

В.Д. ВДОВИЧЕНКО, Г.А. КИРИЕНКО, Н.В. СИНЯЕВА

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ И СКОРОСТЕЙ МЕЗОСФЕРНЫХ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ В 2006 г.

В данной статье представлены новые результаты исследований мезосферных серебристых облаков (МСО) на основе летних наблюдений 2006 г в Северо-Казахстанской области. Обработаны 150 пар снимков одновременных базисных наблюдений, полученных в ночь с 8 на 9 июня из двух наблюдательных пунктов. Эти пункты (Петропавловск и Сумное) находятся практически на одном географическом меридиане на расстоянии ~49 км.. В результате обработки определены размеры полей МСО, их удаленность от места наблюдения, направление и скорость движения фронта, высоты отдельных деталей МСО и их развитие, а также некоторые характеристики волновой структуры.

Лаборатория физики Луны и планет (ЛФЛП) Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова продолжает исследование уникального явления природы – мезосферных серебристых облаков (МСО) в рамках государственной космической программы республики Казахстан 2005-2007 гг. Феномен МСО не только все еще до конца не изучен, но и открывает новые возможности контроля за степенью техногенного загрязнения атмосферы, включая продукты сгорания ракетного топлива при запусках космических аппаратов,

а также - за изменениями климата Земли. Есть предположение о том, что частицы МСО могут повредить обшивку космического аппарата во время прохождения его через мезосферу. В числе других, эти аспекты определяют место МСО в космической программе республики Казахстан [1, 2]. Задача сводится к тому, чтобы, изучая физические и динамические характеристики мезосферных облаков, проследить за их изменением под влиянием перечисленных факторов. Проблема очень сложная и может быть решена толь-

ко в комплексе с теоретическими и экспериментальными исследованиями очень широкого плана.

Предметом настоящей статьи является описание методики последних наблюдений и их обработки, а также - предварительный анализ полученных данных.

Базисные наблюдения полей МСО осуществлялись синхронно с точностью до 5 секунд из трех базисных пунктов одинаковыми цифровыми фотокамерами типа Panasonic Lumix, оптические оси которых были ориентированы строго на север ( $\pm 30'$ ) под углом к горизонту  $19^\circ$ . Географические координаты пунктов наблюдения следующие:

	Долгота	Широта	Период наблюдений
Петропавловск	$69.12^\circ$	$54.87^\circ$	с 25.05 по 10.08.2006
Сумное	$69.07^\circ$	$55.31^\circ$	с 25.05 по 30.06.2006
Ивановка	$68.90^\circ$	$54.67^\circ$	с 1.07 по 15.08.2006
Мирное	$67.32^\circ$	$54.56^\circ$	с 25.05 по 10.08.2006

Для предварительной обработки мы выбрали 150 пар кадров, полученных в ночь с 8 на 9 июня 2006 г., одновременно из двух пунктов (Петропавловск и Сумное), находящихся практически на одном и том же географическом меридиане на расстоянии 48.98 км.

МСО в эту ночь появились в 00 ч 35 мин. Их поле занимало площадь  $750 \times 600$  км - по долготе



Рис. 1. Фрагмент поля МСО 8-9.06.2006 г.

Мелкомасштабная структура просуществовала в течение 35 мин, после чего фронт разделился на несколько волновых зон размером  $60 \times 100$  км. Через 12 мин повторилась мелкомасштабная волновая структура на месте первой полосы, которая просуществовала ~20 мин с теми же характеристиками. Анализ движения всего фронта и отдельных мелкомасштабных структур в нем указывает на значительное различие в скоростях их перемещения. Средняя скорость перемещения всего фронта составила 340-360

и широте, соответственно, с центром, расположенным над Ханты-Мансийском. Все поле МСО можно было условно разделить на два хорошо развитых фронта.

**Западный облачный фронт МСО** ( $350 \times 600$  км), расположенный на высоте 75-85 км и первоначально выглядевший в виде обычного флера, перемещался в юго-западном направлении со средней скоростью 360 км/ч. Уже в 00 ч 57 мин внутри фронта стала развиваться средняя и мелкомасштабная волновая структура, которая в течение 20 мин разделила поле МСО на три самостоятельные параллельные полосы, шириной 50-60 км, ориентированные в юго-западном направлении и в момент максимального развития (1 ч 20 мин) имеющие следующие характеристики:

- первая полоса протяженностью 105 км, расположенная на расстоянии 560 км, содержала 12 гребней со средним расстоянием между ними 8.5 км;

- вторая полоса протяженностью 75 км, расположенная на расстоянии 490 км, содержала 10 гребней со средним расстоянием между ними 7.5 км;

- третья полоса протяженностью 50 км, расположенная на расстоянии 430 км, содержала 7 гребней со средним расстоянием между ними 6.9 км.

км/ч, а для мелкомасштабных гребней – 110-140 км/ч. Поскольку волновая структура серебристых облаков чаще всего образуется в месте соприкосновения двух воздушных потоков, движущихся один над другим и имеющих разные температуры, то можно предположить, что эти потоки двигались относительно друг друга примерно со скоростью 200-240 км/ч.

Исследование отдельных деталей позволило выявить такие характеристики как среднее время жизни детали, ее скорость и направление

перемещения, изменение высоты детали. Так, например, одна из деталей начала формироваться на высоте 82 км на удалении 520 км от Петропавловска. В течение 15 мин она приближалась, продолжая развиваться, находясь на высоте 80 км. Затем она опустилась на высоту 72 км (на расстоянии 356 км) и полностью распалась, спустя 20 мин от начала формирования.

Другая деталь, расположенная на высоте 80 км и на расстоянии 520 км, просуществовала от начала формирования до полного распада всего 12 мин, двигаясь со средней скоростью 125 км/ч.

**Восточный облачный фронт МСО** (250x300 км) на расстоянии 600-750 км, выглядевший в виде обычного флера, первоначально развивался в юго-восточном направлении, немного удаляясь от Петропавловска. Спустя ~1 ч, он стал разворачиваться, двигаясь сначала в южном, а затем в юго-западном направлении, медленно распадаясь на фрагменты в виде отдельных полос, и через ~30 мин - полностью распался.

Первым этапом обработки была большая подготовительная работа с каждым фотокадром, которая включала в себя определение истинного времени, угла поворота кадра ( $\mu$ ), определение масштаба, фокуса камеры, северного меридиана, линии горизонта.

В качестве опорных объектов были взяты звезды  $d$  и  $v$  Возничего ( $S_1$  и  $S_2$ , соответственно), имеющие один и тот же часовой угол. Для момента времени, когда звезды  $S_1$  и  $S_2$  проходили через нижнюю кульминацию и находились вблизи середины кадра, по их координатам достаточно корректно определялись:

- направление на север и линия вертикала,
- масштаб  $M_g$  (в долях градуса на пиксель) или  $M_p$  (цена пикселя в градусах),

- фокусное расстояние камеры  $F$  (в пикселях),

- положение горизонта и координаты центра кадра в координатах небесной сферы через его горизонтальные координаты - высоту ( $h_0$ ) и азимут ( $A_0$ ).

Важно отметить, что на точность определения удаленности  $r$  и высоты  $H$  полей МСО влияет нескольких факторов, и в первую очередь - однозначность отождествления деталей полей МСО на двух базисных снимках. Мы попытались снизить роль этого фактора, используя методику совмещения полей МСО путем полупрозрачного

наложения позитивного и негативного кадров, снятых из двух базисных ПН. При такой методике точность совмещения полей МСО определяется полной компенсацией и исчезновением исследуемого фрагмента изображения. После этого на кадре первого основного пункта наблюдения задаются координаты детали МСО и определяются значения угловой высоты  $h_1$  и азимута  $A_1$ . При этом не возникает особых трудностей в задании координат данной области МСО, так как компенсируется заметная часть кадра. Значение высоты  $h_2$  для второго пункта наблюдения затем вычисляется по значению  $h_1$  и величине смещения положения опорной звезды  $\Delta Y$ , умноженной на соответствующий масштабный коэффициент  $M$ .

### Выводы

Предварительный анализ обработки 150 пар синхронных фотографий серебристых облаков, полученных в ночь 8-9 июня 2006 г из двух базисных пунктов, дает следующие характеристики полей МСО:

- высота формирования МСО находится на уровне 75-85 км и, возможно, состоит из трех слоев;

- в полях МСО присутствуют средне- и мелкомасштабные волновые структуры с периодом 60-80 и 7-10 км, соответственно;

- время существования глобального фронта МСО более 2 ч, а мелкомасштабных волновых структур - от 10 до 30 мин;

- скорость перемещения фронта МСО порядка 320-360 км/ч, возможно наличие встречного движения вышележащих воздушных масс со скоростью 180-200 км/ч; внутри глобального фронта отмечено относительное перемещение деталей со скоростью 100-125 км/ч;

- отдельные детали имеют вертикальное перемещение с 82 до 72 км за время 20 мин, что соответствует вертикальной скорости переноса масс 8 м/с;

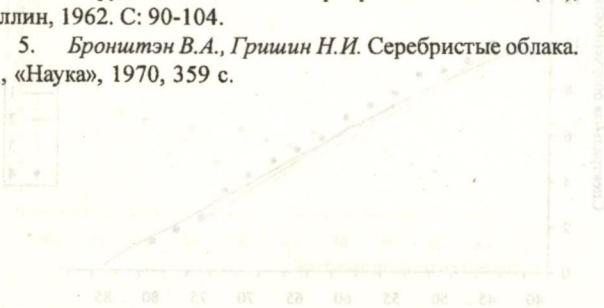
- по отдельным деталям выявлено, что начало их формирования происходит на высоте 82-85 км и полный распад - при опускании на высоту 72-75 км.

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры физики Северо-Казахстанского государственного университета (СКГУ) за огромную помощь, оказанную экспедиции в организационном и бытовом плане.

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Солововник А.А., Тейфель В.Г. и др. Проект «Мезосфера»- изучение серебристых (мезосферных) облаков// Космические исследования в Казахстане, Алматы: РОНД, 2002. С: 308-324.
2. Вдовиченко В.Д., Тейфель В.Г., Кириенко Г.А., Солововник А.А., Харитонова Г.А., Каримов А.М., Синяева Н.В. Изучение мезосферных серебристых облаков в рамках казахстанских космических программ // Труды международной научной конференции (Суворенный Казахстан: 15-летний путь развития космической деятельности), посвященной 70-летию академика У.М. Султангазина. Алматы: РК, МОН РК, 4-6 октября 2006 г. С: 355-358.
3. Бронштэн В.А. Серебристые облака и их наблюдение. М., «Наука», 1984. С: 1-128.
4. Буров М.И. Определение проекции серебристых облаков на земную поверхность фотограмметрическим методом // Труды совещания по серебристым облакам (III), Таллин, 1962. С: 90-104.
5. Бронштэн В.А., Гришин Н.И. Серебристые облака. М., «Наука», 1970, 359 с.



### Резюме

Солтүстік Қазақстан аймағында 2006 жылдың жазғы бақылаулары негізінде мезосфералық, құмістей бұлттардың жана зерттеу нағижелері көлтірілген. Екі бақылайтын пункттен 8-нен 9-шы маусымға қараған түні бір мезгілде алынған негізгі бақылаулардың 150 қосарлы суреттері өндөлген. Бұл пункттер (Петропавл мен Сүмный) бір географиялық меридианда ~49 шақырым аралиғында болған. Өндеудің нөтижесінде мезосфералық құмістей бұлттардың ерісінің өлшемдері, оларды жерден қашақтауын бақылау шебінің бағыты мен оның қозғалысының жылдамдығы, мезосфералық құмістей бұлттардың жеке бөлшектерінің биіктіктері және олардың дамуы, сондай-ақ толқынды құрылымының кейір сипаттамалары анықталды.

### Summary

Some new preliminary results of the 2006 summer observations of Noctilucent Clouds (NLC) in Petropavlovsk (North Kazakhstan), are presented. 150 pairs of pictures taken with the digital cameras, on the night of 8-9 of June, were processed. Those were obtained simultaneously at the two observation stations (Petropavlovsk and Sumnoe), which are nearly the 49 km way from each other, along almost the same geographical meridian. The NLC field sizes, their distances from the observation stations, the NLC moving front direction and velocity, altitudes of the separate details of the NLC and their evolution, and also some characters of the wave structure, were determined.