ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ МОНИТОРИНГ МЕТЕОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

А. В. Багров, Г. Т. Болгова, В. А. Леонов

© 2003

Институт астрономии РАН, Москва, Россия
e-mail: abagrov@inasan.rssi.ru

Большое число принадлежащих Солнечной системе частиц пересекает околоземное пространство. Примерно половина из них относится к выявленным метеорным или болидным потокам, а остальные считаются спорадическими. При своем движении Земля пересекает разные части этих потоков, да и сами потоки проявляют заметную неоднородность, поэтому наблюдения текущих вариаций потоков представляют большой интерес для космогонии. Целью проводимых исследований является мониторинг метеорных событий из близко расположенных пунктов (базисные наблюдения) и из удаленных на тысячу километров точек для выявления пространственных неоднородностей потоков. На станции Космотэн (Северный Кавказ) с июля 2002 г. ведутся регулярные наблюдения метеоров с телевизионной камерой, обеспечивающей проницающую силу $+5^m$ в поле зрения 52° при частоте 25 кадр/с. В ближайшее время запланировано проведение регулярных базисных наблюдений для прямого измерения параметров индивидуальных орбит метеоров и их физической плотности.

TV-MONITORING OF METEOR EVENTS FOR STUDYING THE EVOLUTION OF METEOR STREAMS, by Bagrov A. V., Bolgova G. T., Leonov V. A. – A number of particle streams with heliocentric orbits pass through the near-Earth space. Approximately half of them belong to meteor and fireball streams, and the rest are considered to be sporadical. As the periods of revolution of the Earth and the streams around the Sun are not divisible, and the distribution of particles inside the streams is not homogeneous, there are annual variations of their activity. The goal of the proposed investigations is to obtain from observations the spatial parameters of the streams of tiny particles crossing the Earth's orbit. For this purpose it is proposed to make simultaneous monitoring of meteor events from near-by observation sites and from sites separated by more than one thousand kilometres. These observations are supposed to be accompanied by simultaneous telescope observations. At the Kosmoten Observatory (Northern Caucasus) a hybrid TV-camera with CCD is used for meteor observations. The limiting magnitude of the camera is good enough to detect meteors with brightness $+5^m$ in the 52° field. Since July 2002 meteor observations are done every clear night. In the future it is planned to begin stereo (basis) TV-observation with the aim to determinate individual orbits of observed meteors and their physical densities.

Огромное число частиц многочисленных потоков с гелиоцентрическими орбитами пересекает околоземное космическое пространство. Вторгаясь в атмосферу Земли, они вызывают легко наблюдаемые метеорные явления. Примерно половина из них принадлежит выявленным метеорным и болидным потокам [1, 2], а остальные считаются спорадическими [3, 4]. Поскольку периоды обращения частиц в потоках и Земли вокруг Солнца не кратны друг другу, а распределение частиц в потоках неравномерно, есть вариации активности потоков [5]. Кроме этого, есть основания полагать, что существуют мелкомасштабные неоднородности распределения частиц в потоках, – по крайней мере на характерных расстояниях порядка нескольких сотен километров [6, 7].

Некоторые из сильных метеорных потоков были изучены как методами базисной фотографической триангуляции, так и радиолокационными методами, в результате чего были получены их орбитальные параметры. После распада кометы 1852 III Биэлы, наблюдавшегося в 1864 г., и сопровождавшегося мощными звездными дождями потока Андромедид в 1872 и 1885 гг., орбита которого близка к орбите кометы Биэлы, установилось мнение, что метеорные потоки являются продуктами распада комет [8, 9]. В некоторых случаях почти точное совпадение измеренных орбитальных параметров метеорных потоков и наблюдавшихся комет позволило установить генетическую связь между ними [10–12]. Но большинство известных потоков [1, 2] изучено недостаточно глубоко, чтобы для каждого из них можно было установить родительское тело.

В результате многолетних исследований не удалось построить теории формирования метеорных тел и эволюции метеорных потоков. Наши знания о потоках вещества Солнечной системы через околоземное пространство ограничиваются общими представлениями и статистически ненадежными данными.

Причин столь непривлекательной ситуации несколько. Главная состоит в недостаточности полученных наблюдательных данных для обобщающего анализа и в их малой точности. Фрагментарность данных визуальных наблюдений происходит от их большой трудоемкости и невысокой информативности, особенно при наблюдениях слабых потоков. Фактически более или менее регулярно визуальными наблюдениями охвачено лишь несколько сильных метеорных потоков. Профессиональные астрономы прекратили визуальные наблюдения метеоров еще в середине XX века, а любительские визуальные наблюдения не могут привести к получению принципиально новой информации, хотя их вклад в накопление статистических характеристик потоков весьма ценен.

Фотографические наблюдения метеоров также почти повсеместно прекратились, хотя именно они позволили получить наиболее точные траекторные измерения индивидуальных метеоров и определить параметры их орбит. Однако из-за невысокой чувствительности даже лучших астрономических фотоматериалов этим наблюдениям доступны только самые яркие метеоры, число которых слишком мало, чтобы из них можно было составить репрезентативную выборку наблюдаемых метеорных явлений. Кроме того, трудоемкость обработки фотографических негативов очень высока, так что все результаты измерений относятся к единичным объектам.

Радиолокационные наблюдения метеоров, начатые после второй мировой войны и получившие во второй половине XX века широкое развитие, позволили наблюдать метеоры при любой погоде и в любое время суток. Эта возможность надолго перевесила высокую стоимость радиолокационных установок и сложность их обслуживания. С помощью радиолокаторов были выявлены дневные метеорные потоки, недоступные для изучения традиционными астрономическими методами наблюдений в оптическом диапазоне, а число регистрируемых метеоров выросло в сотни раз по сравнению с оптическими наблюдениями. В то же время большая статистика метеоров по радиолокационным наблюдениям строится на траекторных измерениях низкой точности. А именно малая точность параметров метеорных орбит является препятствием для исследования их долгосрочной эволюции с целью выявления родительских тел метеорных потоков.

Скудность наблюдательного материала проявляется и в выявлении действующих метеорных потоков. Обычно существование потока вытекает из обнаружения его радианта как области пересечения нескольких траекторий метеоров. Если же наблюдалось всего несколько метеоров, и разброс точек пересечения траекторий велик, то выявление радианта из таких наблюдений статистически необоснованно. С космогонической же точки зрения изучение таких слабых потоков представляет огромный интерес, поскольку эти потоки являются наиболее старыми и находящимися на заключительной стадии своей эволюции.

Решение проблемы происхождения потоков мелких частиц в околоземном пространстве может быть получено только на основе обширного наблюдательного материала, причем и характер наблюдений, и требуемый уровень точности измерений должны быть обусловлены параметрами модели, которую эти наблюдения должны или подтвердить, или отвергнуть.

Мы исходим из общепринятой идеи формирования метеорных потоков в результате распада кометных ядер вследствие испарения связующего их вещество компонента – летучих льдов. Исследования должны выявить следствия распада родительских ядер на крупные фрагменты – подобно распаду некоторых комет на множество отдельных частей [13, 14] – и на потоки мелких частиц. Если вещество кометного ядра представляет собой смерзшуюся смесь пылинок и газов, то после полного испарения газов метеорные частицы должны иметь характерный размер пылинок в протопланетном облаке. Если же в кометных ядрах имеются вкрапления метеоритного вещества [15], не подверженного испарению, то наблюдения должны дать распределение этих частиц по размерам и их относительное число по сравнению с пылевыми частицами. Критерий для распознавания вкраплений очевиден: метеорные частицы из льдов с пылью могут иметь физическую плотность порядка 1 г/см^3, каменные частицы должны быть плотнее 2 г/см^3, а металлические – плотнее 5 г/см^3.

В рамках получения наблюдательного материала для проверки предложенного подхода мы ставим задачу телевизионного мониторинга метеорных событий одновременно из близко расположенных пунктов для проведения базисных траекторных измерений, и из далеко отстоящих друг от друга обсерваторий – для определения пространственной неоднородности потоков. Одновременно с метеорным мониторингом предполагается проведение поисковых наблюдений крупных метеороидов (инасанов) в радиантах метеоритных и метеорных потоков [16, 17].

На станции Космотэн (Северный Кавказ, Зеленчукский район), ведущей телевизионные наблюдения ИСЗ, в 1999–2002 гг. проводились пробные наблюдения метеоров с помощью гибридной телевизионной камеры [18]. С оптической системой “олл-скай” камера позволяла регистрировать метеоры яркостью свыше 2.5^m в поле зрения 180°, питающая оптика с полем зрения 52° поднимала чувствительность по метеорам до 5^m, а в поле 12° достигала 7^m. Телевизионная система с 25-кадровой частотой позволяет регистрировать каждый метеор на 8...15 кадрах, в результате чего может быть исследована динамика торможения метеорных частиц и определена их физическая плотность.

За время пробных наблюдений было получено свыше 60 часов записей звездного неба, содержащих более полутора сотен записей метеорных явлений. Эти наблюдения частично обработаны (для полной обработки готовится необходимое программное обеспечение), и их анализ позволил определить оптимальные параметры телевизионной системы для метеорного мониторинга.

Опыт проведения метеорных наблюдений позволил на базе гибридной телевизионной системы создать специализированный телевизионный комплекс для всепогодного применения. Комплекс включает в себя собственно гибридную телевизионную камеру в герметичном корпусе с оптическим иллюминатором перед объективом, видеомагнитофон и вспомогательную электронику для врезания меток времени в видеокадры. Камера установлена стационарно на крыше наблюдательного павилиона, а все остальные элементы комплекса размещены в комнатных условиях лабораторного помещения. Корпус камеры имеет антивандальное исполнение и дополнительно защищен от воздействий внешней среды избыточным внутренним давлением. Датчики наружной и внутренней температуры воздуха обеспечивают работу системы подогрева, исключающую запотевание как оптики камеры, так и иллюминатора. Иллюминатор снабжен светозащитной крышкой, привод которой управляется таймером окончания наблюдений и датчиком засветки неба; при превышении уровня засветки допустимого порога весь комплекс автоматически выключается, а крышка закрывает иллюминатор, что позволяет защитить фотокатод входного усилителя яркости от пересветки.

Телевизионная система включает в себя широкоугольный фотографический объектив “Мир-2” ($F = 28$ мм, 1:2), электронно-оптический усилитель яркости ЭП-10 с оптоволоконными шайбами на входе и выходе, объектив перебрасывающей оптики и черно-белую ПЗС-камеру “Watec LCL-902HS”. Электронно-оптический преобразователь имеет диаметр входного и выходного окон 24 мм, что приводит к полю зрения с данным объективом в 50°. Для согласования линейных размеров рабочего поля с размером ПЗС-матрицы ($1/2''$) осуществляется оптический перенос с троекратным уменьшением. Несмотря на то, что оптоволоконная шайба обеспечивает концентрацию выходного излучения в угле 70°, при оптическом переносе теряется до 90 % света. Тем не менее, благодаря высокой чувствительности ПЗС-матрицы ЭОП работает с небольшим усилением и практически свободен от собственных шумов, а регистрируемый сигнал существенно превышает уровень шумов телевизионной камеры. Фиксация моментов событий обеспечивается врезкой в каждый кадр даты и времени от генератора временных меток для телекамеры производства ООО “Телесистемы-1” (г. Зеленоград).

С конца июля 2002 г. коплекс работает на станции Космотэн в режиме мониторинга околозенитной области, то есть каждую ночь наблюдается небо в зените над станцией при условии, что не менее половины поля зрения не закрыто облаками. Вид поля зрения непрерывно записывается на видеомагнитофон. Вмешательства оператора в работу комплекса не требуется, поэтому одновременно с метеорными наблюдениями можно проводить поисковые наблюдения инасанов или вести другие плановые работы на телескопах обсерватории. Просмотр записей и ввод содержащих метеорные изображения кадров в компьютер осуществляется в дневное время, поскольку обработка столь кратковременных явлений как метеор не имеет смысла.

Предварительный просмотр полученных в первой половине августа 2002 г. записей подтвердил правильность выбора параметров телевизионной системы. Получено 34 часа записей неба во время действия потока Персеиды. Проницающая сила наблюдательного комплекса составляет 5.5^m по звездам и около 4^m по метеорам. Точность координатных измерений метеорного трека – около $20'$.

В ближайшем будущем предполагается организация метеорного мониторинга на Звенигородской станции ИНАСАН, включая базисные наблюдения.

Авторы выражают благодарность сотрудникам станции Космотэн С. Ф. Бондарю и А. В. Перкову за помощь в создании метеорной камеры и проведении наблюдений. Представленная работа поддержана грантом РФФИ № 02-02-16207 и Контрактом Министерства промышленности, науки и технологий № 40.022.1.1.1108.

[1] *Terentjeva A. K.* Fireball streams // Asteroids, Comets, Meteors III / Eds Lagerkvist, Rickman, Lindblad, Lindgren.–Uppsala, 1990.–P. 579–584.

[2] *Терентьева А. К.* Малые метеорные рои // Исследование метеоров.–1966.–№ 1.–С. 62–159.

[3] *Астапович И. С.* Метеорные явления в атмосфере Земли.–М.: Физматгиз, 1958.—640 с.

[4] *Бабаджанов П. Б.* Метеоры и их наблюдение.–М.: Наука, 1987.–192 с.

[5] *Бабаджанов П. Б., Орубов О. В., Пушкарев А. Н.* Эволюция метеороидного роя Квадрантид // Астрон. вестник.–1991.–**25**, № 1.–С. 82–92.

[6] *Андреев Г. В., Епишова А. Е., Рубцов Л. Н.* О структуре метеорного потока Персеид в 1976 г. // Астрон. циркуляр.–1978.–№ 998.–С. 7–8.

[7] *Piers P. A. et al.* An Unusual Meteor Cluster Observed by Image-Intensified Video // WGN – Journal of the International Meteor Organization.–1993.–**21**, N 4.–P. 168.

[8] *Бредихин Ф. А.* Этюды о метеорах.–М.: Изд-во АН СССР, 1954.–608 с.

[9] *Ватсон Ф.* Между планетами.–М.-Л.: Гостехиздат, 1947.–227 с.

[10] *Всехсвятский С. К.* Природа и происхождение комет и метеорного вещества.–М.: Просвещение, 1967.–186 с.

[11] *Дубяго А. Д.* О строении кометных ядер и образовании метеорных потоков // Астрон. журн.–1950.–**27**, № 1.–С. 5–8.

[12] *Евдокимов Ю. В.* О связи кометы Джакобини–Циннера с метеорным потоком Драконид // Астрон. циркуляр.–1955.–№ 159.–С. 21–24.

[13] http://www.astronet.ru:8100/db/msg/eid/apod/ap990814.

[14] http://hubblesite.org/newscenter/archive/2000/26/.

[15] *Багров А. В., Резанов И. А.* Разрушение Фаэтона – ключевой момент космогонии Солнечной системы // Околоземная астрономия XXI века: Тез. докл. науч. конф. (Звенигород, 21–25 мая 2001 г.)–Звенигород: ИНАСАН, 2001.–С. 45–46.

[16] *Багров А. В., Болгова Г. Т., Микиша А. М. и др.* Программа наблюдений крупных тел в метеорных и болидных потоках // Программы наблюдений высокоорбитальных спутников Земли и небесных тел Солнечной системы: Тез. докл. конф.–СПб: ИТА РАН, 1994.–С. 17–18.

[17] *Барабанов С. И.* Наблюдения крупных тел в метеорных потоках за пределами атмосферы Земли // Околоземная астрономия (космический мусор) / Под ред. А. Г. Масевич.–М.: Космосинформ, 1998.–С. 214–230.

[18] *Багров А. В., Выгон В. Г., Бондарь С. Ф., Иванов Е. А.* Гибридная телевизионная система для наблюдения слабых космических объектов // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы: Сб. науч. тр. конф. (Обнинск, 25–29 октября 1999 г.)–М.: Космосинформ, 2000.–С. 334–346.