандидата наук.

Таким образом, соискатель Пашинов Евгений Владимирович безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «радиофизика».

Официальный оппонент
доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник
Института экспериментальной метеорологии
ФГБУ «НПО «Тайфун»

Нерушев
Александр Федорович

Контактные данные:
тел.: +7 (484) 3997022, e-mail: nerushev@rpatyphoon.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 25.00.29 – «физика атмосферы и гидросферы».
Ученое звание: старший научный сотрудник.

Адрес места работы:
Россия, 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы 4.
Тел. +7 (484) 3997004, post@rpatyphoon.ru

Подпись Нерушева Александра Федоровича заверяю

Заведующий научно-организационным отделом
ФГБУ «НПО «Тайфун»



М.Л. Прудникова
«28» апреля 2022 г.