

УТВЕРЖДАЮ



А. В. Блохин

«11» сентября 2025 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации на диссертационную работу
Малинки Алексея Викторовича

«Асимптотические и стереологические методы в теории светорассеяния и
оптическом дистанционном зондировании»,
представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.05 – оптика
(выписка из протокола заседания объединенного научного семинара кафедры
физической оптики и прикладной информатики и кафедры лазерной физики и
спектроскопии физического факультета и кафедры квантовой радиофизики и
оптоэлектроники факультета радиофизики и компьютерных технологий
от 11 сентября 2025 г. № 1)

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Малинки Алексея Викторовича посвящена разработке теоретических аспектов рассеяния света ансамблями частиц случайной формы, получению аналитических и полуаналитических решений, а также их использованию в обработке данных дистанционного зондирования окружающей среды. Область исследований соответствует отрасли «физико-математические науки». Задачи, содержание, полученные результаты соответствуют пунктам: 1 (геометрическая оптика, интерференция и дифракция), 2 (оптика рассеивающих сред) и 5 (разработка основ новых технологий оптической регистрации и обработки изображений, передачи информации и электромагнитной энергии, диагностики биообъектов, природных и техногенных объектов и процессов) раздела III паспорта специальности 01.04.05 – оптика.

2. Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости

Актуальность исследований в представляемой работе обусловлена проблемами глобального изменения климата и воздействия человека на окружающую среду. Антарктический и арктический континенты являются весомыми с точки зрения влияния на климат Земли, поскольку содержит более 90% глобальных запасов льда. Снежный и ледяной покровы являются системой с сильной обратной связью: возрастание температуры ускоряет таяние, что увеличивает поглощение солнечного света, а значит, приводит к повышению температуры окружающей среды. Эта обратная связь может быть существенно усилена наличием загрязнений, порождённых индустриальной деятельностью, влияющих на процесс формирования облаков. В связи с этим особую важность приобретает постоянный мониторинг состояния окружающей среды, который осуществим только при использовании дистанционных методов зондирования окружающей среды.

Существующие строгие подходы к задаче рассеяния света несферическими частицами являются весьма ресурсоёмкими, что не позволяет применять их для обработки реальных массивов данных дистанционного зондирования. Поэтому возникает необходимость в аналитических решениях и простых физических моделях светорассеивающих составляющих атмосферы, океана и криосферы.

В своей работе соискатель применил метод стационарной фазы и стереологический подход для получения аналитических решений задач рассеяния света на частицах случайной формы. На основе полученных решений соискатель разработал оптические модели снега и морского льда, связывающие их отражательную способность с микрофизическими и геометрическими характеристиками. Соискатель провёл сопоставление разработанных моделей с результатами нескольких лабораторных и полевых экспериментов по измерению спектральных характеристик отражения снега и морского льда. Разработал методы и алгоритмы восстановления характеристик снежного и ледяного покрова по спутниковым данным с учётом влияния атмосферы и угловой зависимости яркости отражённого излучения. Исследовал чувствительность лидарного сигнала к размеру облачных капель. Разработал метод и алгоритм восстановления размера рассеивающих частиц в облаках и океане по измерениям сигнала молекулярного рассеяния лидарами с множественным полем зрения.

Разработанные теоретические аспекты рассеяния света с точки зрения статистики ансамбля частиц случайной формы, получение аналитических и полуаналитических решений, а также их использованию в методах зондирования и обработке данных являются новыми. Особо следует отметить, что расчёт светорассеивающих характеристик частицы для каждой случайной реализации формы заменен на решение сразу для ансамбля частиц, усреднённых по реализациям их формы.

Представленное исследование вносит важный научный вклад в теорию светорассеяния и разработку методов дистанционного зондирования Земли.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Основные результаты диссертации А.В. Малинки, за которые может быть присуждена учёная степень кандидата физико-математических наук, а также положения, выносимые на защиту, являются новыми и оригинальными.

Учёная степень доктора физико-математических наук может быть присуждена Малинка А. В. за:

1) новые аналитические формулы, выражающие характеристики рассеяния света частицами произвольной формы через их микрофизические характеристики в условиях различного фазового сдвига волны излучения. Угловая зависимость интенсивности рассеяния света описана на основе асимптотик дифракции Фраунгофера и рассеяния Вентцеля – Крамерса – Бриллюэна на частицах произвольной формы, впервые исследованных с помощью метода стационарной фазы волны излучения. Выражения для сечения поглощения, индикатрисы и матрицы рассеяния излучения ансамблем частиц случайной формы впервые получены в рамках приближения геометрической оптики посредством применения стереологического подхода.

2) новые оптические модели снега и морского льда, разработанные на основе предложенных решений и связывающие их оптические и микрофизические характеристики. Снег впервые рассмотрен как светорассеивающая среда, представляющая собой случайную смесь льда и воздуха. К описанию рассеяния света в морском льду впервые применено приближение Вентцеля – Крамерса – Бриллюэна и асимптотические выражения, полученные соискателем с помощью метода стационарной фазы волны излучения.

3) новые методы и алгоритмы восстановления характеристик природных сред, играющих существенную роль в радиационном балансе Земли (снег, морской лёд, облака), по данным оптического дистанционного зондирования, использующие полученные в исследовании решения и разработанные модели.

Практической значимостью работы является расширение знаний о последствиях климатических изменений и о состоянии природы, в частности в полярных регионах Земли.

4. Замечания по работе

При общей положительной оценке диссертационной работы необходимо сделать ряд замечаний.

1. Поскольку важным аспектом в целях и задачах является быстрый расчет оптических свойств рассматриваемых объектов (снег, морской лед, облака) следовало бы сравнить скорость расчета с модифицированным методом ПДД (D.A. Smunев, P.C. Chaumet, M.A. Yurkin / Rectangular dipoles in the discrete

dipole approximation// Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 2015. – Vol. 156, № 5. – P. 67–79).

2. Стр. 73. В выводах по главе одна и та же характеристика обозначается как коэффициент и показатель.

3. Стр. 123. Обработали случай заснеженного льда (измерялось альbedo – определялось толщина и размер зерен, которые использовались в расчете коэффициента яркости). Как решалась обратная задача, не пояснено.

4. Стр. 187. Почему выражение для лидарного сигнала записывается через неопределенный интеграл?

5. В выводах к некоторым главам нет численных оценок погрешности полученных выражений.

6. Следует особо подчеркнуть практическую значимость оптических моделей снега и морского льда, разработанных на основе полученных решений. Их использование позволит осуществлять обработку измерительной информации в реальном времени путем установления регрессионных связей между измеряемыми оптическими характеристиками и определяемыми микрофизическими (М. М. Кугейко, С. А. Лысенко / Лазерная спектронефелометрия аэродисперсных сред. Минск : БГУ, 2012. – 206 с.).

Сделанные замечания не затрагивают сути и высокого качества работы и не влияют на её положительную оценку в целом.

5. Соответствие научной квалификации соискателя учёной степени, на которую он претендует

Результаты диссертационного исследования представлялись на международных конференциях (26 тезисов докладов) и опубликованы ведущих международных научных журналах, индексируемых базами Scopus и Web of Science, таких как: Optics Letters, Applied Optics, JOSA, Remote Sensing of Environment, Annals of Glaciology, The Cryosphere, Journal of Geophysical Research, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer и других. По результатам исследования соискатель опубликовал 6 глав в монографиях и 64 статьи, 33 из которых соответствуют п. 19 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий. Согласно базе данных Google Scholar Малинка А. В. на 2025 год имеет индекс Хирша 18 и более 1100 ссылок на свои работы. С учётом высокого научного уровня публикаций можно заключить, что **научная квалификация Малинки А. В. соответствует искомой учёной степени доктора физико-математических наук.**

Диссертационная работа Малинки А. В. является завершённым цельным самостоятельным исследованием, включающим теоретические разработки, модели, методы на их основе, и использование методов на практике, удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (глава 3 «Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий»), **заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по**

специальности 01.04.05 – оптика за **крупный вклад в развитие теории прямых и обратных задач оптики рассеивающих сред, практическое использование в дистанционном мониторинге снега, морского льда, облаков**, включающий:

- разработку теоретических аспектов рассеяния света на основе статистики ансамбля частиц случайной формы, аналитических и полуаналитических решений с использованием асимптотик дифракции Фраунгофера и рассеяния Вентцеля – Крамерса – Бриллюэна на частицах произвольной формы;
- разработку оптических моделей снега и морского льда на основе полученных решений для характеристик светорассеяния в рамках стереологического подхода;
- разработку асимптотических и стереологических методов и алгоритмов восстановления микрофизических характеристик природных сред (снег, морской лёд, облака) по данным оптического дистанционного зондирования, что позволяет проводить их расчет в режиме реального времени;
- новый метод восстановления размеров рассеивающих частиц в облаках и океане по данным лидарного зондирования, основанный на использовании вклада многократного рассеяния света частицами в сигнал обратного молекулярного рассеяния;
- верификацию разработанных методов и моделей по данным лабораторных и спутниковых измерений характеристик снежного и ледяного покровов Антарктиды и Арктики.

Отзыв обсужден после заслушивания доклада соискателя на заседании объединенного научного семинара кафедры физической оптики и прикладной информатики физического факультета и кафедры квантовой радиофизики и оптоэлектроники факультета радиофизики и компьютерных технологий. Присутствовали:

1. Козадаев К. В., доктор физ.-мат. наук, профессор,
2. Новицкий Д. В., доктор физ.-мат. наук, доцент,
3. Воропай Е. С., доктор физ.-мат. наук, профессор,
4. Афоненко А. А., доктор физ.-мат. наук, профессор,
5. Кугейко М. М., доктор физ.-мат. наук, профессор,
6. Горбачук Н.И., кандидат физ.-мат. наук, доцент,
7. Фираго В. А., доктор физ.-мат. наук, доцент,
8. Могильный В. В., доктор физ.-мат. наук, профессор,
9. Толстик А. Л., доктор физ.-мат. наук, профессор,
10. Новицкий А. В., доктор физ.-мат. наук, доцент,
11. Последович М.Р., кандидат физ.-мат. наук, доцент.

(всего: 9 докторов наук, 2 кандидата наук).

СЛУШАЛИ:

1. Доклад соискателя Малинки Алексея Викторовича.
2. Проект отзыва оппонировающей организации, представленный доктором физ.-мат. наук М. М. Кугейко — экспертом от оппонировающей организации, назначенным приказом № 476-ОД от 08.09.2025 г.

В обсуждении диссертации приняли участие: Козадаев К. В., Новицкий Д. В., Воропай Е. С., Афоненко А. А., Кугейко М. М., Толстик А. Л.

В голосовании приняли участие 10 членов семинара, имеющих ученые степени. Результаты открытого голосования: «за» — 10, «против» — нет, «воздержались» — нет.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Рекомендовать к защите диссертацию Малинки Алексея Викторовича «Асимптотические и стереологические методы в теории светорассеяния и оптическом дистанционном зондировании», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 — оптика.
2. Одобрить заключение оппонировающей организации.

Председатель научного семинара:
доктор физ.-мат. наук, профессор,
заведующий кафедрой физической
оптики и прикладной информатики
физического факультета БГУ



К. В. Козадаев

Эксперт:
доктор физ.-мат. наук, профессор



М. М. Кугейко

Секретарь заседания:
доктор физ.-мат. наук, профессор



А. Л. Толстик