

Отзыв официального оппонента

Журавлевой Татьяны Борисовны

на диссертацию Филея Андрея Александровича «Восстановление параметров вулканического пепла по спутниковым данным», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы

Диссертационная работа Филея Ф.А. посвящена решению задач, связанных с восстановлением оптических и микрофизических характеристик вулканического пепла по данным дистанционного зондирования Земли из космоса.

Вулканические извержения являются источником выбросов в атмосферу аэрозольных частиц и малых газовых составляющих, приводящих к серьезным последствиям регионального и глобального масштаба. Это обуславливает необходимость постоянного мониторинга действующих вулканов и информирования соответствующих служб и ведомств об их координатах и параметрах. Незаменимым источником информации для решения таких задач являются данные дистанционного зондирования Земли, получаемые с использованием установленных на космических аппаратах (КА) приборов, обеспечивающих измерения в различных спектральных интервалах – от ультрафиолетового до инфракрасного.

Деятельность, связанная с восстановлением пространственных, микрофизических и оптических характеристик вулканического аэрозоля по данным спутниковым наблюдений, ведется различными исследовательскими группами во многих странах на протяжении последних 30 лет. Однако выполняемые под эгидой Всемирной Метеорологической Организацией сравнения показали, что разнообразие ситуаций, вызванных пространственно-временной трансформацией его массовых и микрофизических характеристик – с одной стороны, и несовершенство используемых для их восстановления алгоритмов – с другой стороны, является причиной значительных отличий в получаемых оценках. Это и определяет **актуальность** решаемой в диссертационной работе задачи - разработке алгоритмов и методик определения микрофизических, оптических и массовых характеристик вулканического пепла по спутниковым данным с учетом многокомпонентного состава вулканического облака.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов и заключения, списка литературы, содержащего 94 наименования. Материал диссертации изложен на 125 страницах, содержит 35 рисунков, 13 таблиц и приложение.

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

Основное содержание **Первой главы** составляет описание физических принципов спутникового мониторинга, используемых в задачах обнаружения вулканических облаков на фоне облачности и расчета основных параметров вулканического пепла с использованием активных (лазерный лидар CALIOP, установленный на КА CALOPSO) и пассивных (AVHRR, VIIRS, MODIS, SEVIRI и др.) спутниковых приборов.

Во **Второй главе** описан используемый автором подход к формированию оптических моделей вулканического облака, основанный на комбинации оптических моделей отдельных компонент (пепел, капли воды, капли H_2SO_4 , кристаллы льда). Указан диапазон входных параметров аэрозольных составляющих, и на основе разработанного автором программного обеспечения (PLANETA MIXING AEROSOL FRACTIONS) построены оптические модели вулканических облаков, состоящих из смешанных в различных пропорциях компонент. Приведена краткая характеристика общедоступных радиационных кодов (библиотека libRadtran), используемых для оценок интенсивности излучения на верхней границе атмосферы применительно к спектральным каналам спутниковых приборов.

Основное содержание **третьей главы** составляют оригинальные результаты, полученные в диссертационной работе - основные алгоритмы и методы расчета параметров вулканического пепла. В ней представлены разработанные автором схемы интеркалибровки коротковолновых каналов отечественных приборов МСУ-МР и МСУ-ГС. Для детектирования вулканического пепла предлагается использовать «пятиканальный алгоритм» (0,55, 1,6, 3,7, 11 и 12 мкм), результатом которого является построение *маски вулканических облаков*. На следующем шаге определяется *высота верхней границы* вулканического облака по данным измерений яркостной температуры в окне прозрачности атмосферы (11 и 12 мкм) совместно с прогностической информацией о вертикальном распределении температуры и содержания водяного пара в атмосфере. Расчет температуры на верхней границе облака базируется на решении обратной задачи. Основываясь на разработанных оптических моделях (глава 2), определяются *массовое содержание частиц пепла M_{aer} , оптическая толщина и эффективный размер частиц r_e* . Выбор модели определяется минимумом среднеквадратической невязки между рассчитанными и измеренными сигналами.

В **четвертой главе** представлены результаты валидации восстановленных параметров вулканического пепла с использованием данных спутниковых приборов SEVIRI, AVHRR, MODIS, АНИ, CALIOP, а также самолетных измерений во время извержения вулкана Эйяфьядлайекюдль (2010 г.). Согласно качественной оценке, «пятиканальный алгоритм» менее подвержен ложным сигналам по сравнению с традиционным методом «обратного поглощения». Показана высокая степень согласованности между восстановленными оценками M_{aer} и распределением частиц пепла в слое атмосферы с данными самолетных измерений.

Программный комплекс для восстановления параметров вулканического пепла по спутниковым данным PLANETA CALC VOLCANIC ASH описан в **пятой** главе.

В **заключении** обобщены основные результаты исследования.

Научная новизна работы состоит в создании (1) оригинального алгоритма детектирования вулканического пепла на фоне кристаллической и жидкокапельной облачности по спутниковым данным и (2) принципиально нового метода определения оптических и микрофизических характеристик пепла на основе измерений в видимых и ИК каналах спутниковых приборов; Кроме того, предложена схема внешней калибровки данных коротковолновых каналов спутниковых приборов российских КА гидрометеорологического назначения.

Среди основных **практически значимых** результатов исследования отметим разработку уникального программного обеспечения для оперативного восстановления параметров вулканического пепла (программный комплекс PLANETA CALC VOLCANIC ASH) и его апробацию на данных натурных измерений. Предложенные схемы внешней калибровки данных коротковолновых каналов спутниковых приборов MSU-MP (Метеор-М) и MSU-GS (Электро-Л) реализованы в виде программных продуктов PLANETA CALIBRATION MSU_MR и PLANETA CALIBRATION MSU_GS.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием физически и математически обоснованных методов исследования, качественным и количественным соответствием полученных оценок параметров вулканического облака и данных независимых самолетных и лидарных измерений.

Положения, выносимые на защиту, находят развернутое и аргументированное подтверждение в тексте диссертационной работы, а также в 9-ти публикациях, 7 из которых изданы в периодических научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus и входящих в список ВАК, а также 2 материалах конференций. Результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях по профилю диссертации. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Безусловным **достоинством** диссертационной работы Филея А.А. является создание программного комплекса, который работает в автоматическом режиме и включает в себя чтение данных спутникового прибора, детектирование вулканических облаков на базе оригинального пятиканального алгоритма, определение параметров пепла и представление этой информации оператору в виде растровых изображений или цифровых массивов. Работоспособность данного комплекса подтверждена в ходе сопоставления с результатами, полученными на

базе алгоритма «обратного поглощения», используемого для восстановления пепельной маски, а также лидарного зондирования и самолетных измерений характеристик вулканического облака. Полученные результаты свидетельствуют о перспективах настоящего исследования, прежде всего - возможности их использования применительно к результатам измерений расширяющейся группировки отечественных метеорологических спутников. В этом смысле научную и практическую ценность представляют результаты автора, связанные с разработкой и реализацией схем внешней калибровки коротковолновых каналов российских КА.

По моему мнению, в работе **нет существенных недостатков**, но ряд вопросов и замечаний, тем не менее, присутствует:

- Результаты восстановления характеристик на базе любого алгоритма характеризуются некоей неопределенностью. Знание этой величины становится особенно принципиальным при сравнении результатов, полученных на основе двух независимых алгоритмов. Если, например, речь идет о восстановлении верхней границы облака H_{cloud} , то следует указать неопределенность как результат работы представленного автором алгоритма, так и неопределенность, которая характеризует измерения с помощью лидара CALIOP.

- при описании решения обратной задачи приведена информация о том, какие начальные приближения использованы, а также оценки неопределенности прямой модели, однако отсутствует информация об источнике данных для получения дополнительных параметрах – профилях метеопараметров и концентраций атмосферных газов, которые влияют на точность методики. Автор пишет, что использованы данные прогнозирования (ЧПП GFS), но отсутствуют соответствующие ссылки, информация о временном и вертикальном разрешении и т.д. Каким образом организована работа с этими данными - особенно если предполагается использование оперативного режима?

- При восстановлении параметров вулканического пепла важнейшую роль играет выбор оптической модели. Чем руководствовался автор, выбирая пропорции компонентов смеси (судя по тексту, это были двухкомпонентные смеси и пропорции 50%-50% и 30%-70%)?

- Какая модель кристаллического облака (формы и размеры частиц) использовалась при построении оптической модели?

- При демонстрации возможностей комплекса автор приводит сопоставления своих результатов с лидарными и самолетными данными. С чем связано отсутствие сравнений, полученных другими авторами по данным спутникового зондирования?

Сделанные замечания не умаляют достоинств исследования Филея А.А. При выполнении диссертационной работы он проявил себя как эрудированный и самостоятельный исследователь, способный освоить решение такие разноплановых задач как работа с данными дистанционного зондирования, решение обратных

задач, разработка сложных программных комплексов, совместный анализ модельных расчетов и результатов измерений и т.д.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Филей Андрея Александровича «Восстановление параметров вулканического пепла по спутниковым данным» является законченной научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям п. п. 9-11 «Положения о порядке присвоения ученых степеней» № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. Автор диссертации Филей А.А. безусловно заслуживает присвоение ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика, старший научный сотрудник,
ведущий научный сотрудник лаборатории атмосферной радиации
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук

Журавлева Татьяна Борисовна

28 сентября 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1.

Сайт www.iao.ru

E-mail: ztb@iao.ru

Тел: (3822) 492875

Подпись Журавлевой Т.Б. заверяю
Ученый секретарь ИОА СО РАН,
к.ф.-м.н.

Тихомирова Ольга Владимировна (E-mail: science@iao.ru)

