

## ОТЗЫВ

официального оппонента Черемисина Александра Алексеевича  
на диссертационную работу Шефер Ольги Владимировны  
«Параметризованная модель кристаллического облака для исследования характеристик  
однократного рассеяния лучистой энергии», представленную на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и  
гидросферы»

**Актуальность исследования.** Ледяные облака оказывают существенное влияние на радиационные процессы, происходящие в атмосфере. Роль кристаллических облаков в прогнозировании состояния климата является одной из самых значимых, но неопределенных. Определение физико-химических характеристик кристаллических облаков является важным фактором в решении задач, связанных с погодообразующими процессами атмосферы. В настоящее время отсутствие надежных данных об оптических параметрах ледяных облаков является основным препятствием для успешного решения задач переноса излучения через кристаллосодержащие атмосферные среды, а также корректной интерпретации данных лазерного зондирования. Диссертация Шефер О.В. посвящена актуальной проблеме разработки физико-математических моделей кристаллических облаков и проведению численных исследований оптических характеристик при учете особенностей светорассеяния.

**Содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы. В ней содержится 391 страница текста, 137 рисунков, 11 таблиц и 304 наименования ссылок на публикации.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования. Приведены основные положения, выносимые на защиту. Определена научная новизна, практическая значимость и достоверность полученных результатов, указывается личный вклад автора. Представлено краткое описание содержания диссертационной работы.

**В первой главе** рассматриваются микрофизические, микроструктурные и ориентационные характеристики кристаллической облачности. Эти данные автор использует как априорную информацию для обоснования выбора моделей частиц и расчета оптических характеристик. Приводятся краткие сведения о наиболее часто используемых методах расчета характеристик светорассеяния. Основное внимание уделяется методам физической оптики, используемым автором для разработки оптических моделей крупных рассеивателей.

Во **второй главе** представлен в рамках приближений физической оптики формализм для расчета характеристик однократного рассеяния лучистой энергии для крупного пластинчатого кристалла. Приводится обоснование выбора этой модели как базовой для численного представления кристаллической облачности соответствующего типа. Для отдельной частицы проведено численное исследование энергетических и поляризационных характеристик рассеяния и выделены информативные направления для интерпретации данных лазерного зондирования.

В **третьей главе** приводится физико-математическая модель полидисперсной среды применительно к моно-бистатическому зондированию кристаллических облаков, в состав которых входят крупных преимущественно ориентированные пластинки для исследования энергетических и поляризационных характеристик высокоинтенсивного зеркально отраженного излучения. Количественное согласие результатов расчета характеристик аномального рассеяния и соответствующих экспериментальных данных, полученных при натурном исследовании, убедительно подтверждает эффективность разработанной модели и построенных на ее основе схем оценивания микрофизических, оптических и ориентационных параметров частиц.

В **четвертой главе** автор демонстрирует полученные в рамках метода физической оптики соотношения для расчета матрицы экстинкции для крупных пластинок, а также сечений ослабления и для других кристаллов с плоскопараллельными гранями. Показано, что для таких кристаллах в большей мере проявляются поляризационные свойства ослабления с учетом дихроизма и анизотропии рассеяния.

В **пятой главе** приводятся результаты численного исследования интегральных характеристик ослабления, полученные с применением метода физической оптики и теории Ми. Установлены параметры частиц и излучения для проявления спектральной зависимости и нейтрального хода характеристик ослабления видимого и ИК излучения системой частиц различных форм, размеров и характером ориентации при учете дихроизма и анизотропии.

В **шестой главе** иллюстрируется вывод аппроксимационных алгебраических формул для коэффициентов ослабления и поглощения. В реальном масштабе времени полученные формулы позволяют количественно оценить влияние физико-химических параметров частиц на спектральную зависимость базовых характеристик однократного рассеяния полидисперсной средой, содержащей крупные горизонтально ориентированные пластинки. На примере горизонтально ориентированных крупных пластинок и частиц сферической формы, соизмеримой с длиной волны падающего излучения, проиллюстрированы различия в особенностях переноса видимого и ИК излучения через кристаллическую облачность.



В **седьмой главе** демонстрируются результаты численных экспериментов по определению ослабления и пропускания газовой-дисперсной средой с учетом молекулярного поглощения газовой компоненты и ослабления дисперсной составляющей с различными микрофизическими, оптическими и ориентационными параметрами. При этом рассмотрены однородные слои среды природного и антропогенного происхождения. Проанализирован отдельный и совместный вклад компонентов смеси в общее пропускание средой. На примере газовой-аэрозольной среды: «водяной пар и мелкие частицы», установлены граничные условия для учета молекулярного поглощения и аэрозольного ослабления с погрешностью не более 5%. Среди компонент полидисперсной среды (систем частиц с различными формами, средними размерами и характером ориентации), автор выделил крупные ориентированные преимущественно ориентированные пластинки и продемонстрировал их преобладающее влияние на спектральный ход пропускания оптического излучения.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы.

Диссертация написана грамотным научным языком и сопровождается качественным наглядным материалом.

### **Публикации**

По теме диссертационной работы О.В. Шефер опубликовано 104 работы: 40 статей в журналах, рекомендованных ВАК (14 статей, индексируемых в Scopus или Web of Science), включая 7 статей в зарубежных научных журналах с  $IF > 1$ , 63 публикации в сборниках трудов международных, всероссийских и региональных конференций и симпозиумов (из них 20 статей в сборниках трудов, индексируемых Scopus или Web of Science) и 1 препринт.

**Автореферат** соответствует основному содержанию диссертации.

**Новизна полученных результатов.** Соискателем получены следующие новые результаты:

– разработана параметризованная физико-математическая модель в виде системы крупных преимущественно ориентированных пластинок для расчета матрицы рассеяния с возможностью широкого выбора физико-химических параметров частиц;

– разработаны схемы для количественной оценки физико-химических параметров пластинок по данным энергетических и поляризационных характеристик аномального

рассеяния, обусловленного зеркальным отражением излучения от ансамбля преимущественно ориентированных пластинок;

– получена модель матрицы экстинкции для крупных преимущественно ориентированных пластинок, которые в свою очередь по отношению к другим дисперсным составляющим среды в большей степени обеспечивают ярко выраженные особенности ослабления;

– установлены параметры излучения и частиц, обеспечивающие спектральную зависимость и нейтральный ход ослабления оптического излучения кристаллическим облаком;

– получены оригинальные формулы для расчета в реальном масштабе времени характеристик однократного рассеяния в случае горизонтально ориентированных пластинок;

– получена оптическая модель, реализующая компилятивный подход для оценки ослабления и пропускания аэрозольной средой, учитывающая внутренние зависимости компонентов среды с различными физико-химическими свойствами.

**Практическая значимость работы.** Разработанные в диссертации физико-математические модели кристаллических облаков и на их основе полученные результаты численного исследования оптических характеристик в зависимости от физико-химических свойств среды для широкого диапазона длин волн являются важным источником информации для решения задач переноса излучения и лазерного зондирования. Предложенные схемы оценивания характеристик аномального рассеяния атмосферных образований, содержащих крупные преимущественно ориентированные пластинки, являются надежным инструментом для количественной оценки физико-химических свойств кристаллов. Полученные простые аналитические формулы для расчета коэффициентов аномального обратного рассеяния, ослабления и поглощения для системы горизонтально ориентированных пластинок, обеспечивают минимальные вычислительные ресурсы, что важно для экспресс анализа характеристик однократного рассеяния для крупных преимущественно ориентированных кристаллов.

Результаты диссертационной работы использовались при выполнении научных проектов по грантам РФФИ и выполнения госзадания Минобрнауки России.

**Обоснованность и достоверность** полученных в диссертации результатов обеспечены корректным применением методов классической физической оптики и подтверждается



согласием с результатами расчетов, полученными другими авторами с использованием других методов, а также согласием результатов расчетов с результатами натуральных экспериментов.

#### **Замечания по работе:**

1. В работе часто проводится суммирование рассеянного излучения (характеристик излучения) для ансамбля частиц с заданным распределением по размерам (например, формула (3.1)). При этом расчеты характеристик проводятся в приближении, которое в работе называют методом физической оптики, которое справедливо для частиц с размерами, по крайней мере, в разы больше длины волны. Интегрирование же по размерам осуществляется в пределах от 0 до  $\infty$ , и не представлена оценка погрешности интегральных характеристик от такого расширения диапазона размеров.

2. В работе демонстрируются особенности спектральной зависимости ослабления для смесей, состоящих из ансамблей мелких сферических частиц и крупных кристаллических форм. Не хватает только учета фракции мелких несферических частиц, к которым в настоящее время в литературе проявляется большой интерес.

3. Формулы (6.34) для аномального обратного рассеяния могла бы быть применена при анализе соответствующих экспериментальных данных. Но, описания условий ее применимости не представлено. Между тем, эта формула выведена в предположении существования единственной фракции аэрозольных частиц - фракции крупных горизонтально-ориентированных пластинок.

4. Термин "газово-аэрозольная среда" – содержит тавтологию.

5. Неудачные формулировки:

- (автореф., стр.20) "... для случая крупных кристаллов с плоскопараллельными гранями при наименьшем их качестве". Наименование их количество – ноль!

- (автореф., стр.17) "Тангенс угла наклона зависимости устанавливает значение среднего радиуса частиц". Вообще говоря, мы имеем дело с кривыми, имеющими S-образный вид.

6. Диссертация не лишена грамматических погрешностей-

"двух-угловая схема зондирования" [например, автореф., стр.18].

Отмеченные недостатки не снижают высокой оценки работы.

**Заключение.** Диссертационная работа О.В. Шефер представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. На основании разработанных автором физико-математических моделей и выполненных исследований разработаны теоретические

положения, совокупность которых можно квалифицировать как крупное научное достижение в области исследования кристаллических облаков, использующих оптические методы.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 28.08.2017), а ее автор О.В. Шефер заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и молекулярная физика, профессор по кафедре оптики и спектроскопии, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин Красноярского института железнодорожного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Иркутского государственного университета путей сообщения" (КрИЖТ ИРГУПС)

660028, Россия, г. Красноярск, ул. Ладо Кецовели, 89

E-mail: aacheremisin@gmail.com

Тел. (391) 248-16-44

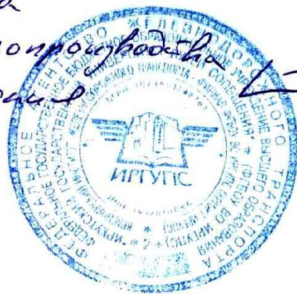
*Черемисин*

Черемисин Александр Алексеевич

"06" 05 2019 г.

Подпись официального оппонента д.ф.-м.н., профессора каф. общепрофессиональных дисциплин КрИЖТ ИРГУПС Черемисина А.А. удостоверяю

*И.о. начальника отдела  
кадровой работы, делопроизводства  
и правового обеспечения*



*Игнатова Екатерина Павловна*

*06.05.2019*