

На правах рукописи

Д. Кудаб-

Кудабаета Дина Айтжановна

**Экспериментальное исследование структуры мезосферной облачности
Северного полушария**

Специальность 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук **Перцев Николай Николаевич**

Официальные оппоненты: **Беляев Алексей Николаевич**, канд. физико-математических наук, зав. лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения Института прикладной геофизики им. акад. Е.К.Федорова

Шалимов Сергей Львович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики СО РАН

Защита диссертации состоится «12» октября 2017 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д.002.096.01 при Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН по адресу: г. Москва, Пыжевский пер., д.3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.ifaran.ru Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: г. Москва, Пыжевский пер., д.3, ученому секретарю диссертационного совета Д 002.096.01.

Автореферат разослан «23» июня 2017 года.

Телефон для справок: +7 (495) 951 55 65.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д.002.096.01
канд. геогр. наук



Краснокутская Л.Д.

Общая характеристика работы

Актуальность исследования.

Изучение закономерностей появления и свойств мезосферных («серебристых») облаков (С.О.) имеет важное значение для понимания устойчивости и трендов климата средней атмосферы и земной климатической системы в целом. Неожиданное появление С.О. как нового явления природы в 1885 г. до сих пор нельзя считать полностью объясненным в рамках существующих моделей состава и теплового режима атмосферы (см., напр., (Dalin et al., 2012)). Поэтому мониторинг и климатологическое описание свойств серебристых облаков остаются актуальной задачей, решению которой международное сообщество посвящает многочисленные спутниковые, наземные и аналитические проекты. Кроме того, С.О. важны для исследователей как индикатор волновых движений в мезосфере на масштабах от сотен метров до планетарного.

Цели работы:

1. На основе данных космического мониторинга мезосферных облаков за период 2007-2012 гг. изучить основные статистические закономерности вариаций размеров площади мезосферно-облачной полярной шапки Северного полушария (среднемноголетний сезонный ход, межгодовые вариации, долготные вариации).

2. В рамках исследования влияния динамических процессов, происходящих в нижних слоях атмосферы, на характеристики мезосферных облаков выявить и продемонстрировать, с использованием базы реальных атмосферных данных и с привлечением современной модели распространения атмосферных гравитационных волн, возможность образования наблюдаемых вариаций локальных структур С.О. за счет воздействия гравитационных волн, возникающих в результате взаимодействия метеорологических возмущений на высотах тропосферы со средним течением.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. На основе ежесуточных спутниковых (AIM) карт мезосферной облачности в течение шести летних сезонов (2007-2012 гг.) рассчитаны площади мезосферной облачности Северного полушария в диапазоне широт 50-80° N. Для них построены соответствующие пространственно-временные массивы данных с шагом 1 сутки по времени, 10° по широте, 45° по долготе.

2. С помощью подготовленных пространственно-временных массивов

данных получены климатологические характеристики площади мезосферной облачности: среднемноголетний сезонный ход, межгодовые вариации сезонного хода, устойчивые долготные различия.

3. С помощью анализа метеорологической обстановки в нижних широтах Северного полушария для одного случая наблюдений серебристых облаков и детального моделирования распространения атмосферных гравитационных волн показано, что при благоприятных условиях динамические процессы, обусловленные метеорологическими образованиями в нижней атмосфере, могут являться источником возникновения наблюдаемых структур в серебристых облаках.

Научная новизна.

Впервые в мировой геофизике на основе спутниковых данных создана методика вычислений вариаций размеров площади, занятой мезосферной облачностью, на планетарном масштабе, а также построены временные ряды этой величины с суточным шагом для 6 летних сезонов и проведено исследование пространственно-временных свойств соответствующих полей С.О. Элемент новизны вносит и детальная проработка механизма тропосферно-мезосферных связей за счет генерации гравитационных волн в тропосфере и последующего проникновения их в мезосферу, сделанная на основе данных стереофотосъемки с привлечением данных спутниковых измерений и реанализа.

Теоретическая и практическая значимость.

Полученные в диссертации временные ряды вариаций размеров площади мезосферной облачности могут быть использованы для сопоставления с данными о вариациях температуры, влажности и ветра в верхней мезопаузе. Построенная эмпирическая аппроксимация сезонного хода изменений глобальной площади мезосферной облачности может применяться в разнообразных геофизических исследованиях и планировании космических экспериментов. Результаты диссертационной работы также дают важный стимулирующий импульс для дальнейшего изучения обнаруженных в диссертации высокоширотных стационарных планетарных волн весьма заметной амплитуды, а также для изучения тропо-мезосферных связей, обусловленных воздействием гравитационных волн.

Личный вклад автора. Основные результаты исследования, составляющих содержание диссертации, получены автором, либо в соавторстве при его

непосредственном участии. Личный вклад автора диссертации можно оценить как заметный на всех этапах работы. Им создана информационная база данных, содержащей сведения о параметрах глобального поля С.О. Северного полушария. Автором разработана алгоритмизация процесса обработки космических изображений полей С.О. и создана программа проведения расчётов по определению площади облачного поля для протяжённого периода получения изображений. Автор выполнил большой объём работы по статистической обработке, графическому представлению и интерпретации полученных результатов.

Публикации.

По основным результатам, представленным в диссертации, опубликовано 10 работ, в том числе в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах (Геомagnetизм и аэрономия, Geophysical Research Letters, Известия НАН РК).

Апробация работы.

Основные результаты и выводы, на основании которых подготовлена диссертация, докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

Международная научная конференция «Космос на благо человечества – взгляд в будущее» (Астана, 2011);

Международная научная конференция «Независимый Казахстан: 20 лет развития космических исследований» (Алматы, 2011);

Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы небесных тел и плазменного состояния вещества. Эксперимент и математическое моделирование» (Петропавловск, 2011);

Международный научно-практический симпозиум «Таможенный союз: наука и образование без границ» (Петропавловск, 2012);

XIII Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса» (Москва, 2015).

Структура и объём диссертации.

Настоящая диссертация представлена на 103 страницах, иллюстрирована 33 рисунками и 9 таблицами, содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы из 80 наименований, в том числе 29 на русском и 51 на иностранных языках.

Содержание диссертации

Во введении дана краткая характеристика темы исследования, обоснована актуальность работы, приводится формулировка целей и задач, а также описана структура диссертации. В конце введения отмечается личный вклад автора в полученные результаты и апробация работы.

В первой главе представлен обзор литературы по тематике диссертации. Дано описание различных наземных и космических методов исследования С.О., представлены теоретические и экспериментальные результаты изучения мезосферной облачности.

Во второй главе дано описание многолетне- осредненного сезонного изменения площади глобального поля мезосферных облаков по времени на основе данных спутника AIM, а также особенностей изменения площади облачного поля для отдельных сезонов. Дано подробное описание характеристик бортового прибора CIPS спутника AIM, технология формирования изображений С.О. на основе данных CIPS и их характеристики. В разделе 2.4. показаны вычисления площади полей С.О. по оригинальным картам изображений полей С.О. с помощью программы, разработанной в среде MathCAD.

По результатам обработки на каждую дату найдены площади, занятые С.О., выраженные в виде числа пикселей, и пересчитанные затем в км².

Температуру и влажность в области образования облаков, меняющиеся по широте, полезно сопоставить с локальными характеристиками С.О. Такое сопоставление успешно проведено в работах (Dalin et al., 2011; Rong et al, 2012). Площадь, занятая С.О., является интегральной характеристикой полярной мезосферы, хотя и связанной с другими характеристиками С.О., измеряемыми со спутника, прежде всего, с частотой появления и альбедо С.О. Полученные результаты для площади сопоставлялись с выводами сходных по направлению исследований. Наиболее полно они представлены на сайте, посвященном миссии AIM, где показаны изменения со временем частоты появления (обнаружения) серебристых облаков в области 80 градуса северной широты в сезоны с 2007 по 2016 год.

В диссертации проведено сопоставление среднемноголетних кривых площади и частоты появления С.О. по данным того же спутника. Для обеспечения одинакового интервала лет и одной и той же широтной выборки данных использованы результаты Rong et al. (2012), где приведены кривые частоты появления С.О. для сезонов 2007–2010. Кривые частоты появления и площади

С.О. показывают явное сходство. Это сходство, а также некоторая разница в датах максимального развития и эффективной ширине сезона для двух характеристик С.О., обсуждается в диссертации.

По данным о площади и частоте появления возможно определить примерные временные диапазоны первого появления и исчезновения С.О. Они, как правило, совпадают с датами третьей декады мая и первой декады августа соответственно, для всех сезонов. Показательно и то, что графики частоты появления околополярных С.О., имеют примерно такой же параболический вид, что и графики площадей С.О., полученные ранее в нашей работе (Кудабаева, 2015). Это сходство неудивительно, поскольку для фиксированных диапазонов широты площадь мезосферных облаков пропорциональна общей площади поверхности сферы, вырезаемой данным диапазоном широт, и частоте появления мезосферных облаков.

Физический процесс, формирующий летнюю сезонную кривую приблизительно параболического вида, описывающую площадь или вероятность появления мезосферной облачности, в общих чертах ясен. Это – совместное действие сезонных кривых температуры и концентрации водяного пара. По данным спутниковых измерений температура на интересующих нас широтах и высотах имеет минимум в конце июня, а парциальное давление водяного пара медленно растет в течение всего летнего сезона (Rong et al., 2012). Однако роль играют и пространственно-временные отклонения от этой схематической линии. Если рассчитать по спутниковым данным о температуре и влажности вероятность превышения концентрацией или давлением водяного пара уровня конденсации, то для нее можно получить летнюю сезонную кривую, весьма напоминающую обсуждаемые параболы (рис.4 (Rong et al., 2012) с максимумом, примерно совпадающим по времени с максимумом площади.

В дальнейшем в нашей статье (Солодовник и др., 2013) исследован временной ход остаточных разностей: «наблюдаемая площадь поля минус вычисленное значение». В этой связи выполнялась аппроксимация гармоническими функциями. Программа позволяла определить период и амплитуду аппроксимирующей синусоиды по принципу минимальности дисперсии остаточных отклонений. По результатам такой обработки, получено, что типичные периоды гармонических функций заключены в пределах от 18 до 27 суток. Большие периоды близки к периодам движения Луны вокруг Земли (звездному, драконическому и аномалистическому месяцу) и к каррингтоновскому

периоду вращения Солнца (27 суток). Меньшие периоды интерпретировать труднее, но и для них можно найти разумное объяснение. Периоды в диапазоне от единиц до 16 суток показывают и изменения давления в земной атмосфере (Швед, 1997). 27-Дневный период в появлении мезосферных облаков найден также в более ранней работе (Robert et al., 2010) и более поздней (Thomas et al., 2015).

В третьей главе представлены результаты исследования долготной и широтной неоднородностей площадей глобального поля серебристых облаков Северного полушария по данным, полученным аппаратом CIPS со спутника AIM в период с 2007 по 2012 гг.

Для анализа были взяты ежесуточные изображения полей мезосферных облаков, полученных аппаратом CIPS со спутника AIM в летние сезоны 2007–2012 гг., в одно и то же местное солнечное время (22–24 ч) в интервале широт 50–80° N равномерно по всем долготам.

Для получения представления о характере долготного распределения мезосферной облачности приполярная область Северного полушария была разделена на 8 долготных секторов по 45°, начиная от меридиана Гринвича, к востоку. Схема разбиения приведена на рисунке 1.

В пределах каждого сектора с использованием модифицированной версии программы, описанной в статье (Кудабаева и Солодовник, 2015), рассчитывались значения площади, занятой полем серебристых облаков Северного полушария.

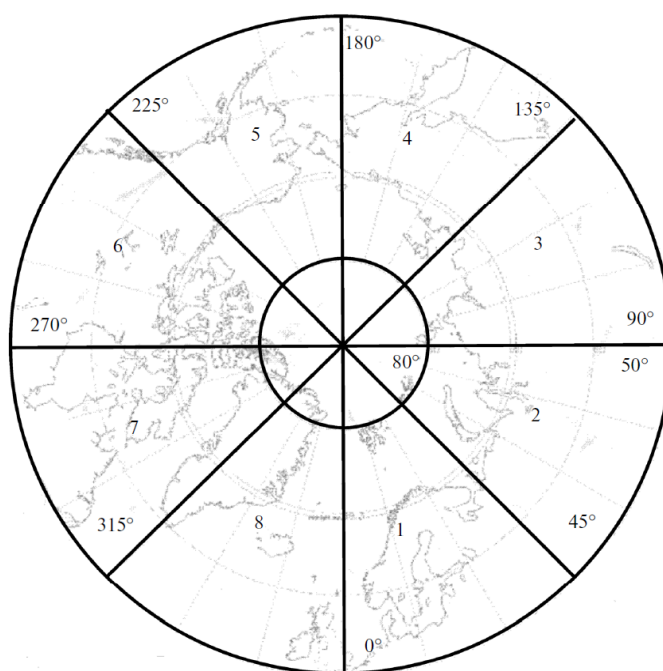


Рисунок 1. Условное деление Северного полушария на долготные секторы.

Далее, в разделе 3.1. рассчитаны отношения площади облачного поля в данном долготном секторе к средней по всем секторам площади мезосферной облачности. Наглядно результаты при обобщении 6 летних сезонов представлены на рисунке 2, на котором хорошо заметно наличие долготных секторов с повышенной и пониженной площадями серебристых облаков.

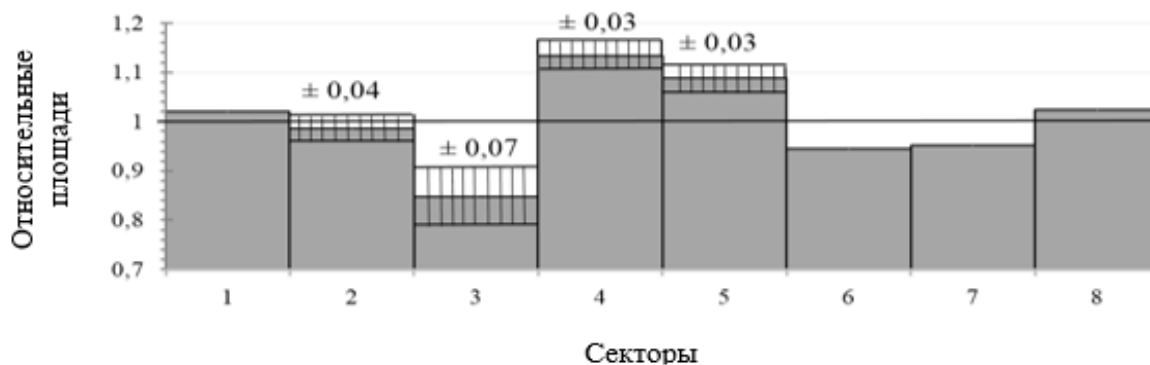


Рисунок 2. Отношения средней площади облачного поля для каждого из восьми долготных секторов к среднему по всем секторам. Для некоторых секторов показаны 95%-е доверительные интервалы.

Устойчиво меньшие площади характерны для С.О. в секторах №№ 3 и 6 (Восточная Сибирь и Канада, соответственно). В то же время абсолютный максимум достигается в секторе № 4 (Дальний Восток – Берингово море). Близок к максимуму показатель площади для сектора № 5 (Аляска). Обнаруженные стационарные отклонения площадей С.О. от среднезонального значения значимы для секторов № 3 и № 5 с вероятностью не менее 0.99, а для сектора № 4 – не менее 0.999.

Выводы, полученные выше, уточнены путем проведения более детального исследования по той же методике для выделенных широтных зон. С учетом широтных ограничений, присутствующих в исходных данных, весь широтный диапазон разделяется на три кольцевые широтные области: первая от 80 до 70 градусов с.ш. (полярная); вторая от 70 до 60 градусов (субполярная) и третья от 60 до 50 градусов (умеренная). Разумеется, площади таких зон будут различными, но наше исследование касается относительных различий площади отдельных долготных сегментов таких зон. На рисунке 3 показана структура их расположения в проекции на полярную область Земли.

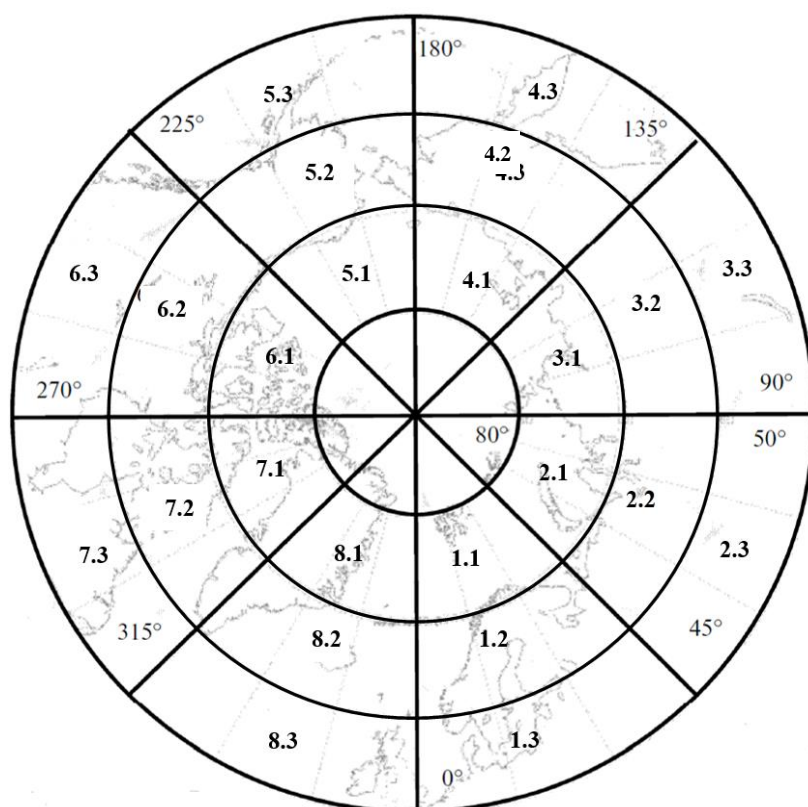


Рисунок 3. Условное разделение северного полушария на долготные сегменты.

Имея заданную структуру разбиения изображений, следуя детально изложенному подходу расчёта площади, занятой С.О., были рассчитаны данные о площадях, занятых облачностью в каждой из выделенных зон. Наглядно данные результаты представлены на рисунке 4.

Обращает на себя внимание тот факт, что как и для долготных секторов в целом, площадь облачного поля достигает максимальных значений в области над крайним востоком Азии и крайним западом Северной Америки – Аляской. Получившиеся результаты нашли хорошее подтверждение в недавно опубликованной работе (Liu et al., 2016), в которой аналогичный анализ долготных неоднородностей по тем же первичным данным (за 2007 - 2014 гг. вместо 2007 – 2012, используемых в настоящей работе) проведен для альбедо С.О. Liu et al. (2016) выявили стационарные долготные неоднородности для арктической и антарктической летней мезосферной облачности, причем в Южном полушарии получен значительно более сильный эффект.

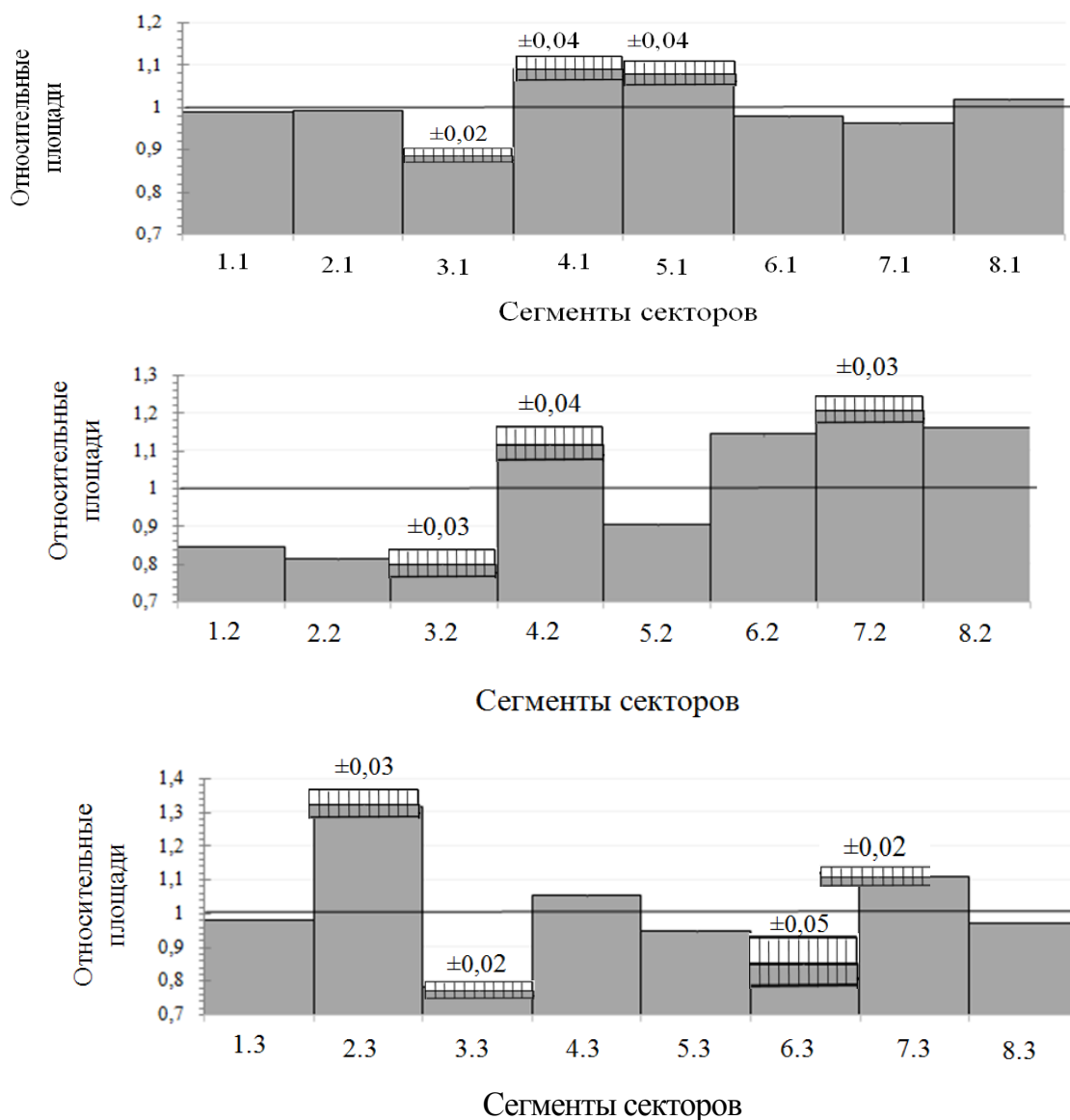


Рисунок 4. Отношения площади облачного поля для каждого сегмента каждой кольцевой зоны (см. рис. 3) к среднему по всем сегментам выбранной области. Вверху-полярная зона, в середине – субполярная, внизу - зона умеренных широт.

В Северном полушарии наибольшие отклонения от зональной симметрии видны в области широт $70-80^\circ$ (рис. 4а в (Liu et al., 2016)), что соответствует «полярной» кольцевой зоне настоящей работы (на более южные области анализ (Liu et al., 2016) не распространялся). Как и следовало ожидать из рис. 4, повышенное альbedo приходится на области, соответствующие сегментам 4.1 и 5.1 (Тихоокеанская Арктика и Аляска), пониженное – сегменту 3.1. (Сибирская Арктика). Кроме того, в согласии с результатами диссертации, повышенное альbedo приходится на сегмент 8.1, а пониженное – на 7.1. Таким образом, Liu et al. (2016) подтверждают результаты по долготной неоднородности С.О. (Кудабаева, 2015) и распространяют их на южное полушарие. Впрочем, здесь

необходимо отметить несомненное методическое преимущество площади как измеряемой характеристики перед альбедо: последнее является значительно более чувствительным к вариациям рассеянного излучения из-за изменения медианных размеров облачных частиц в ансамбле и изменений угла рассеяния вдоль кадра. Так как параметры ансамбля частиц изменчивы и заранее не известны, то приведение альбедо к условиям постоянного угла рассеяния наталкивается на серьезные принципиальные трудности.

На рисунке 4 хорошо заметно смещение максимума площади облачного поля при переходе от полярной к субполярной зоне (сегменты 5.1 – 6.2). Направление такого смещения на юго-восток не соответствует преобладающему направлению С.О. к югу и западу в полярном мезосферном летнем вихре. Совершенно по-особенному выглядит распределение площади поля С.О. для умеренной широтной зоны. Здесь появляется резкий максимум в области Урало-Сибирского региона (сегмент 2.3). Заметим, что по соседству с этим сегментом расположены сегменты со сравнительно низкой средней относительной (т.е. нормированной на среднеширотное значение в данном широтном поясе) площадью облачных полей. Однако следует учитывать, что в сегментах 1.2, 2.2 и 3.2, расположенных соответственно к северо-западу, северу и северо-востоку от сегмента 2.3, отношение площади, занятой С.О., ко всей площади сегмента, все равно больше, чем в последнем. Таким образом, для объяснения увеличения относительной площади С.О. можно предполагать либо существование некоторого локального механизма генерации серебристых облаков над Урало-Сибирским регионом, либо более благоприятные условия для их переноса с севера.

Логично поставить вопрос, какое соотношение гармоник стационарных планетарных волн проявляется в разных широтных поясах. Применив к полученным данным о площадях облачных сегментов стандартную процедуру одного из вариантов дискретного Фурье-анализа (основанную на методе наименьших квадратов), можно получить данные об амплитудах первой, второй и третьей гармоник для каждой широтной зоны.

В полярной зоне преобладает волновое движение с зональным волновым числом $m=2$. Субполярной зоне скорее соответствует $m=1$.

В умеренной зоне преобладающая длина волны уменьшается по крайней мере до 120 градусов (меньшие длины волн на выбранной сетке не удастся проанализировать, поскольку уже 4-я гармоника соответствует периоду Найквиста), при этом вдоль параллели укладываются три полных волны с соответствующим количеством минимумов и максимумов. Наиболее значимый

максимум приходится на сегмент, находящийся над Урало-сибирским регионом. В этом широтном поясе различие амплитуд гармоник очень большое (отличаются более чем в 3 раза).

Таким образом, проведенное исследование показывает, что заметные стационарные волны систематически присутствуют во всех трех широтных поясах от 50 до 80° N, и что длинноволновая часть спектра этих волн существенно зависит от широты.

В четвертой главе анализируется состояние вопроса о влиянии тропосферных метеорологических процессов на возникновение серебристых облаков и наблюдаемых в них структур, а также детально рассмотрен случай наблюдения внутренних гравитационных волн в серебристых облаках с помощью стереокиносъемки, проведенной в ночь с 18 на 19 июля 2013 г. вблизи Москвы. При анализе использованы изображения с двух синхронизированных автоматических цифровых камер, расположенных в гг. Красногорске, Обнинске (Подмосковье), ведущих непрерывный мониторинг активности С.О. в Северном полушарии (Dalin et al., 2008; Dubietis et al., 2011). Эти волновые структуры проявились в виде гребней С.О. и сохранялись около часа, что существенно отличается от обычно наблюдавшихся случаев гравитационных волн, распространяющихся в более протяженном поле С.О.

Основные два гребня, показанные синим цветом на рис. 5, имели весьма заметную яркость по сравнению с фоном сумеречного неба. Гребни передвигались с фазовой скоростью около 35-40 м/с относительно окружающего воздуха. С помощью триангуляции была проведена оценка высоты двух гребней волны, а также горизонтальные параметры основной волны.

На основании расчета траекторий волн с помощью усовершенствованного варианта численной модели (Погорельцев, Перцев, 1995) распространения атмосферных гравитационных волн и сопоставления его результатов с метеорологическими данными на момент наблюдения и на несколько часов раньше, был определен источник наблюдаемых гравитационных волн тропосферного происхождения, а именно, фронт окклюзии (рис. 6).

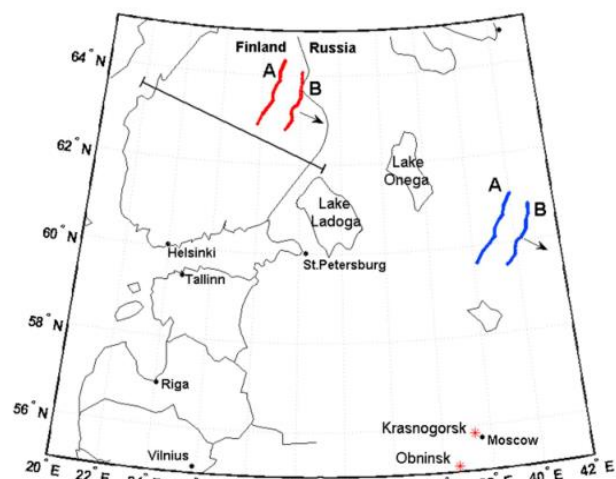
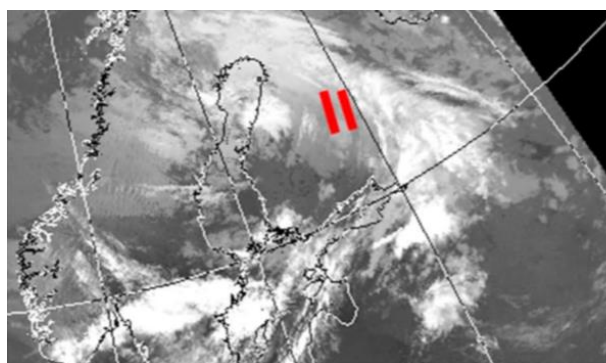
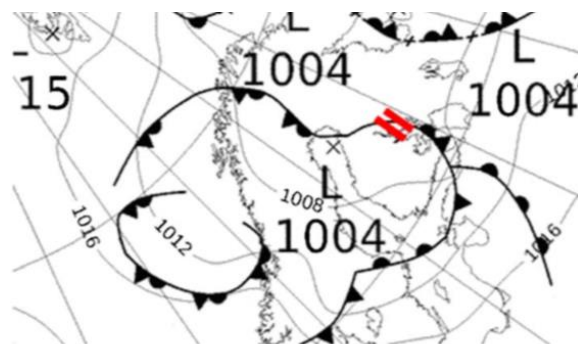


Рисунок 5. Проекция двух гребней (синий цвет) гравитационной волны на земную поверхность. Предполагаемый источник (красные линии) располагается на горизонтальном удалении от поля С.О. около 650 км. Стрелка указывает направление движения волны.

Для расчета профили температуры взяты из модели NRLMSISE-00. Данные по скорости ветра между высотами 0 and 60 km взяты из базы данных – реанализа Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications (MERRA), а между 70 и 100 км – из модели Global Empirical Wind Model (GEWM) (Portnyagin and Solovjova, 2000) с интерполяцией между 60 и 70 км.



а)



б)

Рисунок 6. Сопоставление снимка со спутника AVHRR с синоптической картой Метеообстановка в Скандинавии на 18 июля 2013 года. (а) – Изображение исследуемой области спутникового радиометра-имаджера AVHRR/MetOp-B (10.3–11.3 μm) 18 июля 2013, 19:19 UT. Две красных черты показывают расчетное положение волновых гребней на 16:15 UT на высоте 5 км. (б) – Метеорологическая карта на 18:00 UT.

Формирование гребней волны было достаточно близко к точке окклюзии, что вполне подтверждает наличие источника гравитационной волны в тропосфере. Это впервые дает надежное подтверждение результата Хайнса (Hines, 1968), который с помощью весьма грубой модели, не учитывавшей реальную температурно-ветровую стратификацию, обнаружил находившийся в передней части фронта окклюзии тропосферный источник гравитационных волн, наблюдавшихся в С.О.

Заключение. В результате проведенных исследований пространственно-временных характеристик глобального поля серебристых облаков Северного полушария, а также детального анализа стереофото съемки отдельных случаев появления серебристых облаков с использованием численного моделирования и данных реанализа получены следующие результаты:

1. Впервые в мировой геофизике на основе спутниковых данных создана методика вычислений вариаций размеров площади, занятой мезосферной облачностью, на планетарном масштабе.

2. На основе фотоизображений космического мониторинга, полученных спутником AIM, рассчитан массив данных о суммарной площади полей серебристых облаков в Северном полушарии для шести летних сезонов (2007 – 2012 гг.).

3. Анализ полученных временных рядов позволил обнаружить повторяющуюся из сезона в сезон общую временную закономерность изменения площади глобального поля серебристых облаков Северного полушария. Показано, что эта закономерность достаточно хорошо описывается параболической функцией.

4. Выявлены как общая сезонная закономерность, связанная с возникновением, развитием и деградацией глобального поля серебристых облаков, так и отклонения от нее, а именно, 19 – 27 суточные осцилляции площади, амплитуда и период которых отличается от сезона к сезону.

5. Обнаружены долготные особенности (стационарные возмущения планетарного масштаба) в распределении глобального поля серебристых облаков, которые имеют в период максимального развития мезосферных облаков (июнь-июль) устойчиво повторяющийся характер фазы стационарных волн. Показано, что наибольшие относительные превышения площади мезосферной облачности

обнаруживаются на широтах 50-60° N в Урало-Западносибирском регионе.

6. Выявленные долготные особенности в площадях мезосферной облачности описаны как стационарные планетарные волны. Они являются первым в мировой геофизике надежным свидетельством существования заметных по амплитуде стационарных планетарных волн в летней полярной верхней мезосфере.

7. На основе анализа наблюдавшихся в ночь с 18 на 19 июля 2013 года вблизи Москвы С.О. изучено действие механизма тропосферно-мезосферных связей на образование мезосферной облачности за счет генерации гравитационных волн в тропосфере и последующего проникновения их в мезосферу. Таким образом, надёжно подтверждено существование связи между метеорологическими структурами в нижних слоях атмосферы и процессами, ответственными за возникновение серебристых облаков.

Список публикаций автора по теме диссертации

Кудабаева Д.А. 2015. Стационарные долготные неоднородности в площадях мезосферных облаков по данным CIPS/AIM (июнь–июль) // Геомагнетизм и аэрономия, том 55, № 6, – С. 1-4.

Кудабаева Д.А., Солодовник А.А. 2015. Вариации площади глобального поля серебристых облаков Северного полушария в сезоны 2007-2012 гг. // Геомагнетизм и аэрономия, том 55, № 2, -С. 274-278

Солодовник А.А., Кудабаева Д.А. 2009. Исследование природы серебристых (мезосферных) облаков в связи с проблемой изменения климата Земли. // Материалы четвертой международной студенческой научной конференции «Анализ и моделирование социально-экономических процессов и систем», Омск, – С. 50-51

Солодовник А., Кудабаева Д.А., Бельченко В.Н., Сартин С.А. 2010. Метеорологические процессы в тропосфере Земли и происхождение серебристых облаков // ВЕСТНИК Актюбинского государственного педагогического института, №1, – С.109-114

Солодовник А.А., Кудабаева Д.А., Крючков В.Н., Леонченко А.С. 2011. Серебристые облака: проблемы образования и вопрос о дефинициях // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия физ.-мат. №4, – С. 105-110

Солодовник А.А. и Кудабаяева Д.А., 2011. Метеорология тропосферы и появления серебристых облаков в сезоны 2010-2011 года. // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы небесных тел и плазменного состояния вещества. Эксперимент и математическое моделирование», Петропавловск, СКГУ, 2011, – С. 44-47

Солодовник А.А., Кудабаяева Д.А., Алешин Д.В. 2012. К поиску связи процессов формирования серебристых облаков и погодно-климатических явлений. // Международная научно-практическая конференция XIX Рабочая группа «Аэрозоли Сибири» РАН, Сибирское отделение, институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, Российский фонд фундаментальных исследований. Томск, – 69 с.

Солодовник А.А., Кудабаяева Д.А. 2012. Опыт и перспектива изучения серебристых облаков. Часть 1. Проблема образования и дефиниции // Материалы международного научно-практического симпозиума «Тамуженный союз: наука и образование без границ», Петропавловск. – С. 246-252

Солодовник А.А., Кудабаяева Д.А., Крючков В.Н. 2013. Сезонные и межсезонные вариации площади глобального поля серебристых облаков // Известия НАН РК. Серия: физико-математическая. №3, – С. 102-107.

Dalin, P., Pogoreltsev, A., Pertsev, N., Perminov, V., Shevchuk, N., Dubietis, A., Zalcik, M., Kulikov, S., Zadorozhny, A., Kudabayeva, D., Solodovnik, A., Salakhutdinov, G., Grigoryeva, I., 2015. Evidence of the formation of noctilucent clouds due to propagation of an isolated gravity wave caused by a tropospheric occluded front. Geophysical Research Letters, 42, 2037–2046, doi:10.1002/2014GL062776

Цитируемые источники

Погорельцев А.И., Перцев Н.Н. 1995. Влияние фонового ветра на формирование структуры акустико-гравитационных волн в термосфере// Известия РАН ФАО. Т. 31 N.6 С.755-760.

Швед Г.М., 1997. Циркуляция атмосферы // СОЖ. Науки о Земле. Процессы на поверхности Земли. Вып. 3. С. 75-81

Dalin, P., Pertsev, N., Zadorozhny, A., Connors, M., Schofield, Shelton, I., Zalcik, I., McEwan, T., McEachran, I., Frandsen, S., Hansen, O., Andersen, H., Sukhodoev, V., Perminov, V., Romejko, V., 2008. Ground-based observations of noctilucent clouds with

a northern hemisphere network of automatic digital cameras. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, V. 70, 1460-1472.

Dalin P., Pertsev, N., Dubietis, A., Zalcik, M., Zadorozhny, A., Connors, M., Schofield, I., McEwan, T., McEachran, I., Frandsen, S., Hansen, O., Andersen, H., Sukhodoev, V., Perminov, V., Balčiunas, R., Romejko, V., 2011. A comparison between ground-based observations of noctilucent clouds and Aura satellite data. *Journal of Atmospheric and Solar- Terrestrial Physics*. V. 73. 2097– 2109.

Dubietis, A., Dalin, P., Balciunas, R., Cernis, K., Pertsev, N., Sukhodoev, V., Perminov, V., Zalcik, M., Zadorozhny, A., Connors, M., Schofield, I., McEwan, T., McEachran, I., Frandsen, S., Hansen, O., Andersen, H., Grønne, J., Melnikov, D., Manevich, A., Romejko, V., 2011. Noctilucent clouds: modern ground-based photographic observations by a digital camera network, *Applied Optics*, 50, 28, F72-F79, doi:10.1364/AO.50.000F72

Hines, C., 1968. A possible source of waves in noctilucent clouds, *J. Atmos. Sci.*, 25, 937-942.

Liu, X., Yue, J., Xu, J., Yuan, W., Russell III, J., Hervig, M., Nakamura, T., 2016. Persistent longitudinal variations in 8 years of CIPS/AIM polar mesospheric clouds, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 8390–8409, doi:10.1002/2015JD024624

Portnyagin, Y., Solovjova, T., 2000. Global empirical wind model for the upper mesosphere/lower thermosphere. I. Prevailing wind, *Ann. Geophys.*, 18, 300–315.

Robert, C. E., C. von Savigny, N. Rahpoe, H. Bovensmann, J. P. Burrows, M. T. DeLand, M. J. Schwartz, 2010. First evidence of a 27 day solar signature in noctilucent cloud occurrence frequency. *J. Geophys. Res.*, 115, D00I12, doi:10.1029/2009JD012359.

Rong P., Russell III J., Hervig M., Bailey S., 2012. The roles of temperature and water vapour at different stages of the polar mesosphere cloud season// *J. Geophys. Res.* V. 117. D04208, doi:10.1029/2011JD016464.

Thomas, G. E., B. Thuraiajah, M. E. Hervig, C. von Savigny, M. Snow. 2015. Solar-induced 27-day variations of mesospheric temperature and water vapor from the AIM SOFIE experiment: Drivers of polar mesospheric cloud variability, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 134, 56–68, doi:10.1016/j.jastp.2015.09.015.

Кудабаева Дина Айтжановна

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ И
ГЛОБАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЗОСФЕРНОЙ ОБЛАЧНОСТИ**

Автореф. дис. на соискание учёной степени канд. физ.-мат. наук

Подписано в печать 22.06.2017 г.

Формат 60×90/16. Усл. печ. л.1. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии «Принта»,
Республика Казахстан, г. Петропавловск,
ул. Жумабаева, 107.