

Экз. №

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель начальника  
Военно-космической академии  
имени А. Ф. Можайского  
по учебной и научной работе  
доктор технических наук, профессор  
Ю.В. Кулешов

25 октября 2021 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации 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 гидросферы**

### Актуальность темы исследований

Отечественные космические аппараты (КА) серии «Метеор-М» имеют в своем составе микроволновой радиометр МТВЗА-ГЯ (Модуль Температурно-Влажностного Зондирования Атмосферы) и сканер МСУ-МР (Многозональное Сканирующее Устройство Малого Разрешения). Радиометр МТВЗА-ГЯ принимает собственное излучение Земли и атмосферы в 29 спектральных каналах, в том числе в полосах поглощения кислорода и водяного пара, которые могут использоваться для определения вертикальных профилей температуры влажности атмосферы даже при наличии облачности. МСУ-МР обеспечивает получение изображений в шести спектральных каналах с длинами волн от 0,6 до 12 мкм с высоким (1 км при наблюдении в nadir) пространственным разрешением, что позволяет определять балл и геометрическую структуру облачности. Таким образом, имеется возможность комплексного использования

бортовой целевой аппаратуры КА серии «Метеор-М» для влажностного зондирования атмосферы – детектирования и определения микроструктуры облаков с помощью сканера МСУ-МР и восстановления общего содержания водяного пара по данным радиометра МТВЗА-ГЯ. В связи с этим актуальность темы диссертации, связанной с разработкой методик для определения влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным аппаратуры отечественных КА, – сомнений не вызывает

### **Научная новизна**

Автором диссертации впервые разработана 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. В настоящее время для обработки результатов измерений с отечественных спутников в микроволновой области спектра отсутствуют надежные, прошедшие валидацию по наземным и аэрологическим измерениям методики определения влагосодержания атмосферы. Кроме того, для оценки надежности и точности технологий обработки данных различных КА в диссертации впервые разработана методика автоматического попиксельного сравнения оценок параметров облачных полей с учетом их изменчивости во времени и пространстве.

### **Научная и практическая значимость работы**

Разработанные автором методики и алгоритмы получения оценок влагосодержания атмосферы и влагозапаса облаков могут быть использованы для ассимиляции в региональных и мезомасштабных моделях прогноза погоды, для научастинга. Особенno важны достоверные спутниковые данные о параметрах облачности в исследованиях климата. Облачность – главный атмосферный фактор, регулирующий радиационный обмен между Землей и космосом, и во многом ответственный за климатические изменения.

Практическая значимость работы подтверждается решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета о целесообразности использования результатов расчетов модифицированных автором алгоритмов в оперативно

прогностической работе метеоподразделений. Разработанные автором методики и алгоритмы используются в повседневной деятельности ФГБУ «НИЦ «Планета», что подтверждается соответствующими актами.

### **Степень достоверности результатов**

Достоверность результатов исследований основана на использовании проверенных алгоритмов моделирования спутниковых измерений в микроволновой области электромагнитного спектра, обширной базой анализируемых данных и применением апробированных методов статистической обработки. Автором проведена тщательная валидация получаемых оценок параметров облачности, влагозапаса атмосферы и водозапаса по независимым наземным и спутниковым измерениям, включая радиолокационные и лидарные.

### **Апробация полученных результатов**

Основные выводы и результаты исследований докладывались на российских и международных научных конференциях, опубликованы в 23 работах, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных Высшей Аттестационной Комиссией. Автором получено 4 свидетельства РОСПАТЕНТА о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура диссертации.** Основной материал диссертации изложен на 141 странице, включая 42 рисунка и 13 таблиц. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 212 наименований, 5 приложений.

**Во введении** автором обоснована актуальность диссертационной работы, приведен анализ степени разработанности темы, сформулированы цели и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту. представлены научная новизна и практическая ценность, приведены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дано краткое описание различных методов, используемых для определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков по спутниковым измерениям. Автором проведен анализ большого количества

работ, рассмотрены физические принципы определения содержания воды в различных фазовых состояниях по измерениям в инфракрасной и микроволновой областях электромагнитного спектра. Даны основные характеристики гидрометеорологической аппаратуры, установленной на отечественных космических аппаратах серии «Метеор-М», и показана возможность комплексного использования бортовой целевой аппаратуры этих аппаратов для влажностного зондирования атмосферы

**Во второй главе** рассмотрены существующие алгоритмы детектирования и классификации облаков, раскрыты суть и содержание модификаций этих алгоритмов, предложенных автором, включая дополнительное разделение облачности на классы по величине водозапаса. В главе содержится также описание методики определения влагосодержания безоблачной атмосферы по измерениям микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ, позволяющая проводить адаптивный поиск оптимального набора каналов и находить наилучшие комбинации для различных климатических зон и типов поверхности.

**В третьей главе** приведены результаты валидации определения характеристик облачности по предложенной автором методики, используя данные наземной наблюдательной сети Росгидромета, спутникового лидара CALIOP и доплеровского метеорологического локатора ДМРЛ-С. В этой же главе дается описание и примеры использования разработанной автором оригинальной методики автоматического попиксельного сравнения облачных параметров, восстановленных двумя различными технологиями обработки спутниковых данных, для определения их достоверности и непротиворечивости.

**В четвертой главе** излагаются результаты валидации методики определения влагосодержания безоблачной атмосферы по измерениям прибора МТВЗА-ГЯ КА серии «Метеор-М». Правильность методики, включая определения оптимальных по точности определения влагосодержания атмосферы каналов прибора, подтверждается расчетами для специального набора тестовых моделей атмосферы, позволяющего оценить работоспособность методики в различных условиях измерений. Дополнительно проводилось сопоставление комбинации, выбранных по методике автора каналов прибора МТВЗА-ГЯ, с их комбинацией, полученной

по технологии машинного обучения. Проведенная валидация позволила автору обоснованно утверждать, что предложенная методика определения влагосодержания безоблачной атмосферы по измерениям в каналах прибора МТВЗА-ГЯ, позволяет проводить адаптивный поиск оптимального набора каналов для различных районов земного шара и находить наилучшие комбинации для различных климатических зон и типов поверхности. В главе показано, что ошибки определения влагосодержания, обусловленные ошибками фильтрации облачных пикселей, могут быть значительно уменьшены за счет проведения калибровок каналов МТВЗА-ГЯ и дополнительной селекции облаков с привлечением многозонального сканера МСУ-МР, обладающего гораздо более высоким чем МТВЗА-ГЯ высоким пространственным разрешением.

**В заключении** представлены основные результаты диссертации.

**Содержание автореферата** соответствует содержанию диссертации.

**Вместе с тем работа не лишена недостатков. Общие замечания.**

- 1.Обзор, приведенный в первой главе, несколько перегружен общеизвестными сведениями;
- 2.При валидации не выполнялись непосредственные сопоставления оценок водозапаса облаков по методике автора со значениями, полученными другими подобными методиками;
- 3.Методика определения влагосодержания требует задания коэффициентов излучения для подстилающей поверхности, которые на сушке сильно меняются в зависимости от типа поверхности.

**Заключение.** Отмеченные недостатки носят частный характер и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы в целом. Диссертация Косторной А. А. имеет научную ценность, теоретическую и практическую значимость, является законченной научно-квалификационной работой.

Работа выполнена на значительном фактическом материале с использованием современных методов исследований, соответствует цели, задачам и основной теме диссертации. Результаты исследований автор

илюстрирует таблицами и рисунками, внимательно и детально анализирует полученные данные. В работе чётко прослеживается личное участие автора в проведённых исследованиях, по каждой главе приводятся краткие выводы. Основные выводы, изложенные в заключении, логичны и полностью основаны на результатах проведённых исследований. Разработанные программные комплексы, методики и модификации были внедрены в оперативную и опытную эксплуатацию различными организациями Росгидромета, что подтверждается соответствующими свидетельствами о государственной регистрации программ, актами ФГБУ «НИЦ «Планета» и решениями ЦМКП Росгидромета.

Считаем, что диссертация Косторной А. А. «Определение влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков по данным российских метеорологических спутников», выполнена на высоком уровне и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с пп. 9-14 действующего Положения о порядке присуждения учёных степеней, а её автор Косторная А. А. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Отзыв составил

Профессор кафедры технологий и средств геофизического обеспечения  
Военно-космическая академии им. А. Ф. Можайского  
доктор физ.-мат. наук, профессор

Г. Г. Щукин

Отзыв обсужден и утвержден на семинаре кафедры технологий и средств геофизического обеспечения Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского

25 октября 2021 года, протокол №.27

Федеральное государственное бюджетное военное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского»

197198, Санкт-Петербург, Ждановская ул., 13  
e-mail: vka@mil.ru  
Телефоны: +7 (812) 347-97-70; +7 (812) 347-96-46