

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт физики атмосферы
им. А.М. Обухова Российской академии наук,
академик РАН

Семёнов В.А.

«03» сентября 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова
Российской академии наук на диссертационную работу Касьяника Никиты
Ивановича «Определение физических параметров атмосферного аэрозоля на
основе измерений многоволнового рамановского и флуоресцентного
лидаров» представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Актуальность диссертационной работы определяется важностью разработки лазерных методов дистанционного мониторинга параметров атмосферного аэрозоля. Аэрозоль оказывает существенное воздействие на радиационный баланс планеты и на окружающую среду, и лидарные методы предоставляют уникальную возможность проводить этот мониторинг с высоким высотно-временным разрешением. Для увеличения объема получаемой информации о физических параметрах аэрозоля зондирование обычно производится на нескольких длинах волн, при этом регистрируются компоненты излучения, соответствующие как упругому рассеянию света, так и рамановскому рассеянию на молекулах азота. Дополнительная информация, требуемая для определения типа аэрозоля, может быть получена при детектировании лазерно-индуцированной флуоресценции аэрозоля. Интенсивные исследования флуоресцентных свойств аэрозоля начались относительно недавно, и прогресс в этой области в значительной степени был обусловлен работами, проводимыми в Центре физического

приборостроения ИОФ РАН. Диссертационная работа Касьяника Никиты Ивановича является важным шагом в развитии этих исследований.

Связь с планами научных исследований. Результаты, полученные в диссертационной работе Касьяника Н.И., использовались в рамках работ по темам государственного задания проекта «Жизнь» (FFWF-2023-0005) и проекта «Фотон» (FFWF-2023-0001). Созданный при участии диссертанта 5-канальный флуоресцентный лидар найдет применение в исследованиях, связанных с анализом свойств атмосферного аэрозоля и изучением процессов его взаимодействия с облаками.

Содержание работы

Диссертационная работа Касьяника Никиты Ивановича посвящена разработке методов анализа состава аэрозольных смесей на основе анализа флуоресцентных и поляризационных лидарных измерений, а также исследованию флуоресценции аэрозоля лидаром с пятью дискретными флуоресцентными каналами. Работа изложена на 138 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы, включающего 90 источников. Диссертационная работа иллюстрирована 67 рисунками.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируются цели и задачи работы, приводятся положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится обзор литературы по лидарным измерениям лазерно-индуцированной флуоресценции аэрозолей и их классификации.

Во второй главе описаны методы анализа лидарных измерений. Приводятся основные выражения для расчета коэффициентов экстинкции и обратного рассеяния аэрозолей с помощью рамановского лидара. Описаны подходы к анализу лидарных измерений флуоресценции.

В третьей главе приводится алгоритм анализа состава аэрозольных смесей с использованием коэффициента деполяризации лазерного излучения и эффективности флуоресценции. Разработанный алгоритм используется для

анализа измерений, проводимых в 2022-2023 годах на лидаре с одним каналом флуоресценции.

В четвертой главе исследуется коэффициент деполаризации флуоресценции для различных типов аэрозоля. Предложен метод оценки погрешностей измерения водяного пара рамановским лидаром, обусловленных флуоресценцией аэрозоля, на основе измерения коэффициента деполаризации рамановского сигнала водяного пара. Метод использован при анализе измерений водяного пара в присутствии дымовых шлейфов в верхней тропосфере.

В пятой главе исследуется спектр флуоресценции аэрозолей с помощью пятиканального флуоресцентного лидара, созданного в процессе выполнения диссертационной работы. Показано, что городской аэрозоль и дым имеют различные спектры флуоресценции. В случае городского аэрозоля интенсивность флуоресценции уменьшается с увеличением длины волны, в то время как спектр флуоресценции дыма имеет максимум в канале 513 нм для средней тропосферы и в канале 560 нм для верхней тропосферы. Различия спектров флуоресценции городского аэрозоля и дыма были использованы для разделения их вкладов в полный коэффициент обратного флуоресцентного рассеяния.

В заключении автором сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы. В диссертационной работе Н.И. Касьяника получен целый ряд новых научных результатов и сформулировано 6 защищаемых положений. Создан 5-канальный флуоресцентно-рамановский лидар и выполнены измерения коэффициентов деполаризации и эффективности основных типов аэрозоля, в том числе, дымового, пылевого и городского аэрозоля, а также растительной пыльцы (первое защищаемое положение). Представлены впервые измеренные спектры флуоресценции и коэффициенты деполаризации различных типов аэрозоля в широком диапазоне высот. Показано, что сечение флуоресценции городского аэрозоля

уменьшается с ростом длины волны, а сечение флуоресценции дымового аэрозоля достигает максимума в диапазоне 513-560 нм (второе защищаемое положение). Установлено, что максимум спектра флуоресценции сдвигается в красную область с ростом высоты (третье защищаемое положение), а эффективность флуоресценции дымового увеличивается с высотой (четвёртое защищаемое положение). Оценены количественные отличия коэффициентов деполяризации дымового и городского аэрозоля (пятое защищаемое положение). Разработана методика и алгоритм определения вкладов различных типов аэрозоля в полный коэффициент обратного рассеяния аэрозольной смеси при совместном использовании данных зондирования поляризационным и флуоресцентным лидарами. Применение указанной методики проиллюстрировано на данных конкретных лидарных измерений. Предложен эффективный метод коррекции (с использованием данных поляризационных измерений) профилей водяного пара, определяемых с помощью рамановского лидара при помехах, вносимых флуоресценцией аэрозоля (шестое защищаемое положение). Новизна полученных результатов не вызывает сомнений. Все защищаемые положения обоснованы.

Личный вклад диссертанта. Все приведённые в диссертационной работе результаты получены при непосредственном участии автора. Следует особо отметить большую работу выполненную диссертантом при анализе данных лидарного зондирования атмосферного аэрозоля с использованием пятиканального флуоресцентного лидара.

Теоретическая и практическая **значимость** полученных автором результатов состоит в возможности использования разработанных подходов при анализе смесей аэрозолей разных типов и оценке их объемной и массовой концентрации. Предложенные и реализованные диссертантом методы, основанные на использовании многоканальных флуоресцентных измерений, делают возможным анализ свойств аэрозоля в условиях высокой влажности, сопровождающейся гигроскопическим ростом аэрозоля.

Можно дать следующие конкретные **рекомендации** по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации:

1. Разработанный подход к флуоресцентным измерениям может быть использован для анализа процессов переноса дымового аэрозоля как на региональном, так и на глобальном масштабах.

2. Предложенный подход, основанный на данных поляризационных измерений, позволит корректировать погрешности измерения водяного пара рамановским лидаром, обусловленные флуоресценцией аэрозоля.

Достоинства диссертационной работы

1. Высокое качество полученных результатов в значительной степени обусловлено тем, что диссертант параллельно решал весь комплекс вопросов, возникающих при выполнении действительно новых экспериментальных исследований, включая разработку методики измерений, создание аппаратуры, изучение информативности измеряемых параметров, проведение калибровочных измерений.

2. Диссертантом выполнен большой объём измерений спектров флуоресценции атмосферного аэрозоля с помощью 5-канального флуоресцентного лидара, успешно решена задача классификации типов тропосферного аэрозоля для всех наблюдаемых ситуаций.

Замечания

1. В списке публикаций, нет статей в которых Н.И. Касьяник был бы первым автором.

2. В диссертации в некоторых случаях используется не вполне удачные термины: «частицы воды» (стр. 48, табл. 2), «сильный слой дыма» (стр. 106, строка 5), «спектр флуоресценции городского аэрозоля уменьшается с длиной волны» (стр. 124, 3 и 4 строки).

Заключение

Диссертация Н.И. Касьяника выполнена на высоком научном уровне, логично структурирована, написана грамотным научным языком. **Достоверность** полученных результатов и обоснованность полученных

выводов не вызывают сомнений. Основные результаты исследований, вошедшие в работу, **опубликованы** в 4 печатных работах, докладывались на 5 международных и российских научных конференциях. Полученные результаты оригинальны и вызывают безусловный научный и практический интерес. В **автореферате** диссертации достаточно полно изложено содержание диссертационной работы.

Диссертация Касьяника Н.И. «Определение физических параметров атмосферного аэрозоля на основе измерений многоволнового рамановского и флуоресцентного лидаров» отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России к кандидатским диссертациям и предусмотренным пунктами 9–14 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 16 октября 2024 года), а её автор заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Диссертация Касьяника Н.И. была рассмотрена и получила положительную оценку на научном семинаре отдела исследования состава атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук 3 июля 2025 года (протокол № 2).

Доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник, заведующий Лабораторией оптики и
микрофизики аэрозоля (ЛОМА) ИФА им. А.М. Обухова РАН

/ _____ / Горчаков Г.И.

«03» сентября 2025 г.

Подпись Горчакова Геннадия Ильича заверяю.

Учёный секретарь ИФА им. А.М. Обухова РАН

к.ф.-м.н. (+7 (495) 951-55-65, kiseleva@ifaran.ru)

119017, Москва, Пыжевский пер.3, стр. 1 / _____ / (Киселева Ю.В.)

«03» сентября 2025 г.