

ОТЗЫВ

Заболотских Елизаветы Валериановны

официального оппонента на диссертационную работу Косторной Анжелики Андреевны
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ВОДОЗАПАСА ОБЛАКОВ ПО
ДАННЫМ РОССИЙСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ», представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера

Диссертационная работа Косторной А.А. посвящена разработке методик восстановления водозапаса облаков по данным многоспектрального сканера МСУ-МР и интегрального влагосодержания атмосферы по данным микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ со спутников серии «Метеор-М».

Актуальность исследования. Водяной пар и жидккая вода облаков играют большую роль в формировании климата. Глобальное распределение параметров влагосодержания атмосферы (общего содержания водяного пара в столбе атмосферы единичного сечения) и водозапаса облачности (общего содержания жидкокапельной влаги облаков в столбе единичного сечения) определяет положение атмосферных фронтов, движения воздушных масс и используется для прогностических целей и климатических исследований. Восстановление параметров влагосодержания по данным сканирующих спутниковых радиометров позволяет строить регулярные карты данных параметров в оперативном режиме. Приборы спутников серии «Метеор-М» работают в различных диапазонах электромагнитного спектра, поэтому имеется возможность комплексного использования бортовой целевой аппаратуры как для определения микроструктуры облаков с помощью сканеров МСУ-МР, так и для восстановления общего содержания водяного пара по данным радиометра МТВЗА-ГЯ. Поскольку для приборов спутников серии «Метеор-М» отсутствуют надежные, верифицированные с использованием аэрологических измерений, методики определения влагосодержания атмосферы, поставленная автором цель разработки таких методик является актуальной.

Структура и объем работы. Диссертационная работа Косторной А.А. состоит из Введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 212 наименования и 5 приложений. Диссертация содержит 141 страницу, 42 рисунка и 13 таблиц. Во *Введении* обозначена цель и дано обоснование актуальности диссертационной работы, определен круг решаемых задач, сформулированы выносимые на защиту научные положения, раскрыты новизна работы, ее научная и практическая значимости.

В *Первой главе* представлен анализ научной литературы по теме диссертационного исследования – приводятся основные определения параметров влагосодержания атмосферы, особенности распределения воды в различных агрегатных состояниях в зависимости от времени года и географического района, спектральные особенности ее взаимодействия с инфракрасным (ИК) и микроволновым (МКВ) излучением, а также проводится анализ методов определения характеристик влагосодержания атмосферы по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Вторая глава посвящена разработанным и модифицированным автором методикам определения водозапаса облаков и влагосодержания атмосферы. Методика определения водозапаса основывается на модифицированных алгоритмах детектирования облачности и расчета ее характеристик. Расчет водозапаса производится на основе параметров облачности. Методика определения влагосодержания основана на измерениях микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ и позволяет проводить адаптивный поиск оптимального набора каналов и находить наилучшие комбинации для различных климатических зон и типов поверхности.

В *Третьей главе* представлены результаты валидации модифицированной методики определения водозапаса облаков по независимым данным – наземной наблюдательной сети, измерениями КА CALIPSO (лидар CALIOP) и ДМРЛ-С, а также результаты сопоставления параметров облачности, полученных по предлагаемой автором методике, с результатами

обработки другой методики автоматического восстановления характеристик облачности (КПМ). Проведенные валидационные исследования показали высокую достоверность разработанной методики.

В *Четвертой главе* изложены результаты валидации предложенной автором методики определения влагосодержания безоблачной атмосферы по данным измерений МТВЗА-ГЯ. Сравнение проводилось с профилями атмосферы M. Matricardi и данными реанализа NCEP. Также, было проведено сравнение с расчетами технологии машинного обучения «Случайный лес» (Random forest). Установлены комбинации из 6-и каналов прибора МТВЗА-ГЯ, использование которых позволяет восстанавливать значения влагосодержания с ошибкой не более 5 кг/м².

В *Заключении* суммированы основные результаты работы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- создана методика определения влагосодержания безоблачной атмосферы, использующая измерения прибора МТВЗА-ГЯ КА серии «Метеор-М», в которой выбор каналов подбирается для различных климатических зон и типов поверхности;
- разработана модификация алгоритмов детектирования облачности и определения ее характеристик в соответствии с международной морфологической классификацией Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) для использования в оперативных подразделениях Гидрометцентра России;
- впервые разработана методика автоматического попиксельного сравнения облачных параметров, восстановленных двумя различными технологиями обработки спутниковых данных, осуществляющая временное и пространственное совмещение, учет смещения облачных массивов, а также расчет статистических характеристик и оценок.

Главная научная значимость результатов работы состоит в том, что предложенные и разработанные методики восстановления характеристик влажности позволяют успешно использовать данные отечественных инструментов спутников «Метеор-М» и получать результаты, сопоставимые по точности с зарубежными аналогами.

Научная и практическая значимость полученных результатов заключается в наличии решения Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 11.10.2016 о целесообразности использования результатов расчетов модифицированных автором алгоритмов в оперативно прогностической работе метеоподразделений как дополнение данных синоптических и радиолокационных наблюдений в региональных и мезомасштабных схемах численного анализа и прогноза погоды, для наукастинга, а также в целях климатических исследований облачного покрова и осадков. Кроме того, на модифицированные автором алгоритмы детектирования облачности и определения ее характеристик, а также на методику автоматического сравнения облачных параметров получены 4 свидетельства РОСПАТЕНТА о государственной регистрации программ для ЭВМ, а разработанные автором методики валидации по независимым данным введены в оперативную и опытную эксплуатацию СЦ ФГБУ «НИЦ «Планета», что подтверждается соответствующими актами.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 23 публикациях (3 из которых – статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК) и докладывались на международных, всероссийских, научно-практических и региональных конференциях.

Достоверность результатов и выводов работы подтверждается сравнением с независимыми данными и исследованиями других авторов.

Замечания. По представленной диссертационной работе имеются следующие замечания:

- Странно было увидеть в первой (обзорной) главе максимальные значения влагосодержания земной атмосферы (влагозапаса) 45-50 мм. Достаточно

посмотреть на карты влагозапаса (исторические и оперативные), построенные по данным спутниковых микроволновых радиометров, чтобы увидеть, что эти значения в тропиках на 20-30 мм выше.

- В работе обсуждается методика восстановления влагозапаса в безоблачной атмосфере и неоднократно утверждается, что современные методики позволяют использовать микроволновые измерения для оценки данного параметра над районами океана именно в безоблачной атмосфере. Эти утверждения принципиально неверны. Влагозапас атмосферы восстанавливается по данным многоканальных сканирующих микроволновых радиометров с высокой точностью и в условиях облачности. Принципиальное ограничение для существующих методик – это тип подстилающей поверхности. Несмотря на принципиальную возможность восстановления влагозапаса над сушей, например, фактически требуется слишком много дополнительной информации об излучении подстилающей поверхности, и эту информацию неоткуда взять.
- Странно, что в диссертационной работе не приведена информация о зарубежных центрах данных (типа Remote Sensing Systems), занимающихся обработкой, хранением и распространением данных по влагозапасу атмосферы и водозапасу облаков. Эти данные, полученные на основании высокоточных методик, многократно верифицированы, их можно использовать для верификации собственных методов. Ну и, как минимум, они заслуживают упоминания в работе, существенная часть которой посвящена микроволновым данным и влагозапасу атмосферы.
- В диссертационной работе на рисунке 2.14 приведена краткая схема восстановления значений влагозапаса атмосферы, в которой присутствует этап внешней калибровки. Этот важнейший этап обработки данных измерений никак не раскрыт в работе. Непонятно, каким образом проводилась калибровка.
- Рисунки, показывающие зависимость влагозапаса атмосферы от номера профиля, малоинформативны. Почему вместо них не показать диаграмму разброса восстановленных по данным МТВЗА-ГЯ значений от значений по данным аэрологического зондирования? Как отличается ошибка над сушей от ошибки над морской водой? Почему из оптимального набора предикторов выпали каналы измерений на частоте 23,8 ГГц? Это не согласуется с физикой измерений и никак не комментируется в работе.
- То же самое замечание к рисункам 4.8-4.9.
- СКО 5,3 $\text{кг}/\text{м}^2$ – это очень большая ошибка, особенно если мы говорим о безоблачной атмосфере. По сути наше климатическое знание влагозапаса атмосферы более точное. Хотелось бы увидеть характеристики выборки, на которой рассчитывалось это СКО (среднее и СКО для ряда данных, использованных для валидации), чтобы понять, насколько более точную информацию о влагозапасе атмосферы мы получаем в итоге по данным измерений МТВЗА-ГЯ.
- Рисунок 4.11 дан в такой цветовой шкале, что различия между полем NCEP и полем влагозапаса по данным МТВЗА-ГЯ визуально не бросаются в глаза, хотя в реальности они очень большие. Непонятна при этом фраза «порядок значений совпадает». Что имеется в виду?

- Требования ВМО к определению влагозапаса – не 5 кг/м², а не более 5-15%.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненного диссертационного исследования и не влияют на высокую научную и практическую значимость полученных автором основных результатов.

Диссертационная работа Косторной А.А. соответствует паспорту специальности 25.00.29. Содержание диссертации, выдвинутые научные положения, сформулированные выводы и опубликованные работы дают основания заключить, что диссертация Косторной А.А. «Определение влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным российских метеорологических спутников» является законченной научно-квалификационной работой, полностью соответствующей требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Косторная А.А., заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание, опубликованные работы отражают основные результаты диссертационного исследования.

Доктор физико-математических наук
Ведущий научный сотрудник
Арктической лаборатории
Российского государственного
гидрометеорологического университета

Заболотских Елизавета Валериановна

25. 10. 2021

Российский государственный гидрометеорологический университет
192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79
<http://www.rshu.ru>
liza@rshu.ru
+7-812 3725085

Подпись Заболотских Елизаветы Валериановны заверяю

Начальник Управления по развитию
Научно-исследовательского гидрометеорологического университета
и научно-исследовательской работы
Геоктев Денис Валентинович