

Наблюдения метеоров с системой Mini-MegaTORTORA (ММТ-9)

Орехова Н.В.¹, Бескин Г.М.^{2,4}, Бирюков А.В.^{4,5}, Бондарь С.Ф.¹, Иванов Е.А.¹, Карпов С.В.^{2,4}, Каткова Е.В.¹, Перков А.В.¹, Сасюк В.В.^{3,4}, Усанин В.С.⁴

¹филиал ОАО «НПК «СПП» «СОН «Архыз»; ²САО РАН, Нижний Архыз;
³ООО «Параллакс», Казань; ⁴Казанский (Приволжский) Федеральный
Университет; ⁵ГАИШ МГУ

Аннотация

Описаны результаты оптических наблюдений метеоров с помощью 9-канальной широкоугольной системы высокого временного разрешения Mini-MegaTORTORA (ММТ-9), проводящей систематический мониторинг небесной сферы с временным разрешением 0.1 с и полем зрения 900 кв. градусов. Выделяемые в процессе поиска транзиентов метеорные события сохраняются в базе данных, которая содержит информацию о блеске, траектории, скорости и длительности событий с временным разрешением 0.1 секунды. За первый год работы системы (около 200 наблюдательных ночей) было обнаружено свыше 65 тысяч метеоров, в среднем 300-350 за ночь. Их длительность менялась от 0.1 до 2.5 с при угловой скорости вплоть до 38 град/с. Самые слабые метеоры имели блеск в максимуме трека около 10 зв. вел., причем эта характеристика для большинства объектов лежит в диапазоне от 4 до 8 mag, что в среднем на 5 звездных величин больше, чем у метеоров из баз данных EDMOND и SonotaCo. Десятки объектов наблюдались одновременно в BVR полосах несколькими каналами системы. Для них определены вариации цветов вдоль трека.

Here we report on the results of meteor observations with 9-channel Mini-MegaTORTORA (ММТ-9) wide-field optical monitoring system with high temporal

resolution. MMT-9 continuously monitors the sky with 0.1 s temporal resolution in 900 square degrees field of view, detecting various kinds of transient events, including the meteors, on the fly using the real-time data processing pipeline. All the meteors data are stored to the database. During the first year of operation (about 200 observational nights) more than 65 thousand of meteors have been detected, at a rate of 300-350 per night, with durations from 0.1 to 2.5 seconds and angular velocities up to 38 degrees per second. The faintest detected meteors has the peak brightness about 10 mag, while the majority - from 4 to 8 mag, and are much fainter than the meteors from EDMOND and SonotaCo databases. Tens of objects have been observed in BVR filters by several channels simultaneously. Color variations along the trail for them are determined.

1. Введение

Широкопольные мониторинговые системы высокого временного разрешения являются оптимальными инструментами для поиска и исследования быстрых транзиентных событий заранее неизвестной локализации, которые могут быть как космологическими (сверхновые, гамма-всплески), так и принадлежащими нашей Галактике (вспыхивающие и переменные звёзды) или же околоземными (астероиды, метеоры, искусственные спутники Земли). Разработанная нами в начале 2000-х камера FAVOR (Karpov et al., 2005) оказалась способна регистрировать большое количество слабых метеорных событий, недоступных для наблюдения другими методами (Багров и др., 2007). Действительно, традиционные фотографические и телевизионные наблюдения предполагают использование сверхширокоугольных камер с кадровой частотой 25 Герц, способных обнаруживать лишь достаточно яркие, преимущественно болидные, события с невысоким угловым разрешением (до десятка угловых минут) (Jopek, 2010; Madiedo, 2015). Наблюдавшиеся же камерой FAVOR события имели существенно, на несколько звёздных величин, более слабый блеск, а их количество составило около 10 тысяч с августа 2006 по март 2009 года.

Созданная нами девятиканальная мониторинговая система Mini-MegaTORTORA или ММТ-9 (Бескин и др., 2010; Viryukov et al., 2015; Карпов и др., 2015), являясь идейным наследником камеры FAVOR, обладает существенно большими возможностями для изучения метеорных событий благодаря большему полю зрения, лучшему проницанию и временному разрешению, а также возможности проводить многоцветные наблюдения. Её способность массового обнаружения слабых метеоров позволяет надеяться, что их изучение позволит продвинуться в исследовании мелкомасштабной компоненты состава метеорных потоков и уточнить распределение метеорных частиц по массам.

Начиная с июня 2014 года ММТ-9 проводит регулярный мониторинг небесной сферы, обнаружив за это время около 90 тысяч метеорных событий. Вся информация о них, а также о 10 тысячах метеоров, обнаруженных ранее камерой FAVOR, публикуется в базе данных, доступной по адресу <http://astroguard.ru/meteors>.

2. База данных метеорных событий

Метеорные события, наблюдаемые ММТ-9, выделяются системой обнаружения транзиентов в реальном времени (см. Рисунок 1) (Karpov et al., 2010) и в дальнейшем автоматически анализируются с целью определения их координат, направления, угловой скорости, профиля яркости и так далее. Их распределение по максимальной яркости (имеется в виду интегральный блеск трека на отдельном кадре) приведено на Рисунке 11.

Видно, что они в среднем на 5 величин слабее фиксируемых в ходе других экспериментов, и примерно на величину слабее наблюдавшихся камерой FAVOR (это, вместе с большим размером поля зрения, приводит к заметно большему числу обнаруживаемых событий).

Временное разрешение ММТ-9, составляющее 0.1 секунды, оказывается достаточным для фиксации как минимум 3 кадров для подавляющего большинства метеорных событий, что позволяет определять их угловые скорости.

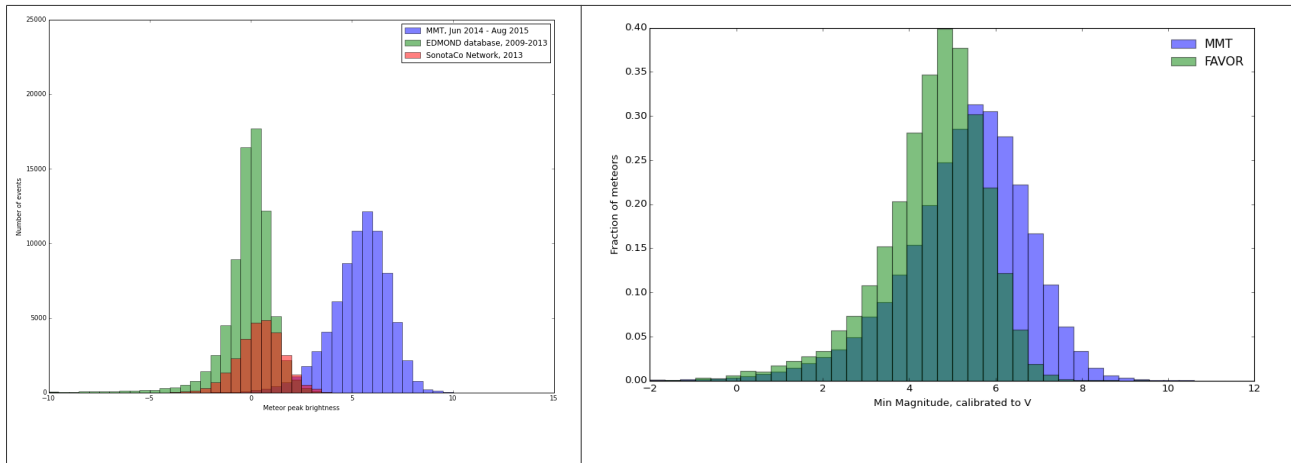


Рисунок 1. Сравнение максимального блеска и числа событий, обнаруженных за первый год наблюдений ММТ-9, с метеорными базами EDMOND и SonotaCO (слева). Сравнение блеска метеоров, обнаруживаемых ММТ-9, и зафиксированных камерой FAVOR в 2006-2009 годах (справа).

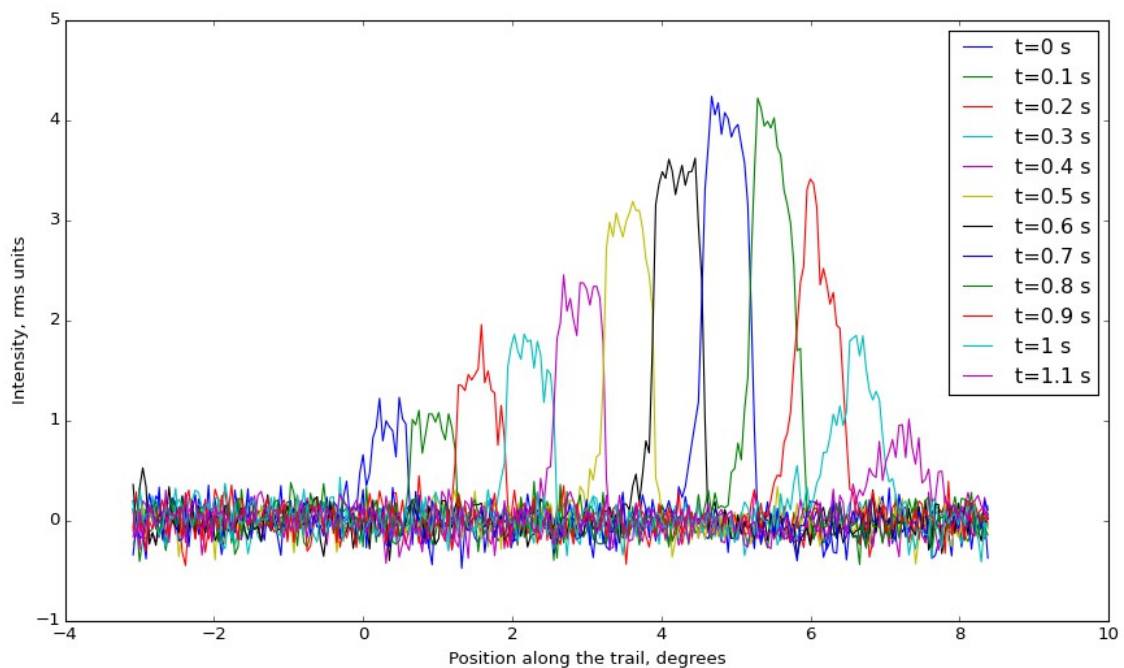


Рисунок 2. Разрез яркости метеора вдоль трека на отдельных кадрах.

Таблица 1. Суммарное количество событий в базе данных на настоящий момент

	Mini-MegaTORTORA / ММТ-9	FAVOR
Число метеоров	90758	10117
Дата начала	2014.06.04	2006.07.31
Дата окончания	2015.11.12	2009.03.24

Они оказываются меньшими 40 гр./сек. с максимумом распределения в районе 8 гр./сек. Измеряемый интегральный блеск трека на отдельном кадре

также позволяет строить кривые блеска метеора, что особенно интересно при многоцветных наблюдениях (при этом каждые три канала ММТ-9 наблюдают одну и ту же площадку в одном из трёх BVR фильтров системы Джонсона-Кузинса). Пример такой многоцветной кривой блеска, а также соответствующая двухцветная диаграмма, приведены на Рисунке 3. Видно, что излучение метеорного следа не является чёрнотельным — оно обусловлено комбинацией излучения континуума и различных эмиссионных линий (таких как Na, Mg, Fe) (Vojáček, 2015).

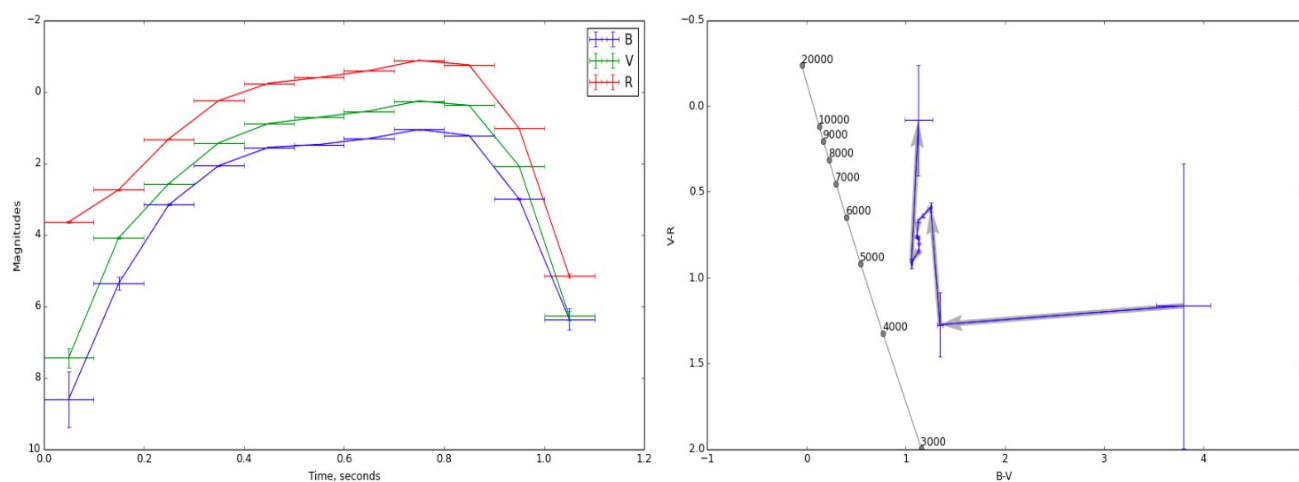


Рисунок 3. Пример многоцветной кривой блеска, а также двухцветной диаграммы для одного из метеорных событий, наблюдавшихся системой ММТ-9. На рисунке справа нанесена шкала соответствующих цветов для чёрнотельного излучения с различными температурами.

Большое количество метеорных событий, фиксируемых системой ММТ-9 (в среднем от 400 до 600 каждую ночь), также позволяет обнаруживать радианты метеорных потоков статистическими средствами, не имея информации о высотах их сгорания и физических скоростях (для получения такой информации требуются базисные наблюдения, см. ниже), исследуя плотность взаимных пересечений наблюдавшихся треков. Примеры карт таких пересечений (точнее — карт, показывающих количество метеоров, пролетавших не более чем на заданном расстоянии от данной точки), на которых видны радианты метеорных потоков Персеиды и Геминиды, а также более сложные структуры в другие ночи, приведены на Рисунке 4.

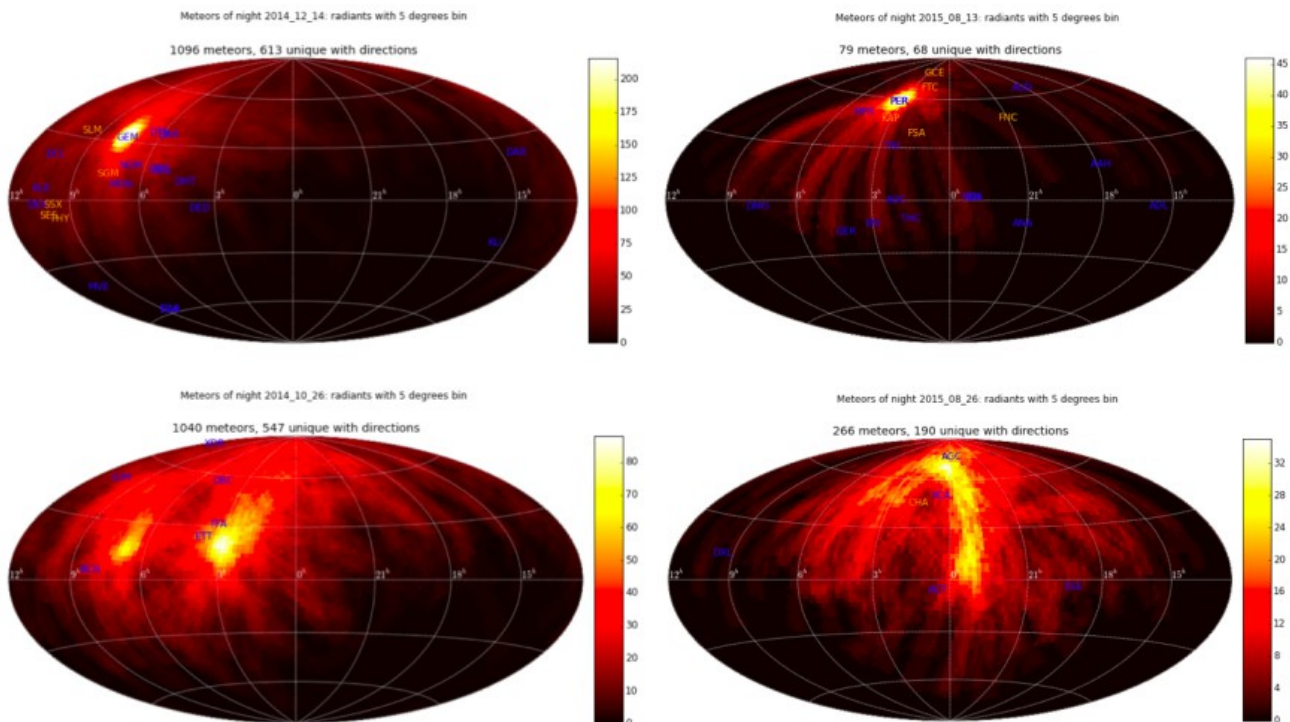


Рисунок 4. Радианты метеорных потоков, обнаруживаемые по плотности пересечений треков в соответствующие ночи: а - активность потока Геминиды, б – активность потока Персеиды, в,г – ночи без выраженных крупных потоков

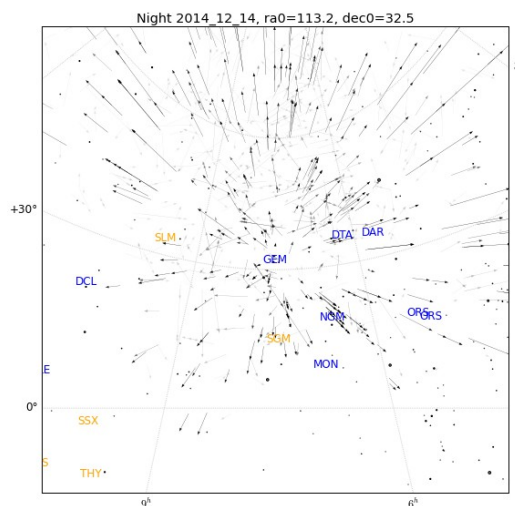


Рисунок 5. Треки, соответствующие максимуму метеорного потока Геминиды (см. Рисунок 4), на сетке Лоренци.

С целью добавления информации о высотах и скоростях обнаруживаемых событий нами также начата работа по базисным наблюдениям — одновременным наблюдениям с широко разнесённых точек одной и той же площадки на небе. Обнаружение метеорного события двумя различными

камерами одновременно позволит по его параллаксу определять высоты, физические скорости, а следовательно — и массы метеорных частиц, а также проводить прямое сопоставление их орбит с орбитами астероидов и комет — прародителей метеорных потоков. В настоящее время базисные наблюдения проводятся в экспериментальном режиме, используя либо отдельный канал, находящийся на расстоянии около 50 метров (что позволяет оценивать высоты событий на расстояниях до 100 км), либо находящуюся на расстоянии около 3.5 км камеру низкого временного разрешения; в дальнейшем планируется установка создаваемой в настоящее время второй, шестиканальной версии системы Mini-MegaTORTORA (ММТ-6) на расстоянии около 2 км, что позволит восстанавливать не только высоты, но и индивидуальные радианты каждого отдельного метеора.

Большое количество событий, наблюдаемых ММТ-9, а также умеренно высокое временное и хорошее пространственное разрешение позволяют фиксировать и детальную пространственную структуру отдельных интересных событий (Рисунок 6), а также, к примеру, отслеживать атмосферную эволюцию остаточных метеорных следов (Рисунок 7).

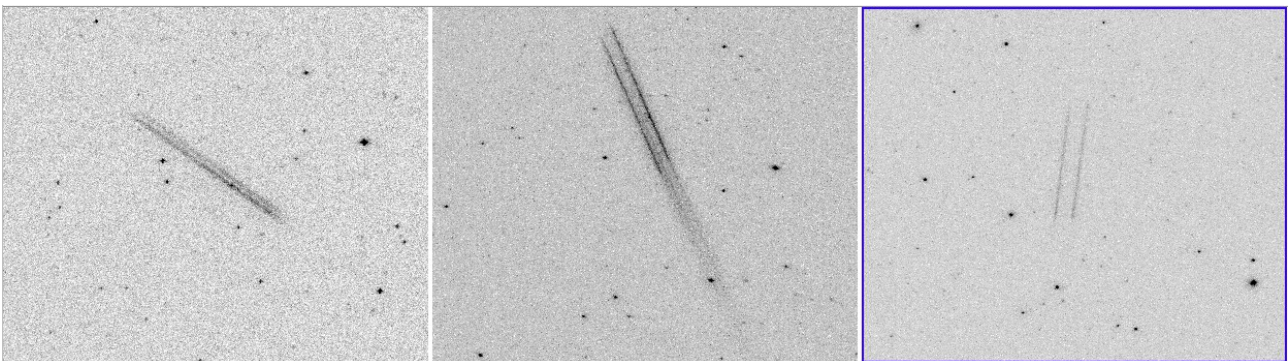


Рисунок 6. Примеры метеорных событий, состоящих из двух-трёх параллельных треков и вызванных группами метеорных частиц.

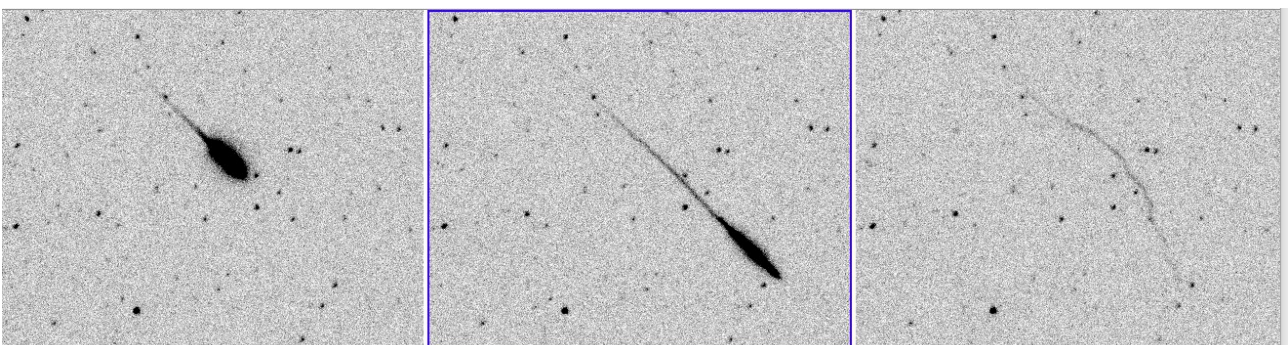


Рисунок 7. Пример яркого метеорного события и последующей эволюции остаточного метеорного следа в атмосфере.

Благодарности. Работа была поддержана грантами РФФИ (№. 09–02–12053 и 12–02–00743-А), программой Президиума РАН, а также грантом Европейского Союза (283 783, проект GLORIA) и Программой повышения конкурентоспособности Казанского Государственного Университета. В части проведения наблюдений работа была поддержана грантом РФФИ 14-50-00043.

Литература

1. Karpov S. et al. *Nuovo Cimento C*, 28:747–750, July 2005.
2. Багров А.В. и др., в сб.: «Околосемная астрономия – 2007», Тез. Докл. междунар. конф., п. Терскол, Кабардино-Балкарская Республика, 3-7 сентября 2007 г., Нальчик, Изд-во КБНЦ РАН, 2007, с. 48.
3. Jopek T.J. et al. *EPSC Abstracts*, Vol. 5, 2010
4. Madiedo José M. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2015
5. Viryukov A. et al, *Baltic Astronomy*, 2015, vol.24, p.100-108.
6. Бескин и др., *Успехи Физических Наук*, 2010, том 180, стр.424-434.
7. Карпов С. и др., *настоящий том*, 2015
8. Karpov S. et al. *Advances in Astronomy*, 2010, vol.2010, Article ID 784141
9. Vojáček V. et al., *Astronomy and Astrophysics*, 580, A67, 2015