

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

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**

В диссертационной работе Колготина Алексея Викторовича разрабатываются новые методики обработки данных лидарного зондирования атмосферы для получения параметров атмосферного аэрозоля.

Аэрозоль играет существенную роль в атмосферных процессах. Например, при формировании радиационного бюджета планеты и ее отдельных регионов, его воздействие на радиационный баланс в целом противоположно воздействию парникового эффекта. В то время как парниковые газы уменьшают радиационную эмиссию Земли, вызывая общее потепление, аэрозольное рассеяние наоборот ведет к охлаждению поверхности. При этом, важной особенностью аэрозоля является его большая пространственная и временная изменчивость, значительно более сильная, чем у газов, а также необходимость описания аэрозолей большим числом микрофизических параметров, в отличие от газов, где достаточно знать лишь концентрацию. Таким образом, для более точного учета влияния аэрозолей на климат Земли и ее регионов, необходима глобальная долговременная достоверная количественная информация о временных и пространственных вариациях их микрофизических параметров, т.е. постоянный глобальный мониторинг атмосферных аэрозолей. Отметим также, что помимо климатических задач, мониторинг аэрозоля крайне важен и для экологии, т.к. антропогенный аэрозоль является существенным загрязнителем окружающей среды.

Решение данной проблемы возможно благодаря применению дистанционных методов зондирования. Одним из перспективных инструментов дистанционного зондирования является лидар. Преимущество использования

лидара состоит в том, что он позволяет проводить измерения с высоким разрешением по высоте, работать как в дневное, так и в ночное время суток.

За последние годы достигнут значительный прогресс в создании лидарных систем и алгоритмов обработки их данных для оценок параметров аэрозоля. Однако, решены далеко не все проблемы лидарного мониторинга аэрозоля. Наиболее сложные из них связаны с незначительным объемом исходной информации лидарных систем, а также с существенными приближениями и ограничениями, используемыми в алгоритмах обработки данных (предположения сферичности частиц и фиксированного показателя преломления).

Таким образом, проблемы лидарного зондирования аэрозоля требуют дальнейшего теоретического обоснования и экспериментальной отработки, следовательно, тема диссертации, направленная на разработку методик лидарного зондирования, позволяющих получать более полную, лишенную традиционных ограничений, достоверную, комплексную информацию о микрофизических характеристиках аэрозоля, является актуальной.

Основной целью работы является разработка методики оценки параметров атмосферных аэрозолей по лидарным измерениям коэффициентов обратного рассеяния, ослабления и деполяризации в условиях ограниченного числа длин волн, высокой измерительной погрешности. При этом Колготин А.В. рассматривает, как подлежащий определению, весь комплекс параметров, характеризующих атмосферный аэрозоль: комплексный показатель преломления, функцию распределения частиц по размерам, концентрацию частиц, параметр несферичности. Такой комплексный подход является несомненным достоинством диссертационной работы. Важное место при исследовании отводится построению математической модели задачи и её различных модификаций, обусловленных особенностями лидарного метода дистанционного зондирования.

В одномерном случае, когда рассматриваются фиксированные дальность и момент времени зондирования, построена математическая модель, в которой распределение аэрозолей по размерам представляется в виде совокупности двух фракций, при этом одна из фракций образована частицами сферической формы, а другая – случайно ориентированными сфероидами с некоторой долей в общем объеме. Для расчетов оптических характеристик сферических частиц

используются хорошо известные классические алгоритмы теории Ми, для несферических автор использует результаты, полученные в работах М.И. Мищенко, причем проводит ряд оценок их адекватности.

Важной особенностью разработанного одномерного регуляризирующего алгоритма, использующего модель сфер и случайно ориентированных сфероидов, является возможность учитывать деполяризацию излучения в качестве исходной информации. При оценке параметров аэрозолей это представляется как новый шаг в развитии лидарных методов дистанционного зондирования. Автор показывает, что оптимальный набор для решения рассматриваемых задач лидарного зондирования с погрешностью измерений около 10% включает три коэффициента обратного рассеяния, два коэффициентов ослабления и одну деполяризацию излучения. В этом случае точность восстановления целевых параметров аэрозолей сопоставима с точностью, которая достигнута в более ранних исследованиях при оценке параметров только сферических частиц.

Существенной особенностью одномерного регуляризирующего алгоритма также является то, что он позволяет учитывать в расчетах комплексный показатель преломления, зависящий от длины волны. Это обеспечивает повышение точности оценки параметров аэрозолей.

При построении следующей, двумерной, модификации математической модели рассматриваемой задачи, автор использует одно из преимуществ, которое реализуется при лидарном зондировании, а именно: измерение данных с высоким разрешением по высоте. Для этого вводится понятие двумерного распределения аэрозолей по размерам и по дистанции зондирования. Диссертантом предложена модификация алгоритма, позволяющая повысить точность восстановления профиля параметров аэрозолей одновременно по размеру частиц и по дистанции зондирования.

Еще одна модификация математической модели, построенная автором, обусловлена тем обстоятельством, что лидары измеряют данные не только с высоким разрешением по высоте, но и по времени. Оценка поведения параметров аэрозолей при описании высотно-временного распределения является важным при изучении динамики процессов, протекающих в атмосфере.

Следующим существенным достижением диссертанта является разработка быстрого алгоритма 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, альбедо однократного рассеяния, применимого для обработки большого объёма данных лидарного зондирования. Получаемая в результате информация позволяет исследовать пространственно-временное поведение частиц и динамику процессов, протекающих в атмосфере.

В целях апробации разработанной методики, она применялась для обработки данных лидарного зондирования, полученных в ходе крупных экспериментов, в различных условиях, географических районах, для аэрозолей разного типа и происхождения. В частности, минеральной пыли, продуктов горения биомассы, аэрозолей континентального и антропогенного происхождения. Для контроля точности результатов лидарного зондирования использовались данные, полученные одновременно с помощью пассивного зондирования солнечным радиометром, а также путем локального забора проб с борта самолета. В целом, продемонстрирована сходимости в оценках параметров аэрозолей, полученных всеми тремя способами.

Таким образом, можно констатировать разработку диссертантом новых методик и конкретных алгоритмов обработки данных лидарного зондирования в плане определения всего комплекса параметров атмосферного аэрозоля, а также их успешное применение в реальных экспериментах с возможностью контроля иными методами. Существенным достижением Колготина А.В., подтверждающим высокий научный уровень рассматриваемой работы, является внедрение в ряде отечественных и зарубежных организаций программного обеспечения лидарных систем, разработанного на базе созданных алгоритмов.

Положения и выводы диссертации являются полностью научно обоснованными. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием строгого математического аппарата для расчета оптических характеристик аэрозолей и решения некорректных обратных задач дистанционного зондирования, оценкой погрешности результатов обработки экспериментов, их сравнением с данными независимых измерений.

Результаты диссертационной работы Колготина Алексея Викторовича несомненно обладают научной новизной. К основным из таковых можно отнести: (1) математическую модель многоволнового лидарного зондирования, включающую несферические частицы; (2) методику одновременного

восстановления спектра размера и вертикального профиля аэрозольных частиц; (3) быстрый алгоритм обработки временных рядов данных лидарного зондирования; (4) алгоритм распознавания несферических частиц аэрозоля; (5) метод коррекции результатов обработки данных лидарного зондирования, учитывающий спектральную зависимость показателя преломления аэрозольного вещества.

Следует отметить большую научную и практическую значимость полученных результатов: разработанные методики и алгоритмы обработки данных могут быть использованы (и уже используются!) в самых различных системах лидарного зондирования: стационарных, передвижных, спутниковых.

Замечания.

1. При решении обратной задачи оптики аэрозолей автор использует традиционный подход, основанный на непосредственном восстановлении функции распределения аэрозольных частиц по размерам. Эта функция представляется в виде дискретной параметризации, причем восстановить удастся не более восьми ее интервальных значений (стр. 49 диссертации). Вместе с тем, существует альтернативный подход, развиваемый в работах М.М. Кугейко с соавторами (см., например, статью “Васильев А.В., Ивлев Л.С., Кугейко М.М., Лысенко С.А., Терехин Н.Ю. Оценка точности контрольных измерений в задачах оптической диагностики микрофизических параметров аэрозоля. Оптика атмосферы и океана. 2009, т. 22, N 9, с.873-881). Он основан на использовании априорной статистической аэрозольной модели и восстановлении ее параметров, в частности, аналитически описывающих функцию распределения. Диссертант, однако, не упоминает указанный подход, не проводит критического анализа соответствующих работ, не обосновывает преимущества методов, используемых в диссертации.

2. На стр.2 автореферата диссертант утверждает, что “отсутствует априорная информация о распределении аэрозолей по размерам, комплексном показателе преломления”, но тут же, противореча сам себе, приводит диапазоны их вариаций. Это и есть априорная информация! Отметим, что задачи интерпретации оптических измерений в атмосфере соответствующего уровня сложности не могут быть решены без привлечения априорной информации. В диссертации таковой являются: значения параметров, для которых

рассчитывается банк данных, предположения о непрерывности и гладкости восстанавливаемых функций и т.д.

3. Изложение гл.5, посвященной проверке достоверности применения разработанных методик путем их использования в реальных экспериментах, перегружено деталями и сложно для восприятия. В разделах 5.1 – 5.3 говорится о трудностях и проблемах применения методик, о подборе их параметров. А ведь предыдущие главы позволяли надеяться, что все алгоритмы доведены до автоматизма. Следовало бы сосредоточить основное внимание в этой главе именно на сравнении результатов, четко выделяя достоинства предлагаемых методик.

4. Необходимо сделать ряд стилистических замечаний. В диссертации пять глав, а в автореферате в секции “Содержание работы” их четыре (объединены первая и вторая главы). В формуле (15) не объяснен смысл усреднения ядер с некоторой функцией, он становится понятен значительно позже (формула (32)); аналогичный недостаток и в автореферате (формулы (8) и (18)). На рис.38-40 диссертации не показаны погрешности восстановленных функций распределения аэрозольных частиц по размерам.

Указанные замечания не влияют на благоприятное, в целом, впечатление от работы, не снижают высокой научной ценности результатов диссертации и не ставят под сомнение выводы и положения диссертационной работы.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Диссертантом решена крупная научная задача разработки методик комплексного исследования атмосферных аэрозолей в методах лидарного зондирования, имеющая важное научное и хозяйственное значение, совокупность полученных результатов можно квалифицировать как крупное научное достижение в области физики атмосферы, метеорологии, климатологии и агрометеорологии.

Диссертационная работа Колготина Алексея Викторовича соответствует пунктам 1, 8, 12 паспорта специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология. Диссертация отвечает 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.

Доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник, доцент
кафедры физики атмосферы физического
факультета Санкт-Петербургского
государственного университета (СПбГУ)



А.В. Васильев