

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Смирнова Михаила Тимофеевича

на диссертационную работу 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»

### *Актуальность темы диссертационной работы.*

Тема диссертационной работы весьма актуальна - в связи с необходимостью развития методов изучения и контроля глобальных процессов, обуславливающих возможное изменение климата Земли. Атмосферная влага, ее перенос и пространственно-временное распределение играет одну из ключевых ролей в указанных процессах. СВЧ радиометрические измерения со спутников дают уникальную возможность изучать характеристики атмосферной влаги как в парообразном, так и жидком состоянии с достаточно высокой детальностью и в глобальном масштабе. Появление новых СВЧ радиометрических приборов уже позволяет исследовать трехмерную структуру распределения и переноса водяного пара в атмосфере. Вместе с тем, получение достоверных и надежных количественных данных о пространственном распределении водяного пара с требуемой точностью представляет сложную задачу. Для ее решения требуется развитие как модельных представлений, описывающих связь характеристик исследуемого объекта с характеристиками измеряемого радиотеплового излучения системы атмосфера - поверхность Земли, так и математических подходов к решению так называемой обратной задачи. Исследования автора направлены на всестороннее изучение этих вопросов.



*Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций*

В диссертационной работе научные положения и выводы в достаточной мере обоснованы.

Автор хорошо ориентируется в современном состоянии вопроса, являющегося предметом диссертационной работы. Обзор литературы выполнен на высоком уровне.

Автором проведено моделирование прямой и обратной задачи для обоснования улучшения высотной избирательности и повышение чувствительности спутниковых радиометрических измерений, проводимых в основном на частотах диапазонов 50-183 ГГц, к вариациям профиля влажности в нижней части тропосферы Земли при использовании дополнительных радиотепловых каналов в полосе 22,235 ГГц.

В ходе работы он выполнил тщательную обработку данных, полученных в наземном эксперименте по измерению нисходящего излучения атмосферы при помощи радиометра-спектрометра P22M в диапазоне 18-27 ГГц. Им выполнен всесторонний анализ основных погрешностей измерений и получены оценки характеристик высотного профиля влажности атмосферы. Результаты оценок сравнены с независимыми данными и было показано, что разработанные алгоритмы позволяют восстанавливать не только стандартные профили влажности, но и профили с инверсией.

Для моделирования спутниковых измерений планируемого космического эксперимента «Конвергенция» автором использовано большое количество информации о характеристиках атмосферы. Проведен анализ статистических характеристик вертикальных профилей влажности. Разработан нейросетевой алгоритм восстановления профилей влажности по модельным значениям радиояркостных температур. Это позволило достаточно обоснованно говорить о возможности повышения точности восстановления профиля влажности на малых высотах при использовании дополнительных низкочастотных каналов.

Важное значение имеет тот факт, что автором проведена обработка реальных спутниковых данных, полученных при помощи отечественного прибора дистанционного зондирования Земли МТВЗА-ГЯ. Обработка проводилась для расширенного набора каналов в отличие от обычно используемых. Это позволило повысить точность восстановления профилей влажности атмосферы на малых высотах.

*Достоверность и новизна*

Достоверность результатов диссертационной работы определяется применением современных методов математического моделирования и хорошим соответствием результатов, полученных в ходе обработки данных с результатами моделирования и различными наземными измерениями.

Основная научная новизна результатов заключается в том, что автором обоснована эффективность использования дополнительного набора радиометрических каналов в полосе 22,235 ГГц при восстановлении профиля



водяного пара в тропосфере Земли по данным радиометрических измерений из космоса. Разработанный автором нейросетевой алгоритм позволил обработать результаты измерений отечественного прибора дистанционного зондирования Земли МТВЗА-ГЯ с целью получения трехмерного поля распределения водяного пара в атмосфере, что имеет также большую практическую ценность.

Результаты работы опубликованы в 36 публикациях, среди которых 8 входят в перечень журналов, рекомендованных ВАК, из них 8 работ индексируются в РИНЦ, 8 — в Scopus. Результаты работы представлялись на российских и международных конференциях.

#### *Замечания по диссертации.*

Широко используемый автором «дифференциальный метод» представляется несколько переоцененным. Вычитание сигналов в 2 каналах на склоне линии поглощения действительно позволяет наглядно проанализировать роль изменений высотного профиля водяного пара и наглядно оценить вклад этих изменений на разных высотных уровнях в принимаемое излучение. Особенно это наглядно при измерениях над подстилающей поверхностью, не имеющей спектральных особенностей в пределах используемых частот. Вместе с тем, линейное преобразование двух уравнений не добавляет информации об исследуемом объекте. Для оценки роли «дифференциальных каналов» в точность восстановления профилей влажности следовало бы провести прямое сравнение предложенного метода использования виртуальных разностных каналов и обычно используемого метода минимизации функции разности измеренных и модельных значений по реальным каналам измерений с учетом той-же априорной- информации. Кроме того, спорным является заявление о нивелировании систематических ошибок измерений при использовании «дифференциальных каналов».

При моделировании восстановления профиля влажности в тропосфере Земли на основе модельных данных планируемого космического эксперимента «Конвергенция» формирование обучающей выборки сделано не соответствующим возможностям. Набрать равномерную по пространству выборку по наземным измерениям практически невозможно, поэтому полученные оценки точности будут скорректированы при реализации эксперимента. Это обстоятельство достаточно подробно описано самим же автором при обработке реальных данных МТВЗА-ГЯ.

#### *Общая оценка*

Работа написана хорошим литературным языком.

Отмеченные недостатки не снижают высокую оценку работы в целом. Считаю, что диссертация Пашинова Е.В. представляет собой существенный вклад в развитие методов и средств дистанционного зондирования Земли.



Диссертация Пашинова Евгения Владимировича представляет собой законченное научное исследование и по объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Пашинов Евгений Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 «Радиофизика».

Смирнов Михаил Тимофеевич; кандидат физико-математических наук;  
(специальность 01.04.03 «Радиофизика»);

141190, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского 1;

+7(496) 565-26-81; smirnov@ire.rssi.ru;

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук;

Старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник;

Лаборатория инструментальных и информационных методов исследования окружающей среды средствами дистанционного зондирования.

Дата 26.04.22 Подпись



Отзыв заверяю

Ученый секретарь

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН



Г.В. Чучева