

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Колготина Алексея Викторовича «Методика решения задач многоволнового лидарного зондирования в применении к глобальному мониторингу параметров атмосферных аэрозолей», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология.

### **Актуальность темы выполненной работы, её связь с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства**

Развитие дистанционных методов зондирования атмосферного аэрозоля с учетом требований современности требует от исследователя нового подхода как к созданию аппаратных и методологических средств зондирования, так и к изучению физических процессов, ответственных за формирование и трансформацию свойств аэрозольных полей атмосферы с учетом взаимосвязи оптических и микрофизических свойств аэрозольных частиц. Актуальность представленной диссертационной работы определена уже самим объектом исследования – атмосферным аэрозолем, наиболее динамичной компонентой атмосферы и ответственной за радиационный перенос и массообмен в системе атмосфера-подстилающая поверхность. Диссертационная работа актуальна и с точки зрения развития и совершенствования дистанционных методов оценки параметров атмосферных аэрозолей по лидарным измерениям коэффициентов обратного рассеяния, ослабления и деполяризации в отсутствии априорной информации о форме, показателе преломления и распределении аэрозолей по размерам. Востребованность лидарных технологий определяется высоким пространственным и временным разрешением измерений и перспективой их использования на спутниковых платформах для получения информации о радиационных процессах в глобальных масштабах Земли. Тема диссертационной работы Колготина А.В. соответствует Перечню критических технологий Российской Федерации, а именно пункту 19 – «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения» в соответствии с Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011.

### **Общая методология и методика исследования**

Рассматривая общеметодологические аспекты диссертационной работы, следует отметить, что автор в процессе поиска путей исследования опирается на сложившиеся методики восстановления оптических характеристик атмосферного аэрозоля по данным многоволнового лидарного зондирования. Отправной точкой его исследований является ограниченный набор оптических характеристик атмосферного аэрозоля – коэффициенты обратного рассеяния и коэффициенты ослабления соответственно для трех и двух длин волн лидарного зондирования. Цель исследований, сформулированная в диссертационной работе, состоит в разработке методик оценки



микрофизических характеристик аэрозоля, для достижения которой автором работы установлены целевые параметры в виде оценок величины комплексного показателя преломления, функции распределения аэрозольных частиц по размеру, числовой и объемной концентрации аэрозоля, альбедо однократного рассеяния и др. с учетом их вертикального распределения.

Точки ветвления исследовательской работы сопряжены с различием радиационных свойств отдельных типов аэрозоля и их комбинаций, оптимизацией вычислительных процедур в зависимости от уровня доступной информации. Выходной пункт, фиксирующий завершение исследований, обозначен в виде пяти сформулированных защищаемых положений.

Методика исследования включает совокупность теоретических и эмпирических методов исследований, оценку погрешностей измерений и расчетов, методы численного решения задач рассеяния света малыми частицами регулярной и нерегулярной форм, методы математического моделирования. Сравнительный анализ результатов обработки лидарных данных по разработанной автором методике с результатами солнечной фотометрии и локального отбора проб с борта самолета убедительно демонстрирует сходимость результатов, полученных в различных атмосферных условиях и в различных географических районах. Логичное и рациональное планирование теоретической и экспериментальной части диссертационного исследования с использованием современного математического аппарата и лучших образцов лидарной техники с последующим анализом результатов, обобщением и формулировкой выводов позволили автору успешно достичь поставленной цели.

### **Внутренне единство структуры работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключительной части с основными результатами и выводами, списка используемых литературных источников из 175 наименований и двух приложений, содержащих информацию о внедрении результатов диссертации, содержание диссертации изложено на 211 страницах, включая 11 таблиц и 49 рисунков.

Последовательность выполнения исследований в соответствии с выбранными автором методологическими схемами в совокупности с логичностью изложения материала обеспечили внутренне структурное единство диссертационной работы Колготина А. В. Так, автор после краткого введения с обоснованием актуальности, обзора существующих исследований в предметной области диссертационной работы, определения цели исследований, описания научной новизны и практической ценности работы в первой главе диссертации привел чёткое описание общих принципов лидарного зондирования и сформулировал задачи многоволнового лидарного зондирования применительно к мониторингу параметров атмосферного аэрозоля в общем виде. Строгая же постановка задач, анализ, выбор и обоснование методов их решения представлены в трех последующих главах, посвященных разработке алгоритмов восстановления целевых



микроструктурных параметров атмосферного аэрозоля из данных лидарного зондирования. Особо следует отметить просто «математически» выстроенную строгую и четкую структуру каждой из глав, проявляющуюся как в количестве, так и в функциональной направленности тематических подразделов. Так, каждая глава, начинаясь с преамбулы, в которой автор кратко обосновывает необходимость проведения исследований в их связи с полученными ранее результатами, имеет следующие функциональные блоки: концептуальная и математическая модели, строгая постановка задачи и результат ее решения, численная реализация результата и численный эксперимент, выводы к главе.

Логическим завершением диссертационных исследований являются результаты верификации разработанных алгоритмов, представленные в заключительной 5 главе.

### **Соответствие полученных результатов поставленной цели и задачам**

В связи с поставленной целью работы автором во второй главе строится математическая модель, основанная на рассеянии падающего излучения частицами, представляющими собой смесь сфер и случайно ориентированных сфероидов. В рамках построенной математической модели исследуется решение прямой задачи, анализируется адекватность модели путем сравнения полученного решения прямой задачи с экспериментальными данными, формулируется обратная задача, выбирается метод её решения, проводится его обоснование и оценка точности.

В третьей главе предлагается подход, в котором в качестве исходной информации для обратной задачи многоволнового лидарного зондирования служит целый профиль оптических данных, используемый для восстановления соответствующего профиля микрофизических параметров аэрозолей. В связи с этим обобщается одномерная математическая модель, полученная в предыдущей главе, на двумерный случай, формализуется двумерная концепция обратной задачи, разрабатывается регуляризирующий алгоритм ее решения, в котором сглаживающий функционал позволяет стабилизировать решение в двух направлениях одновременно: по размеру частиц и по дистанции зондирования.

В четвертой главе предлагается и исследуется устойчивый метод линейной оценки интегральных параметров аэрозолей по данным многоволнового лидарного зондирования, альтернативный традиционным методам, использующим регуляризацию решения по Тихонову. На основе альтернативного метода разработан быстрый алгоритм линейной оценки поля интегральных параметров аэрозолей, таких как эффективного размера, общей концентрации, площади поверхности и объёма, а также поля комплексного показателя преломления, коэффициентов рассеяния и поглощения, альbedo однократного рассеяния, применимый для обработки большого объёма данных лидарного зондирования. Показано, что данная информация позволяет



исследовать пространственно-временное поведение частиц и динамику процессов, протекающих в атмосфере.

В пятой главе проводится анализу результатов, полученных разработанными алгоритмами при обработке данных лидарного зондирования, приобретенных в ходе крупных экспериментов в различных географических условиях и для различных источников происхождения аэрозолей. То, что в рамках этих экспериментов одновременно с лидарными измерениями использовались пассивные методы измерений и локальный забор проб, позволило провести объективное сравнение результатов и подтвердить корректность и обоснованность идей, реализованных в исследуемых алгоритмах.

В итоге весьма внушительного объёма теоретических и экспериментальных работ, сопоставления полученных данных и их анализа автор обобщает полученные результаты, делает 8 основных выводов и формулирует 5 защищаемых положений, чем и осуществляется достижение поставленной цели.

#### **Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ**

По теме диссертации автором опубликованы 19 научных работ в ведущих зарубежных и Российских журналах: 8 работ в Applied Optics, 3 работы в Atmospheric Measurement Techniques, по 2 работы в Journal of Geophysical Research и Atmospheric Chemistry and Physics, по одной работе в Atmospheric Environment и Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2 работы в журнале Измерительная техника.

Научные труды издавались в течение 12 лет, автор последовательно ежегодно предоставлял результаты диссертационного исследования научному сообществу. Содержание диссертации в полной мере отражено в научных трудах, при этом изложение материалов диссертации произведено на высоком научном уровне.

#### **Значение выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, для науки и практики**

Прикладная составляющая результатов, полученных в диссертационной работе, очень хорошо просматривается во всех основных выводах и защищаемых положениях, сформулированных автором. В первую очередь следует отметить разработанную им методику оценки параметров атмосферных аэрозолей по данным лидарного зондирования, основанную на четырех основных компонентах – математической модели радиационных свойств ансамбля аэрозолей и трех алгоритмах восстановления параметров аэрозолей с различной степенью детализации их свойств и скорости обработки информации. Об инновационном потенциале методики и ее востребованности говорит уже список организаций, внедривших методику в практику своей работы: ЦФПИОФАН (Троицк, акт выполненных работ № 1-11 от 11.01.2011), Институт лазерной техники и технологий (С.-Петербург, акт выполненных



работ № 1505-12 от 15.05.2012 г.), Мармарский Исследовательский Центр (Турция, акт выполненных работ №1-10 от 11.05.2010), ИТИ (Германия), ГИНТ (Ю. Корея), АНТУ (Греция) и пр. Кроме того, «разработка отечественной технологии лидарного зондирования Земли из космоса в целях обеспечения получения информации... об аэрозолях и облаках ...» включена в список приоритетных задач технологической платформы Национальная Информационная Спутниковая Система (НИСС). В этом плане третий алгоритм линейной оценки, оптимизированный автором в отношении скорости обработки информации и уменьшения измерительных каналов лидарного зондирования, является существенным вкладом в разработку и развитие технологий лидарного зондирования атмосферы со спутниковых платформ. Говоря о востребованности результатов диссертационной работы Колготина А.В., нельзя не упомянуть и математическую модель радиационных свойств ансамбля сферических и не сферических частиц, потенциал которой может быть использован в решении не только обратных, но и прямых задач переноса излучения в атмосфере. Например, для решения проблемы атмосферной коррекции спутниковых данных по цвету морской поверхности в присутствии в атмосфере пылевого аэрозоля, частицы которого обладают большой степенью не сферичности. Замечу, что отсутствие адекватных моделей аэрозоля в блоках атмосферной коррекции спутниковых алгоритмов, - одна из основных причин кратных и многократных погрешностей спутниковых измерений.

#### **Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

В результате анализа большого объёма имеющихся литературных источников, автор произвёл необходимую выборку и синтез полученной информации, выполнил сравнения и произвёл обобщения и предложил своё оригинальное решение поставленных задач, умело используя при этом теоретические выкладки и экспериментальные данные, что в совокупности с апробацией результатов работы в научных статьях и на конференциях международного уровня определяет достоверность результатов.

Все основные 8 выводов сделаны в итоге многолетней работы, результаты которой многократно были представлены для обсуждения и получили положительную оценку на 11 научных международных конференциях и симпозиумах по лазерным радарам (№20-26), тропосферным измерениям (№6-8) и радиации (№8). Ведущими научными организациями как отечественными, так и зарубежными, представлены положительные отзывы, подтверждающие эффективность предлагаемого программного комплекса, разработанного автором работы на основе его методики.

Сформулированные автором 5 научных положений, которые базируются на полученных выводах, имеют высокую степень обоснованности и достоверность их не вызывает сомнений.



## **Научная новизна полученных результатов**

Говоря о научной новизне результатов, нельзя не согласиться с мнением автора и его собственной оценкой и формулировками, представленными в 8 пунктах перечня. Особую ценность, на мой взгляд, имеет математическая модель радиационных свойств ансамбля аэрозольных частиц, состоящего из смеси сферических и не сферических частиц. Эта модель позволила автору разработать серию алгоритмов восстановления характеристик атмосферного аэрозоля и впервые получить наиболее полное описание пространственно-временной изменчивости полей оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в серии натурных экспериментов. Новизна подходов к решению задач обращения оптических данных лидарного зондирования позволила автору впервые определить оптимальный набор оптических данных и минимальную конфигурацию лидара для оценки физических параметров аэрозолей с точностью, достаточной для климатологических исследований.

Представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук диссертационная работа Колготина А.В. несомненно представляет научный интерес, отражающий существенный вклад автора в развиваемое направление, результаты её могут быть использованы в науке и на практике, работа содержит ряд научных выводов, обладающих новизной и представляющих практический интерес, но возникают и некоторые вопросы по изложению текста диссертационной работы, в связи с чем ниже приводятся замечания по диссертационной работе.

### **Критические замечания:**

1. Если в автореферате список работ по теме диссертации выполнен очень аккуратно и в одном стандарте оформления ссылок с сортировкой работ по времени их публикаций, то в библиографическом списке публикаций самой диссертационной работы отсутствует приверженность автора к какому-либо одному стандарту оформления. Представлен широчайший спектр стандартов, отражающий, вероятно, временную изменчивость требований к оформлению за весь период работы по теме диссертации. Кроме того, было бы разумно сортировать список публикаций с учетом порядка возникновения ссылок на работы в теле диссертации.
2. В двух местах диссертации дается разное определение степени деполяризации зондирующего излучения (формулы 8 на стр.19 и 27 на стр. 47). Первая формула ошибочна (описка), а вторая представляет приближенное значение степени деполяризации и это следовало бы указать.
3. Не совсем понятно (стр. 53) откуда следует утверждение, что набор из 8 базисных функций, аппроксимирующих функцию распределения по размерам, достаточен и «позволяет пренебречь ошибкой аппроксимации при решении обратной задачи».



4. В пункте 2.6. при описании численной реализации регуляризующего алгоритма не указано, каким именно образом производится выбор параметра регуляризации  $\gamma$ , что принципиально важно для работы данного алгоритма.
5. В пункте 3.4 на странице 86 ошибочно приведена ссылка на первую главу диссертации, а именно - на последовательность шагов одномерного регуляризующего алгоритма решения обратной задачи. На самом деле алгоритм рассматривается во второй главе, а сама последовательность приводится в пункте 2.5.
6. Поскольку погрешность восстановления целевой функции и целевых параметров по данным лидарного зондирования главным образом обусловлена неопределенностью оценки показателя преломления, приводящей к появлению множественных минимумов модифицированной невязки в окрестности глобального минимума, то для сокращения числа локальных минимумов разумно было бы проанализировать возможность привлечения дополнительной информации об оптических характеристиках аэрозоля в более широком оптическом диапазоне. Об этом говорится в диссертационной работе, но не указана причина отсутствия работ в этом направлении. Эффективным может оказаться увеличение набора коэффициентов (правая часть уравнения Фредгольма) за счет привлечения фотометрических данных. Так, современные фотометры позволяют получать информацию об аэрозольной оптической толщине в диапазоне 0.3-3 мкм и существуют теоретические расчеты, показывающие, что при совместном использовании лидарных и фотометрических наблюдений некоторые «ложные» минимумы взаимно уничтожаются даже при погрешностях оптических измерений порядка 20%. Существуют ли принципиальные трудности в применении такого подхода?
7. Несколько замечаний в отношении представления графической информации в главе 5, посвященной анализу работоспособности алгоритмов на основе сравнения полученных различными методами и инструментами результатов:
  - каждый из графиков (рисунки 38, 39, 41, 42) имеет множество подразделов, от 5 до 6 полей, что приводит к тому, что описание и анализ графической информации растягивается не менее чем на 5 – 6 страниц текста и с трудом воспринимается читателем. Следовало бы «разбить» графики на отдельные рисунки, тем более, что каждый из подразделов анализируется отдельно и нет ограничений на количество рисунков;
  - некоторые из графиков содержат полезную вспомогательную информацию в виде выделенных цветом областей и интервалов, описание которых присутствует в тексте работы, но на достаточно большом удалении от графиков. Следовало бы разместить информацию о них в подрисуночных подписях;



- практически на всех графиках распределения аэрозоля по размерам (РАР), восстановленных по данным лидарных и фотометрических измерений, отсутствуют погрешности восстановления, что не позволяет провести их сравнение.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям**

Считаю, что диссертационная работа Колготина Алексея Викторовича «Методика решения задач многоволнового лидарного зондирования в применении к глобальному мониторингу параметров атмосферных аэрозолей» соответствует пунктам 1, 8, 12 паспорта специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология и требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 метеорология, климатология, агрометеорология.

Заведующий лабораторией лазерных методов исследования вещества Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, д.ф.-м.н. , домашний адрес: Владивосток, ул. Гамарника 16, кв.89; м. тел.: 89146526 177

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую обработку.

18.04.2014



Павлов Андрей Николаевич

**«ЗАВЕРЯЮ»**  
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ **ИАПУ ДВО РАН**  
КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦЕНТ

