

# Наблюдения аэрозольных слоев в верхней стратосфере после падения чебаркульского метеорита

ЧЕРЕМИСИН А.А.<sup>1,2</sup>, НОВИКОВ П.В.<sup>2</sup>, ИВАНОВ В.Н.<sup>3</sup>, ЗУБАЧЕВ Д.С.<sup>3</sup>,  
КОРШУНОВ В.А.<sup>3</sup>, ЛАПШИН В.Б.<sup>4</sup>, ИВАНОВ М.С.<sup>4</sup>, ГАЛКИН К.А.<sup>4</sup>, ГУБКО П.А.<sup>4</sup>,  
АНТОНОВ Д.Л.<sup>4</sup>, ТУЛИНОВ Г.Ф.<sup>4</sup>, НИКОЛАШКИН С.В.<sup>5</sup>, МАРИЧЕВ В.Н.<sup>6,7</sup>,  
БЫЧКОВ В.В.<sup>8</sup>, ШЕВЦОВ Б.М.<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Россия

<sup>2</sup>Красноярский институт железнодорожного транспорта, Россия

<sup>3</sup>ФГБУ "НПО "Тайфун", Россия

<sup>4</sup>ФГБУ "ИПГ Россия

<sup>5</sup>Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,  
Россия

<sup>6</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Россия

<sup>7</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

<sup>8</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Россия

aacheremisin@gmail.com novikov-pv@yandex.ru korshunov@typhoon.obninsk.ru  
director@ipg.geospace.ru nsvsci@rambler.ru marichev@iao.ru vasily.v.bychkov@gmail.com

Прохождение Чебаркульского метеорита, имевшее место 15 февраля 2013 года над г. Челябинском и прилегающим регионом, имело большой общественный резонанс и вызвало естественный интерес исследователей различных специальностей. Масса метеорита оценивалась в 10 тыс. тонн, что сравнимо с общей массой метеорного вещества, входящего в земную атмосферу в течение года (от 16 до 40 тыс. тонн по разным оценкам). Взрыв метеорита в стратосфере оставил аэрозольный след, который, в принципе, мог быть зафиксирован методом лидарного зондирования.

В докладе представлены результаты лидарных наблюдений высотных аэрозольных слоев, которые появились в атмосфере после падения Чебаркульского метеорита в Москве, Обнинске и Якутске. Проведенный траекторный анализ показал, что наблюдавшиеся слои пришли из района падения метеорита.

Первые следы метеорного происхождения были зафиксированы лидарной станцией г. Обнинска 18 февраля на высоте около 42 км. Отношение обратного рассеяния  $R$  на длине волны 532 нм составляло в максимуме слоя 1.15. В последующем слои наблюдались в Обнинске и Москве на высотах от 34 до 38 км, начиная с 20 февраля примерно с 03 час. мск. Наиболее сильные слои наблюдались с 21 по 26 февраля, а в марте месяце они значительно ослабли. По данным измерений в Обнинске, проведенным с разрешением 0.15 км, ширина слоев на уровне 0.5 составляла несколько сот метров. Максимальная зафиксированная величина  $R$  в середине слоев достигала уровня 2.8. Результаты, полученные в Обнинске и Москве дополняют друг друга и согласуются между собой.

После падения метеорита в Якутске 20 февраля около 14:00 UT также наблюдался тонкий аэрозольный слой на высоте 39.5 км. В максимуме коэффициент аэрозольного рассеяния  $R$  составил 1.8 на длине волны 532 нм.

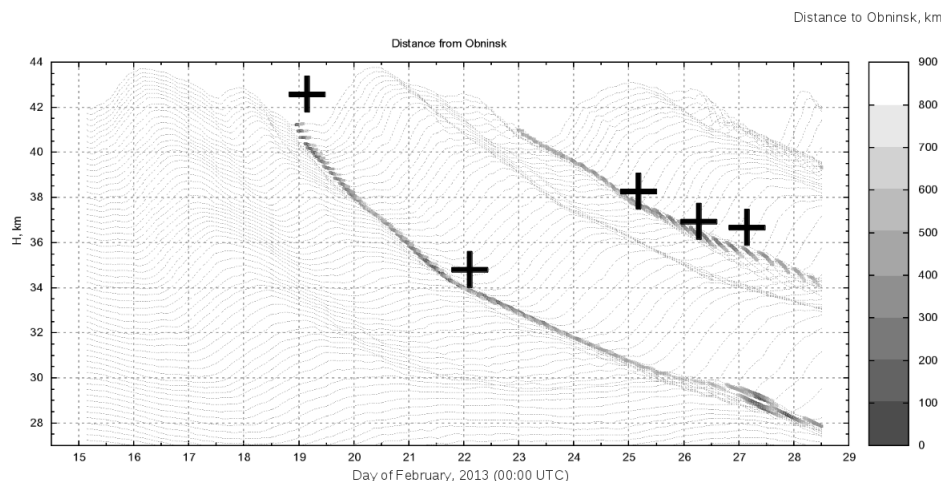


Рис. 1. Высотно-временная развёртка рассчитанных траекторий, начатых от метеорного следа вблизи Челябинска 15 февраля в 03:20 UTC. Градации серого на траекториях соответствуют расстоянию до Обнинска. Крестики соответствуют высотам аэрозольных слоёв, наблюдавшихся над Обнинском.

В Томске после падения метеорита лидарные наблюдения проводились 16, 20 и 21 февраля. Наблюдалась достаточно сложная и изменчивая картина фонового аэрозоля на высотах 15-45 км, однако выраженных аэрозольных слоёв на этом фоне зафиксировано не было.

Для анализа происхождения зарегистрированного стратосферного аэрозоля были проведены расчёты изоэнтропийных траекторий воздушных масс по методике, описанной в [1]. Траектории начинались от координат метеорного следа, рассчитанных чешскими учёными по видеозаписям падения метеорита [2]. Начальные точки обратных траекторий располагались на высотах от 15 км ( $60.6^\circ$  в.д.,  $54.9^\circ$  с.ш.) до 42 км ( $61.9^\circ$  в.д.,  $54.8^\circ$  с.ш.) с шагом 0,25 км по высоте. Перемещение воздушных масс происходило в восточном направлении, в соответствии с вращением циркумполярного вихря в зимний сезон. Наибольшую скорость имели воздушные массы на высотах 42-44 км, к 18-19 февраля они дошли до Обнинска и Москвы на высотах наблюдения аэрозоля, обогнув Северный полюс. 22 февраля воздушные массы, содержащие аэрозоль от метеорного следа, достигли Обнинска на высотах 33-34 км. 25-27 февраля над Обнинском проходили воздушные массы на высотах 36-38 км, сделав второй оборот вокруг Северного полюса. Якутска эти воздушные массы достигли 20 февраля на высоте наблюдения аэрозоля.

На рис.1 приведена высотно-временная развёртка рассчитанных траекторий. По оси абсцисс отложены даты февраля, по оси ординат - высота траекторий. Метки дат соответствуют 00:00 всемирного координированного времени (UTC). На траекториях градациями серого показано расстояние до Обнинска: чем темнее, тем ближе прошла траектория. Крестиками в соответствующие дни отмечены высоты наблюдения пиков аэрозольного рассеяния. Следует отметить достаточно хорошее согласие между высотами прохождения траекторий вблизи Обнинска, и высотами наблюдения аэрозоля.

Аналогичное совпадение характерно и для Якутска: 20 февраля траектории, содержащие аэрозоль метеорного происхождения, прошли наиболее близко к Якутску на высоте около 39.5 км.

В этот же период лидарные наблюдения проводились в с. Паратунка Камчатской области, 21 и 25 февраля. Была зарегистрирована типичная картина диффузных аэрозольных слоев для этого сезона на Камчатке [3] на высотах 24-44 км, с значениями отношения рассеяния порядка 1.1-1.15. Однако в дни наблюдений траектории, которые могли содержать

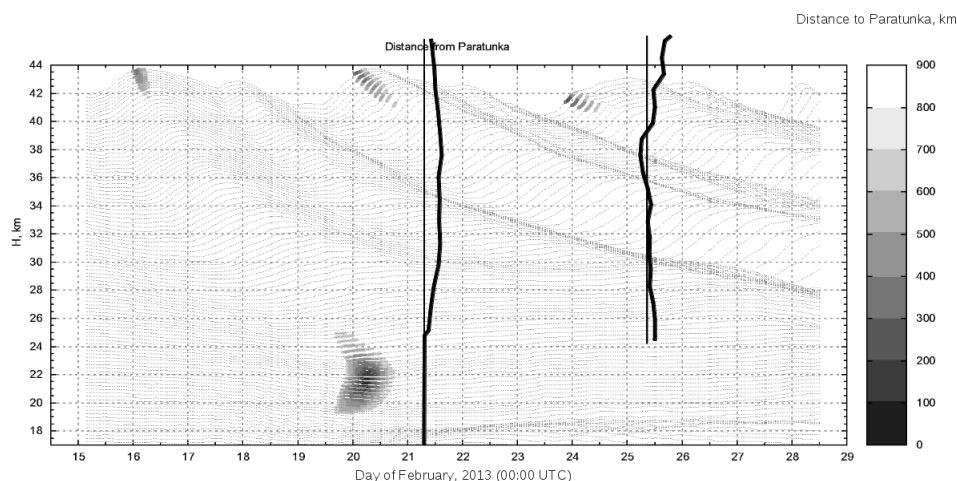


Рис. 2. Высотно-временная развёртка рассчитанных траекторий, начатых от метеорного следа вблизи Челябинска 15 февраля в 03:20 UTC. Градации серого на траекториях соответствуют расстоянию до с. Паратунка Камчатской области. Профили соответствуют лидарным наблюдениям в с. Паратунка.

аэрозоль метеорного происхождения, прошли слишком далеко от с. Паратунка (рис.2).

Оценка влияния погрешностей используемых данных на результаты моделирования траекторий, проведенная методом Монте-Карло в соответствии с [2], показала, что на высотах 30-40 км случайный разброс траекторий через 5 дней составил около 300 км, а через 10 дней 300-800 км. Ближайшие расстояния от точек наблюдений до траекторий имеют тот же порядок, следовательно, могут служить критерием того, что траектории достигли точки наблюдения.

Таким образом, анализ расчётных траекторий воздушных масс показал, что стратосферный аэрозоль, наблюдавшийся с 18 февраля 2013 года сетью лидарных станций на широтах 55-65° с.ш., вероятно, имеет метеорное происхождение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-05-01036а), программы Президиума РАН №16, Минобрнауки РФ (ГК № 14.518.11.7053, соглашение № 14.B37.21.0612) и интеграционного проекта СО РАН №106. Авторы благодарны Метеорологической службе Великобритании (UK Meteorological Office) за предоставленные данные.

## Литература

1. Черемисин А.А., Маричев В.Н., Новиков П.В. Лидарные наблюдения вулканического аэрозоля в атмосфере над Томском // Метеорология и гидрология. – 2011. – № 9. – С.46-56.
2. Borovicka J., Spurny P., Shrbeny L. Trajectory and orbit of the Chelyabinsk superbolide // Central Bureau for Astronomical Telegrams, IAU. – 2013. – No. 3423. – URL <http://www.icq.eps.harvard.edu/CBET3423.html> (дата обращения 30.04.2013).
3. Черемисин А.А., Новиков П.В., Шнипов И.С., Бычков В.В., Шевцов Б.М. Лидарные наблюдения и механизм формирования структуры аэрозольных слоев в стратосфере и мезосфере над Камчаткой // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2012. – Т. 52, № 5. – С. 1-11.

# Observations of aerosol layers in the upper stratosphere after falling Chebarkulsko meteorite

*Cheremisin A.A.<sup>1</sup>, Novikov P.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Siberian Federal University, Russia*

<sup>2</sup> *Krasnoyarsky Institute of Railway Transport, Russia*

Passage Chebarkulsky meteorite, which took place February 15, 2013 over the city of Chelyabinsk and the surrounding region, there has been great public outcry and led to a natural interest of researchers of different disciplines. Mass of the meteorite was estimated at 10 thousand tons, which is comparable to the total mass of meteoric material entering the earth's atmosphere during the year (from 16 to 40 thousand tons according to various estimates).

Mass of the meteorite was estimated at 10 thousand tons, which is comparable to the total mass of meteoric material entering the earth's atmosphere during the year (from 16 to 40 thousand tons according to various estimates). The explosion of a meteorite in the stratosphere aerosol left a trail that, in principle, could be fixed by the lidar observations.

The report presents the results of lidar observations of high-altitude aerosol layers, which appeared in the atmosphere after the fall of the meteorite Chebarkulsky in Moscow, Obninsk and Yakutsk. Held trajectory analysis showed that the observed layers came from the area of the fall of the meteorite.