

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Лукьянова Александра Николаевича

на диссертационную работу Косторной Анжелики Андреевны

*«Определение влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным
российских метеорологических спутников»,*

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера

В диссертации Косторной А. А. «Определение влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным российских метеорологических спутников» представлены обзор спутниковых методов определения влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков, описание модифицированного автором метода определения этих параметров применительно к отечественным космическим аппаратам, а также результаты валидации усовершенствованной методики. Предложена методика восстановления влагосодержания безоблачной атмосферы, использующая спутниковые измерения в МКВ диапазоне.

Актуальность представленной диссертационной работы определяется тем, что в настоящее время спутниковые наблюдения являются основным источником информации о термодинамических параметрах атмосферы и её составе в глобальном масштабе. В современных методах усвоения данных в прогностических моделях спутниковая информация играет ключевую роль. Особенно это проявляется в Южном полушарии, где количество наземных станций наблюдений ограничено. Данные о влажности атмосферы крайне востребованы для изучения глобального гидрологического цикла и анализа причин экстремальных осадков, приводящих к наводнениям. Визуализация облачных систем широко используется для определения скорости и направления ветра, который, в частности, применяется для научного осадков. Кроме того, водяной пар является основным парниковым газом, оказывающим существенное влияние на радиационный баланс, циркуляцию атмосферы и климат. Наличие или отсутствие облаков также в значительной степени определяет перенос излучения в атмосфере. В этой связи информация о влагосодержании атмосферы и водозапасе облаков, а также их структуре и классификации является крайне актуальной.

Цель работы заключалась в разработке методик определения влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным приборов, установленных на космических аппаратах серии «Метеор-М», и последующей валидации этих методик. Разработка включала в себя модификацию существующей методики и её программную реализацию применительно к данным приборам.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 212 наименования и 5 приложений. Общий объем диссертации составляет 141 страницу. Диссертация содержит 42 рисунка и 13 таблиц.

Во **Введении** обозначена цель и дано обоснование актуальности диссертационной работы; определен круг решаемых задач; сформулированы выносимые на защиту положения; отмечены научная новизна и практическая значимость результатов; приведены сведения об апробации результатов.

В **Первой главе** проведен анализ методов определения влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по спутниковым измерениям. Рассмотрены физические принципы спутникового мониторинга, используемые в задачах определения влагосодержания, возможности приборов спутников серии «Метеор-М» и определены направления работ.

Во **Второй главе** описан используемый автором подход к определению влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков. Приводится обоснование и основные положения по модификации существующего алгоритма определения водозапаса облаков для использования его в системе Росгидромета. Описана разработанная Косторной А.А. методики определения влагосодержания безоблачной атмосферы по данным измерений МТВЗА-ГЯ.

Содержание **третьей** главы составляют результаты валидации методики детектирования облачности и определения ее характеристик. Проведена валидация результатов по данным наземной наблюдательной сети, по измерениям с космического аппарата CALIPSO, а также валидация рассчитанных характеристик облачности по измерениям доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С.

В **четвертой** главе представлены результаты валидации методики определения влагосодержания безоблачной атмосферы на основе регрессионной модели по данным микроволнового прибора МТВЗА-ГЯ. Для подтверждения правильности выбора комбинации спутниковых каналов, используемых в качестве предикторов регрессии, проводилось сопоставление с комбинацией каналов, полученных с помощью технологии машинного обучения «случайный лес» (random forest). Оказалось, что при машинном поиске минимум среднеквадратической ошибки определения влагосодержания атмосферы над морской поверхностью обеспечивает та же комбинация каналов, что и при поиске предикторов регрессионной модели.

В **заключении** обобщены основные результаты исследования.

Научная новизна представленных результатов состоит в создании комплексного алгоритма определения влагосодержания безоблачной атмосферы с одновременным использованием данных зондировщика и сканера с выбором каналов в зависимости от различных климатических зон и типов поверхности. Кроме того, разработана методика восстановления облачных параметров с одновременным применением двух независимых

подходов обработки спутниковой информации, что является дополнительной валидацией наблюдений, заложенной в сам алгоритм. Как следует из текста диссертации и автореферата, **личный вклад** соискателя в эти разработки, а также в подготовку и написание статей по данной тематике достаточно велик.

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами их валидации с использованием данных других спутниковых приборов, наземных данных радаров ДМРЛ-С и данных реанализа, чему посвящены две отдельные главы диссертации.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что полученные данные о влагосодержании атмосферы и водозапасе облаков могут быть использованы как для решения фундаментальных задач исследования атмосферы, так и для практических задач прогноза погоды и экстремальных осадков. В частности, совместные данные о влажности и облачности вдоль траекторий воздушных масс дают информацию о фазовых переходах атмосферной влаги в движущейся воздушной массе. Наиболее ярким примером глобального влагооборота являются так называемые «атмосферные реки», представляющие собой потоки влажных воздушных масс, возникающих в результате испарения в тропических широтах и распространяющихся в средние и высокие широты и вызывающих там обильные осадки и наводнения.

Для прогноза погоды на несколько суток спутниковая информация о влажности и облачности усваивается в прогностические модели, а в задачах научастинга осадков на несколько часов последовательные спутниковые снимки облачных систем используются для определения направления и силы ветра и последующей экстраполяции их перемещения. Спутниковая информация о влажности и облачности важна не только для исследования тропосферных погодных явлений, но и для анализа стратосферных процессов. В частности, информация о наличии и составе полярных стратосферных облаков играет важную роль для исследования процессов химического разрушения озона в полярном вихре.

В плане практического применения представленных методик следует отметить, что разработанные автором алгоритмы детектирования облаков уже в настоящее время внедрены в оперативную практику Сибирского центра ФГБУ «НИЦ «Планета».

Положения, выносимые на защиту, находят развернутое и аргументированное подтверждение в тексте диссертационной работы, а также в 23-х публикациях, 3 из которых изданы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных в действующем перечне Высшей аттестационной комиссией (ВАК), 16 публикаций в материалах международных, всероссийских, научно-практических и региональных конференций. Результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях по профилю диссертации. Получено 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Существенные недостатки в работе отсутствуют. В качестве замечаний можно отметить следующие:

В работе нет примеров совместного применения рассмотренной в разделе 2.1 методики определения водозапаса облаков по спутниковым измерениям с разработанной в 2.2 методикой восстановления влагосодержания безоблачной атмосферы при использовании одновременных измерений приборами МСУ-МР и МТВЗА-ГЯ, установленными на космическом аппарате «Метеор-М» №2.

Предложенная автором на основе регрессионных зависимостей методика восстановления влагосодержания безоблачной атмосферы позволяет проводить поиск оптимального набора каналов для расчетов влагосодержания по данным прибора МТВЗА-ГЯ. Работоспособность методики подтверждена сопоставлением с результатами метода машинного обучения (так называемый «случайный лес»), однако непонятно, в чем заключается ее преимущество?

В тексте диссертации встречаются опечатки (пропуски букв и слов, неправильная ссылка на номер формулы), не имеющие принципиального значения.

В целом, диссертационная работа «Определение влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным российских метеорологических спутников» соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842), а ее автор Косторная Анжелика Андреевна заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера.

К.ф-м.н , в.н.с ОФВСА ЦАО

Лукьянов Александр Николаевич

25.10.2021.

ФГБУ «Центральная Аэрометрическая Обсерватория»

141707, г. Долгопрудный, Московской области

ул. Первомайская, д. 3.

+7 (495) 408-61-48

<http://www.cao-rhms.ru/>

secretary@cao-rhms.ru

Подпись Лукьянова А.Н. заверяю.



Безрукова Наталья Александровна

