

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.228.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 09.12.2022 г. № 14
о присуждении Брюханову Илье Дмитриевичу,
гражданину Российской Федерации,
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Оптические свойства облаков верхнего яруса естественного и антропо-
генного происхождения, содержащих ориентированные кристаллы льда, по данным поляри-
зационного лазерного зондирования» по специальности 1.3.6. Оптика принята к защите
30.09.2022 г. (протокол заседания №10) диссертационным советом 24.1.228.02, созданным
на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный
исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Россий-
ской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), 660036, Красноярск, Академгородок, д. 50,
приказ Минобрнауки № 1514/НК от 25.11.2016 г.

Соискатель Брюханов Илья Дмитриевич, 20 июля 1991 года рождения, в 2019 году
окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
выдавшее диплом об окончании аспирантуры.

Работает старшим преподавателем на кафедре оптико-электронных систем и дистан-
ционного зондирования Национального исследовательского Томского государственного
университета (НИТГУ).

Диссертация выполнена на кафедре оптико-электронных систем и дистанционного
зондирования Национального исследовательского Томского государственного универси-
тета.

Научный руководитель – *Самохвалов Игнатий Викторович*, доктор физико-
математических наук, профессор, профессор кафедры оптико-электронных систем и ди-
станционного зондирования НИ ТГУ.

Официальные оппоненты: *Черемисин Александр Алексеевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией «Дисперсные системы» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук (ИХКГ СО РАН); *Петрушин Александр Григорьевич*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики Обнинского института атомной энергетики – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, в своём положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, заведующим лабораторией лазерных информационных систем Поллером Борисом Викторовичем, указала, что диссертационная работа является актуальной, а также что основные результаты работы являются новыми и имеют высокую научную значимость.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе 6 статей по теме диссертации опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук. Получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Сведения об опубликованных соискателем работах, виде, авторском вкладе и объёме научных изданий, указанные в диссертационной работе, являются достоверными. Наиболее значимые работы: 1) Самохвалов И.В., Кауль Б.В., Насонов С.В., Животенюк И.В., **Брюханов И.Д.** Матрица обратного рассеяния света зеркально отражающих слоёв облаков верхнего яруса, образованных кристаллическими частицами, преимущественно ориентированными в горизонтальной плоскости // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, № 5. – С. 403–411. 2) Самохвалов И.В., **Брюханов И.Д.**, Насонов С.В. и др. Исследование оптических характеристик перистых облаков с аномальным обратным рассеянием // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55, № 8. – С. 63–67. 3) **Брюханов И.Д.**, Зувев С.В., Самохвалов И.В. Результаты экспериментальных исследований микрофизических свойств перистых облаков и потоков солнечной радиации у земной поверхности // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2018. – Вып. 662. – С. 107–111. 4) Самохвалов И.В., **Брюханов И.Д.**, Шишко В.А. и др. Оценка микрофизических характеристик конденсационных следов самолётов по данным поляризационного лидара: теория и эксперимент // Оптика атмосферы

и океана. – 2019. – Т. 32, № 3. – С. 193–201. 5) Самохвалов И.В., Брюханова В.В., Брюханов И.Д. и др. Оптические и радиационные характеристики перистых облаков по данным трёхлетних лидарных и актинометрических исследований в Томском государственном университете // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2020. – Т. 63, № 4. – С. 77–83. 6) Брюханов И.Д., Локтюшин О.Ю., Самохвалов И.В. Оценка повторяемости образования зеркальных конденсационных следов самолётов по данным поляризационного лазерного зондирования // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2020. – Вып. 674. – С. 123–127. 7) Брюханов И.Д., Зуев С.В., Самохвалов И.В. Влияние зеркальных облаков верхнего яруса на потоки рассеянной солнечной радиации в зените // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34, № 4. – С. 272–279.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):

Ведущая организация (ИЛФ СО РАН). Отзыв положительный. Отмечено, что тема диссертационной работы является актуальной. Цель исследования достигнута, а сформулированные в диссертации задачи успешно решены. Работа является самостоятельным законченным научным исследованием, а её результаты обладают высокой научной и практической значимостью и новизной. Замечания: 1) На странице 49 диссертации написано: «Перед ФЭУ установлены электрооптические затворы (ссылка [147]), подавляющие помеху обратного рассеяния из ближней зоны лидара и устраняющие негативное влияние засветки на характеристики фотокатодов при работе лидара в дневное время с максимальной энергией зондирующих импульсов». Без дополнительного пояснения непонятно, как устраняется негативное влияние засветки «...в дневное время...». 2) На странице 64 упомянут алгоритм коррекции вклада многократного рассеяния в лидарный сигнал и сказано, что «...он основан на допущении малости деполяризации оптического излучения на не-сферических ледяных частицах и её независимости от глубины проникновения зондирующего импульса в среду». Сам алгоритм при этом не описан. 3) На странице 12 автореферата соискатель пишет: «Параллельный режим позволяет получать массивы одноэлектронных импульсов для всех элементов МОРС, что уменьшает ошибку их определения, вызванную смещением облаков за время измерений». Этот вывод автор не подкрепляет соответствующими количественными оценками.

Д.ф.-м.н., профессор Черемисин Александр Алексеевич, зав. лаб. – официальный оппонент. Отзыв положительный. Отмечено, что диссертация соответствует специальности 1.3.6. Оптика, является целостной, завершённой научно-квалификационной работой на актуальную тему. Представленные исследования обладают новизной и практической значимостью. Основные результаты диссертационной работы характеризуются полнотой

опубликования и прошли соответственную апробацию. Автореферат в полной мере и корректно отображает содержание диссертации. Замечания: 1) В работе описаны пороговые значения характеристик рассеяния, при которых облако можно считать зеркальным, но сам выбор этих пороговых значений недостаточно описан. 2) В диссертационной работе в качестве одного из критериев для выявления горизонтально ориентированных ледяных частиц в облаках используется элемент m_{44} матрицы обратного рассеяния света. При этом в работе отсутствует аргументация такого выбора. 3) В работе анализировались результаты измерений, выполненных совместно на высотном матричном поляризационном лидаре НИ ТГУ и пиранометре ИМКЭС СО РАН. При этом имело бы смысл более подробно описать основные характеристики пиранометра.

Д.ф.-м.н., доцент Петрушин Александр Григорьевич, профессор – официальный оппонент. Отзыв положительный. Отмечено, что диссертация выполнена на актуальную тему и на высоком научном уровне и представляет собой законченную как научно-исследовательскую, так и квалификационную работу. Основные выводы и положения, выносимые на защиту, содержательны и обоснованы. Достоверность и новизна научных положений, выводов и результатов многократно обсуждается автором в тексте диссертации и подтверждается их сравнением и удовлетворительным согласием с результатами, полученными другими авторами в схожих условиях наблюдений. Подавляющая часть полученных диссертантом результатов опубликована в рецензируемых журналах, для ряда разработанных им программных продуктов получены свидетельства о государственной регистрации. Результаты, полученные автором, полностью соответствуют специальности 1.3.6. Оптика и представляют несомненную научную ценность. Замечания: 1) В диссертации ничего не сказано о возможных физических механизмах возникновения выделенной ориентации ледяных кристаллов в пространстве облачной среды. Экспериментально установлено влияние величины пересыщения водяного пара в зависимости от температуры воздуха в облаке на образование и рост ледяных кристаллов при наличии так называемых ядер кристаллизации. Как известно, ледяные кристаллы имеют определенную ориентацию в пространстве в зависимости от их размеров, формы и в основном от соответствующего безразмерного числа Ричардсона Re (Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М., Изд. АН СССР, 1955). На рис. 3.9, 3.10 представлены интересные экспериментальные данные о физических характеристиках воздуха на высоте зеркальных областей облаков, которые определяют размеры и форму ледяных кристаллов. При наличии измерений вертикальных скоростей воздушных потоков возможно определения чисел Re и оценка возможной ориентации ледяных кристаллов определенных форм и размеров. 2) Важные результаты, пред-

ставленные в таблицах 2.2, 2.3, 3.3 практически не комментированы. Отсутствие информации о возможных погрешностях измерений компонентов вектора Стокса не дает возможности сделать однозначный вывод о «практически идентичных результатах» сравнения этих данных (стр. 58). 3) Третье защищаемое положение, выносимое на защиту, на мой взгляд, требует уточнения, так называемые «зеркальные области перистого облака существенно (более, чем на 10%) уменьшают потоки рассеянной солнечной радиации в нижнюю полусферу атмосферы в диапазоне длин волн (вставить интервал)» и далее по тексту (стр. 9). 4) В четвертом основном результате диссертации вместо слов «состояли из ледяных кристаллов» следует записать «имели протяженные области, содержащие ледяные кристаллы» и далее по тексту (стр. 115). 5) Имеется ряд замечаний по использованной диссертантом терминологии. Измеряются не интенсивности, а потоки излучения в приемную апертуру приемника излучения (стр. 50). Во многих местах в тексте диссертации использованы неудачные выражения: «о насыщении и пересыщении (чего?) над водой или надо льдом». Следует написать «о насыщении и пересыщении водяного пара над водой или надо льдом» (стр. 23, 25, 31). К параметрам микроструктуры облаков верхнего яруса «относятся форма, размеры и пространственная ориентация ледяных кристаллов (стр. 44). Вся фраза очень неудачная.

Д.т.н., проф. Белов М.Л. Отзыв положительный. Замечание: на стр. 13 (раздел 2.4) автор пишет: «В созданном программном обеспечении реализована возможность обработки лидарных сигналов как для каждого отдельного импульса лазера в течение серии измерений, так и для совокупности импульсов в заданном временном интервале». Не совсем понятно, как формируется «совокупность импульсов в заданном временном интервале»?

К.ф.-м.н. Шаманаев В.С. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Д.т.н., доцент Ростокин И.Н. Отзыв положительный. Замечание: на стр. 17 автореферата при описании результатов «...исследования эволюции оптических и микрофизических характеристик конденсационных следов самолётов» утверждается: «Выявлено, что с сентября 2019 г. по апрель 2020 г. 61% следов (всего 36612) в радиусе 100 км от Томска дрейфовали в направлении точки стояния ВМПП НИ ТГУ». Здесь следовало бы отметить, что лидарные «наблюдения» ОВЯ возможны (и проводились) только при отсутствии облаков нижнего яруса.

Д.ф.-м.н., проф. Ельников А.В. Отзыв положительный. Замечания: 1) Название работы слишком «тяжеловато»: 16 слов, несущих в себе информацию и ещё два предлога. 2) Не совсем корректно выражение «..., подавляющие помеху обратного рассеяния», стр. 11, 4-я строчка вверх от окончания страницы. 3) На гистограмме б) рис. 2 желательно

было бы отразить и поперечные размеры ОВЯ, полученные при лидарном зондировании на ВМПЛ НИ ТГУ.

Д.ф.-м.н., проф. Щукин Г.Г. Отзыв положительный. Замечания: 1) На стр. 4 автор пишет: «Метод поляризационного лазерного зондирования [14], в основе которого лежит определение матрицы обратного рассеяния света, информативен к форме и ориентации частиц льда в ОВЯ». Данное предложение никак не аргументировано, по крайней мере, в автореферате. 2) На странице 12 написано: «Предполагается, что для описания лидарного сигнала от таких облаков достаточно приближения однократного рассеяния, поскольку их оптическая толщина мала и доля многократно рассеянного назад излучения по сравнению с однократным невысока». Не указано пороговое значение оптической толщи, определяющее применимость приближения однократного рассеяния.

Д.ф.-м.н., проф. Шеманин В.Г. Отзыв положительный. Замечание: в автореферате указаны фирмы-производители лазера, счётчика фотонов и фотоэлектронных умножителей, входящих в состав лидара ТГУ. При этом только для лазера приведены характеристики и не указаны марки изделий. Представляется целесообразным перечислить наиболее важные характеристики всех составных элементов лидара.

Д.ф.-м.н., в.н.с. Шибанов Е.Б. Отзыв положительный. Замечания: 1) Название работы не точное. Термин оптические характеристики означает наличие совокупности величин, таких как индикатриса рассеяния или матрица Мюллера – в случае поляризационных измерений, альbedo однократного рассеяния и т. д. В работе измеряется только поляризационная матрица рассеяния строго назад, на угол 180° . 2) К рисунку 1, стр.16 не приведен комментарий. Например, «зеркальность облаков от времени может сменяться на их не зеркальность и, наоборот».

Д.ф.-м.н., проф. Нагорский П.М.; к.ф.-м.н. Пустовалов К.Н. Отзыв положительный. Замечания: 1) Первое защищаемое положение представляется не вполне удачно сформулированным. В тексте положения указаны характерные пространственные масштабы зеркальных локальных областей, однако отсутствует аналогичная информация о незеркальных областях. 2) В защищаемых положениях не указан временной интервал проведения экспериментальных исследований.

Д.т.н., проф. Морозов О.Г. Отзыв положительный. Замечание: на стр. 16 подпись рисунка 1: «Временная динамика вертикального профиля интенсивности лидарного сигнала.» Скорее всего здесь следовало бы написать не «интенсивность», а «мощность» лидарного сигнала.

Д.ф.-м.н., проф. Суторихин И.А. Отзыв положительный. Замечаний нет.

К.ф.-м.н., доцент Николашкин С.В. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Выбор ведущей организации обосновывается соответствием направлений научных исследований, выполняемых в ведущей организации, тематике представленной диссертационной работы, наличием в организации действующего Диссертационного совета, которому разрешено принимать к защите докторские и кандидатские диссертации по специальности **1.3.6. – оптика, физико-математические науки.**

Выбор официальных оппонентов обосновывается соответствием направлений научных исследований, выполняемых оппонентами, тематике представленной диссертационной работы, наличием публикаций и высоких достижений в соответствующей области исследований.

Совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Доказана возможность обнаружения локальных областей, обладающих свойством зеркального отражения потоков излучения, с помощью вертикально ориентированного матричного поляризационного лидара в протяжённых облачных полях верхнего яруса естественного и антропогенного происхождения.

Разработана и апробирована методика идентификации и исследования пространственно-временной изменчивости оптических характеристик конденсационных следов самолётов на основе совместного анализа лидарных, траекторных и метеорологических данных.

Установлено, что около 30% естественных облаков верхнего яруса над Томском, зарегистрированных в 2016–2020 гг., включали локальные области с горизонтальными размерами от 4 до 30 км со свойствами зеркального обратного рассеяния, характерными для ледяных кристаллов с преимущественной ориентацией их плоскостей перпендикулярно падающему излучению.

Показано, что в 75% случаев матрица обратного рассеяния света конденсационных следов самолётов имеет вид, характерный для зеркальных облаков верхнего яруса.

В результате выполненных комплексных лидарно-пиранометрических измерений *обнаружено*, что зеркальные области облаков верхнего яруса существенно уменьшают поток рассеянной солнечной радиации, приходящей из области небосвода, близкой к направлению в «зенит», по сравнению с незеркальными, при сопоставимых значениях оптической толщины, при этом величина уменьшения зависит от степени проявления зеркальных свойств облака.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные соискателем экспериментальные данные о связи характеристик зеркальных облаков верхнего яруса с

метеорологической обстановкой крайне важны для разработки климатических моделей и верификации результатов теоретических расчётов приходящей и уходящей радиации. Установленные зеркальные характеристики конденсационных следов самолётов должны учитываться в климатических моделях, особенно для регионов с высокой плотностью авиатрафика, а также для арктических районов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики. Разработанный пакет программ для обработки лидарных данных, расчёта оптических и геометрических характеристик облаков верхнего яруса, программа сбора прогностической метеорологической информации и планирования лидарных экспериментов, программы записи траекторий полётов самолётов на основе данных ADS-B мониторинга и расчёта параметров дрейфа их конденсационных следов под действием ветра будут использованы при создании климатической модели облаков верхнего яруса, учитывающей особенности их оптических характеристик.

Полученный в диссертации массив экспериментальных данных по оптическим характеристикам облаков верхнего яруса для различных сезонов года может быть использован для повышения точности расчёта радиационного баланса атмосферы.

Оценка достоверности результатов исследования. Необходимая степень достоверности обеспечивается большим количеством экспериментов, выполненных соискателем на протяжении нескольких лет в различные сезоны с применением современного научно-исследовательского оборудования, применением стандартного программного обеспечения при статистической обработке и анализе накопленного массива экспериментальных данных, публикациями в рецензируемых отечественных и зарубежных научных изданиях, а также согласованностью с результатами других авторов, полученных в близких условиях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в планировании и выполнении экспериментов на высотном поляризационном лидаре НИ ТГУ, обработке и систематизации экспериментальных данных, разработке соответствующего программного обеспечения.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Брюханов Илья Дмитриевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и аргументированно ответил на замечания.

На заседании 09.12.2022 г. диссертационный совет сделал вывод о том, что диссертация представляет собой законченное исследование, содержит решение научной задачи, имеющей значение для развития оптики атмосферы, соответствует критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения учёных степеней, и принял реше-

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.3.6. Оптика, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 20, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

[illegible]

9