

УДК 551.510

## ВАРИАЦИИ ПЛОЩАДИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЛЯ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ В СЕЗОНЫ 2007–2012 гг.

© 2015 г. Д. А. Кудабоева<sup>1, 2</sup>, А. А. Солодовник<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан  
e-mails: sde3@mail.ru; aasolodovnik@mail.ru

Поступила в редакцию 11.06.2014 г.

После доработки 19.10.2014 г.

По полученным с помощью аппаратуры спутника AIM суточным картам распределения полей серебристых облаков за 2007–2012 гг. исследованы изменения площади глобального поля мезосферных серебристых облаков по времени. Показано, что им свойственны некоторые общие закономерности, которые могут быть аппроксимированы математически простыми функциями, допускающими наглядную физическую интерпретацию. Обсуждаются особенности изменения площади облачного поля для отдельных сезонов.

DOI: 10.7868/S0016794015020133

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Серебристые облака и их высокоширотный аналог, полярные мезосферные облака, в летнее время образующие полярную шапку над соответствующим полушарием Земли, обладают сильной изменчивостью, проявляющейся на масштабах времени от десятков минут до десятков лет. Это и многие другие свойства мезосферных серебристых облаков (МСО) могут быть изучены на основе данных космических наблюдений глобального поля мезосферной облачности. В частности, на основании изучения многолетних данных о параметрах поля МСО северного полушария, полученных с помощью спутника AIM, показано, что не существует принципиальных различий в свойствах наблюдаемых с Земли серебристых облаков и наблюдаемых из космоса полярных мезосферных облаков [Солодовник и Кудабоева, 2011]. Единый подход к изучению этих объектов, отличающихся главным образом широтой появления, является общепринятым [Gadsden and Schröder, 1989].

Настоящее исследование имеет целью выявление свойств глобального поля МСО на основе космических данных о поле серебристых облаков северного полушария Земли, полученных с помощью аппаратуры спутника AIM [Russell et al., 2009]. Так, сезонный ход активности МСО и их площадь контролируются в основном температурой и влажностью верхней мезосферы. По данным наземных наблюдений МСО подавляющая часть МСО северного полушария регистрируется в июне–июле с максимумом многолетней кривой в первой половине июля [Fogle and Haurwitz, 1966]. Однако этот вывод может быть искажен влиянием сезонных изменений условий освещен-

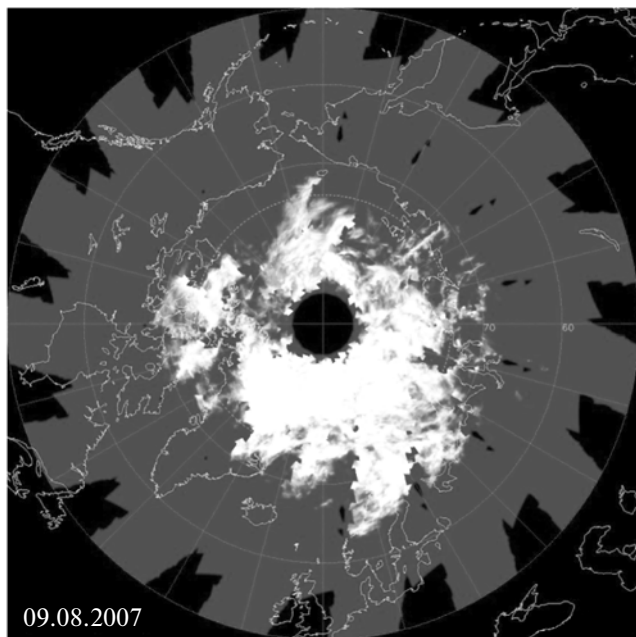
ности МСО и погодных условий. Некоторые данные о сезонных изменениях частоты появлений МСО по спутниковым данным на широтах 60, 65, 70° N приведены в публикации [DeLand et al., 2006], а без разделения на широтные полосы для отдельных лет – в работе [Rong et al., 2012].

### 2. ХАРАКТЕРИСТИКА НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения поставленной задачи нами детально изучены суточные карты распределения поля серебристых облаков (часто их именуют маргаритками), полученные с помощью бортового прибора CIPS, работающего в ультрафиолетовом диапазоне. Массив таких карт за все годы с момента запуска AIM (с 2007 г.) находится в открытом доступе и дополняется данными каждого последующего сезона на специальном сайте <http://aim.hamptonu.edu>. Пример такой карты показан на рис. 1.

В настоящей работе анализируются данные построенных за сутки карт для широт 50 – 80° N в летние сезоны 2007–2012 гг. По условиям наблюдений (рис. 2) эти карты соответствовали узкому диапазону местного солнечного времени, 22–24 ч для 50–80° и несколько более широкому диапазону 18–24 ч для 70–85°.

Ограничение исследуемых широт с севера связано с полем зрения спутника при заданном наклонении орбиты (рис. 1). Влияние разброса местного времени в последнем широтном поясе едва ли скажется на общности наших выводов, поскольку физические условия (приток солнечной радиации) здесь практически неизменны по



**Рис. 1.** Изображения полей МСО (светлые детали) над северной полярной областью Земли. [<http://lasp.colorado.edu/aim/browse-images.php>]

причине полярного дня. При суточном накоплении информация на картах представляется равномерно по всем долготам для одного и того же интервала местного солнечного времени.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОЛЕЙ МСО И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

Оригинальные карты изображений полей МСО были обработаны посредством специальной программы, разработанной в среде MathCAD. По результатам обработки найдены площади, занятые МСО, выраженные в виде числа пикселей, которые заняты изображениями полей облачности на каждую дату.

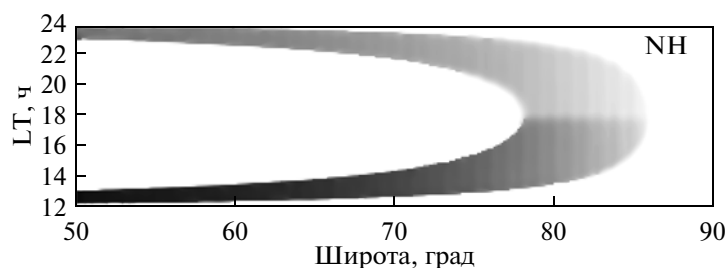
Алгоритм программы предполагает выполнение следующих действий. Изображения полей МСО трансформировались в матричную форму

представления. По совокупности изображений определялось значение фона, которое в пределах отдельного снимка и каждой годичной серии изменялось весьма незначительно (фактически на 1–2 при уровне фона  $\sim 72$  усл. ед.). В дальнейшем значение яркости фона вычиталось (с учетом дисперсии его значения) по-пиксельно. Вычислялось общее число пикселей с ненулевыми значениями яркости (занятых облаками). Критичное для отличия облака от фона значение яркости отдельного пикселя ( $\sim 100$ – $105$  усл. ед.) уверенно применимо к ситуации с развитыми облачными полями. При идентификации МСО учитывалось и влияние служебных символов на картах.

Сезонные показатели хода активности облакообразования в течение каждого из сезонов видимости представлены на рис. 3 и в табл. 1. На рис. 3 приведена сводка графиков, изображающих изменение площади поля МСО в течение всех сезонов наблюдений МСО, зарегистрированных спутником для периодов с 2007 по 2012 гг.

Из рисунка 3 можно заметить достаточно близкое расположение эпох максимального развития площади облачных полей, причем даты этих максимумов близки к тем, которые получены задолго до запуска AIM из наземных наблюдений [Бронштэн и Гришин, 1970; Бронштэн, 1984]. Дата максимума серебристых облаков довольно уверенно приходится на интервал времени от 1 до 15 июля [Fogle and Haurwitz, 1966]. Однако, несмотря на кажущуюся на первый взгляд, общую форму сезонного хода всех графиков 2007–2012 гг., рис. 3 демонстрирует и межгодовые различия. Интерес представляет сезон 2007 г., когда наблюдался двойной максимум площади МСО (рис. 4). Аналогичное поведение с двойным максимумом именно для 2007 г. демонстрируют частота появления полярных мезосферных облаков и наблюдаемая массовая плотность льда по данным прибора SOFIE на спутнике AIM [Rong et al., 2012].

Подобное поведение в некоторые годы отмечено и по наземным наблюдениям для частоты появления серебристых облаков [Бронштэн, 1984; Fogle and Haurwitz, 1966]. Впрочем, это сравнение не вполне строгое, поскольку для до-



**Рис. 2.** Выборка по местному времени прибора CIPS. Темный и светлый участки соответствуют нисходящим и восходящим орбитам. [<http://lasp.colorado.edu/aim/documentation.html>]

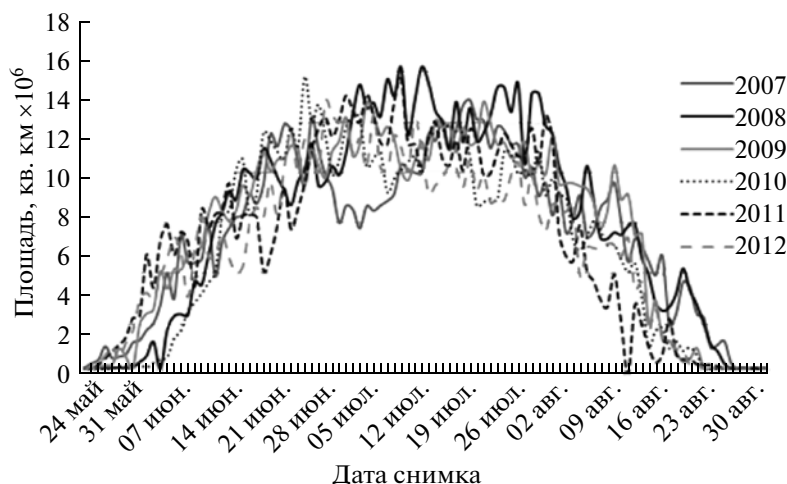


Рис. 3. Наложение графиков площадей МСО в период с 2007 по 2012 гг.

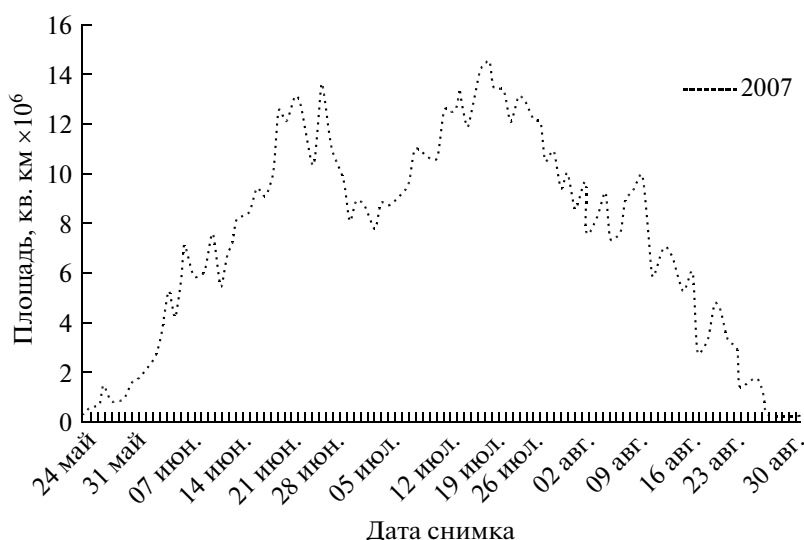


Рис. 4. График площади МСО в сезон 2007 г.

статочны высоких широт при наземных наблюдениях в прошлом всегда получалась двугорбая сезонная кривая. Здесь сказывалось влияние на условия наблюдений периода белых ночей [Fogle and Haurwitz, 1966].

#### 4. АППРОКСИМАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОЩАДИ ПОЛЯ МСО И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Располагая данными об изменениях площади поля МСО северного полушария, можно попытаться выявить как общие свойства, так и некоторые особенности процесса формирования полей серебристых облаков в сезоны их видимости разных лет. Первый этап исследования имел целью выявить самые общие закономерности измене-

ния площади облачного поля для каждого сезона. Для этого использована специально разработанная программа, позволяющая подобрать аппроксимирующую функцию к графику изменения площади облачного поля. На рисунке 5 приведены результаты параболической аппроксимации хода площади облачного поля для сезонов 2007–2012 гг. Критериями адекватности аппроксимации приняты минимальность числа свободных параметров функции и отклонения от нее исследуемой зависимости. Оказалось, что с хорошей точностью (усредненная ошибка аппроксимации относительно максимального значения площади по сезонам не более 9%) изменение площади МСО для каждого сезона и суммарно может быть описано параболической функцией. По сходному закону в летний сезон должно изменяться влагосо-

**Таблица 1.** Даты максимального развития площади поля серебристых облаков в сезоны 2007–2012 гг.

| Сезон наблюдений                 | 2007 г.            | 2008 г.            | 2009 г.           | 2010 г. | 2011 г.           | 2012 г. |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| Даты максимумов по графикам      | 26 июня<br>19 июля | 12 июня<br>26 июля | 4 июля<br>21 июля | 25 июня | 9 июля<br>30 июля | 28 июня |
| Даты максимумов по аппроксимации | 12 июля            | 5 июля             | 10 июля           | 2 июля  | 6 июля            | 3 июля  |

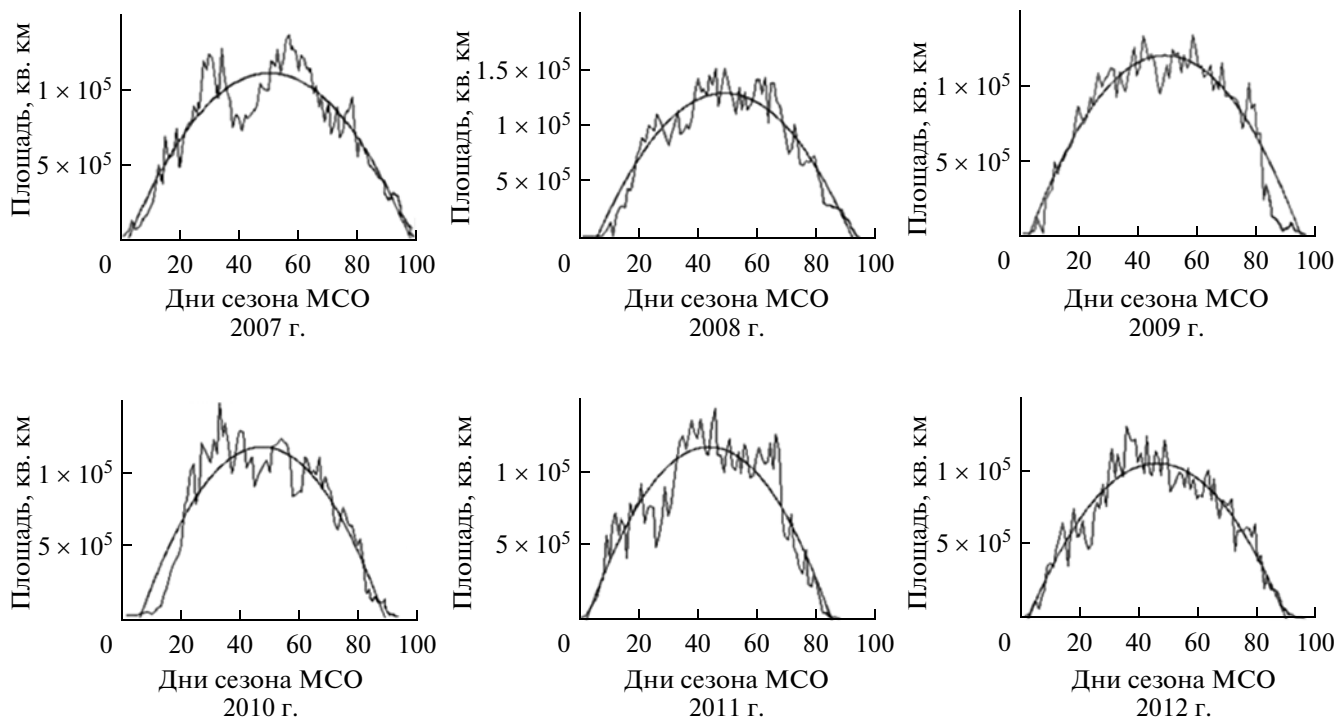
держание атмосферы в высоких широтах северного полушария, поскольку оно определяется сезонным изменением притока тепловой энергии [Матвеев, 1965]. Эти обстоятельства приобретают особую важность в контексте существования механизма, определяющего образование рекуррентного поля МСО над полярными областями в летние сезоны, в котором существенная роль отводится конвекции, охватывающей не только тропосферу, но стратосферу и мезосферу. Известны успешные попытки моделирования таких полей МСО, базирующиеся на сходных идеях [Кайдалов и др., 2004].

Следует отметить, что в отличие от наземных визуальных наблюдений прошлого века, совершенно по-иному выглядят графики площади полей МСО, построенные на основе спутниковых данных, в начале и в конце сезона их видимости. Так, серебристые облака в марте–апреле – начале мая, а также в сентябре–октябре, встречающиеся в обзоре [Fogle and Haurwitz, 1966], спутниковы-

ми наблюдениями не отмечены ни разу. Заметим, что последние результаты совершенно свободны от субъективизма наблюдателя. В этой связи в работе [Fogle and Haurwitz, 1966] наиболее близкими к современным данным выглядят результаты шотландских наблюдателей, которые также вполне возможно аппроксимировать параболической зависимостью.

Согласно полученным данным, заметно некоторое различие в длительности сезонов видимости МСО, впрочем, незначительное. В частности, первое появление МСО ранее 24 мая не отмечено ни разу. Эта дата и является условным началом отсчета на графиках. В табл. 1 показаны определенные по результатам аппроксимации даты максимального развития площади поля серебристых облаков.

Температуру и влажность в области образования облаков, меняющиеся по широте, полезно сопоставить с локальными характеристиками МСО. Такое сопоставление успешно проведено в

**Рис. 5.** Результаты параболической аппроксимации сезонных изменений площади поля серебристых облаков ("0" соответствует началу сезона – 24 мая).

**Таблица 2.** Результаты сопоставления кривых частоты появления МСО и площади для сезонов 2007–2010 гг.

| Параметры осредненных кривых за 2007–2010 гг. | Дата максимума | Ширина кривой на половине максимума |
|-----------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| Площадь МСО                                   | 4 июля         | 70                                  |
| Частота появления МСО                         | 30 июня        | 81                                  |

работах [Dalin et al, 2011; Rong et al, 2012]. Площадь, занятая МСО, является еще одной характеристикой полярной мезосферы, не связанной напрямую с другими характеристиками МСО, измеряемыми со спутника, прежде всего, с частотой появления и альбедо МСО. Если последние две величины характеризуют локальные свойства МСО, хотя и осредняемые при обработке по всей области их нахождения, то площадь характеризует размеры области, которая по своим физическим свойствам благоприятствует существованию МСО. Тем не менее интересно сопоставить среднесезонные кривые площади и частоты появления МСО по данным того же спутника. Для обеспечения одинакового интервала лет и одной и той же широтной выборки данных мы использовали результаты Rong et al. [2012], где приведены кривые частоты появления МСО для сезонов 2007–2010. Соответственно эти кривые и кривые площади из настоящей статьи осреднены по указанным четырем годам. Результаты сопоставления сведены в табл. 2. Возможно, что некоторая разница в датах максимального развития и эффективной ширине сезона для двух характеристик МСО отражает большую инерционность площади по сравнению с частотой появления МСО.

## 5. ВЫВОДЫ

Таким образом, в данной статье впервые представлены результаты исследования изменения площади глобального поля МСО по времени (МСО в Арктике), выявленные по данным спутниковых наблюдений 2007–2012 гг. Обнаружена закономерность: общий параболический ход исследуемой характеристики глобального поля серебристых облаков северного полушария. Обнаружено, что отличие графиков изменения площади наблюдаемых полей МСО от аппроксимирующей функции имеет некоторые индивидуальные особенности в 2007 г., при этом даты максимумов развития облачного поля слабо изменяются от сезона к сезону.

Авторы выражают искреннюю благодарность канд. физ.-мат. наук, старшему научному сотруд-

нику Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Н.Н. Перцеву за ценные советы, оказавшие существенную помощь при написании настоящей статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бронштэн В.А., Гришин Н.И. Серебристые облака. М.: Наука, 360 с. 1970.
- Бронштэн В.А. Серебристые облака и их наблюдение. М.: Наука, 21 с. 1984.
- Кайдалов О.В. Исследование пространственно-временной эволюции продуктов сгорания и выбросов компонентов ракетных топлив в околоземном космическом пространстве и атмосфере, и оценка последствий их воздействия на процессы образования мезосферных облаков и загрязнения приземной атмосферы методом физико-математического моделирования / Научн. изд. Вып. 6 / Калужский научн. центр, адм. Калужской обл., РФФИ. Калуга: Полиграф-Информ., 487 с. 2004.
- Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 104 с. 1965.
- Солодовник А.А., Кудабаева Д.А. Метеорология тропосферы и серебристые облака // Материалы международного конф. “Космос на благо человечества — взгляд в будущее”. Астана. С. 83–85. 2011.
- Fogle B., Haurwitz B. Noctilucent clouds // Space Sci. Rev. V. 6. № 3. P. 289–340. 1966.
- DeLand M.T., Shettle E.P., Thomas G.E., Olivero J.J. A quarter-century of satellite polar mesospheric cloud observations // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 68. P. 9–29. 2006.
- Gadsden M., Schröder W. The nature of noctilucent clouds // Gerl. Beitr. Geophys. V. 98. № 5. P. 431–442. 1989.
- Rong P.P., Russell J.M., III, Hervig M.E., Bailey S.M. The roles of temperature and water vapor at different stages of the polar mesospheric cloud season // J. Geophys. Res. V. 117. № D4. P. 1–17. DOI:10.1029/2011JD016464. 2012.
- Russell J.M., Bailey S.M., Gordley L.L. et al. The aeronomy of ice in the mesosphere (AIM) mission: Overview and early science results // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 71. № 3–4. P. 289–299. doi: 10.1016/j.jastp. 2008.08.011. 2009.