

УДК 523.682-852

ИССЛЕДОВАНИЕ СГОРАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ТЕЛЕВИЗИОННОМ МЕТЕОРНОМ МОНИТОРИНГЕ

© 2011 В. А. Леонов, А. В. Багров

Институт астрономии РАН, Москва

Поступила в редакцию 15 февраля 2010 г.; принята в печать 21 апреля 2010 г.

При наземных наблюдениях малоразмерная фракция космического мусора невидима, однако вторжение мелких частиц в атмосферу и их сгорание можно наблюдать наравне с обычными метеорными явлениями. Поскольку метеорные тела Солнечной системы имеют скорости встречи с атмосферой, превышающие 11.2 км/с, а скорость элементов космического мусора не выше 11.2 км/с, селекция метеоров по скорости является надежным критерием разделения этих тел. В работе описана методика выделения элементов космического мусора при телевизионном метеорном мониторинге. Методика прошла адаптацию на материале реальных телевизионных наблюдений на широкоугольной патрульной камере высокого временного разрешения FAVOR, проведенных в 2006 г. на станции НИИПП “Архыз” (Сев. Кавказ).

Ключевые слова: *Солнечная система — планеты, кометы, метеоры*

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время засорение околоземного космического пространства космическим мусором (КМ), возникшее практически сразу после запусков первых ИСЗ, вызывает все больше опасений [1]. В условиях техногенного загрязнения околоземного космического пространства актуальность обеспечения безопасности запуска и работы на орбите космических аппаратов разного назначения, в особенности пилотируемых, стремительно растет. Решение этих проблем базируется на использовании компьютерных моделей загрязненности околоземного космического пространства (ОКП) элементами КМ [2–6], которые могут быть проверены только в области большиеразмерных элементов КМ, наблюдаемых службами контроля ОКП. Вся малоразмерная часть КМ остается за пределами доступности наблюдательной техники, как оптической, так и радиолокационной.

Частицы КМ, взаимодействующие с верхними слоями земной атмосферы, постепенно тормозятся и опускаются ниже, пока не войдут в плотные слои атмосферы и не сгорят в ней. Это позволяет проводить прямые измерения темпа самоочистки ОКП от КМ путем наблюдения сгорания частиц в атмосфере. Поскольку процесс сгорания частиц КМ мало отличается от процессов сгорания метеороидов в земной атмосфере, оба они будут порождать сходные явления. Метеорные тела Солнечной системы имеют скорости встречи с атмосферой,

превышающие 11.2 км/с, а скорость элементов КМ не выше 11.2 км/с, поэтому селекция метеоров по скоростям является надежным критерием выделения метеорных событий, вызванных сгоранием КМ.

Для измерения линейной скорости метеоров наиболее эффективным является проведение базисных наблюдений, обработка которых позволяет получить полный вектор скорости метеора. К сожалению, в нашей стране такие наблюдения не ведутся. Метеорный мониторинг, проводимый нами с 2002 г. [7] имеет своей целью изучение метеорных роев, при котором радиант потока устанавливается по совокупности большого числа метеоров. Этот метод совершенно не применим к обработке метеорных явлений от частиц КМ, так как они не образуют “роев” в терминологии метеорных наблюдателей.

Для оценки скорости метеора можно использовать измерения его угловой скорости, если при этом известен угол между направлением полета метеора и направлением на радиант, а также расстояние до места пролета метеора. Обычно метеоры наблюдаются на высотах 60–100 км от поверхности земли, и расстояние до метеора можно оценить по измерениям его зенитного расстояния и этого диапазона высот. Угловая скорость метеора получается прямо из телевизионных наблюдений. Проблемным является получение индивидуальной элонгации метеора, т.е. угла между метеором и направлением на радиант.



Рис. 1.

Нами был предложен геометрический метод измерения элонгации метеора, зафиксированного на пяти и более телевизионных кадрах [8]. Мы можем утверждать, что если определенная этим методом элонгация метеора близка к 90° , то метеор движется ортогонально лучу зрения, и это дает возможность оценить линейную скорость метеора. Если она заведомо ниже второй космической скорости, то наблюдается метеор, вызванный сгоранием КМ.

2. АНАЛИЗ МАССИВА НАБЛЮДЕНИЙ 2006 Г.

Для выяснения числа метеорных событий, вызываемых КМ, было проанализировано 3007 метеорных событий, зарегистрированных за 209 часов наблюдений в период с июля по декабрь 2006 г. на широкоугольной камере FAVOR [9]. В результате выборки было выделено 975 событий, для которых имелась возможность определения индивидуальной элонгации метеоров описанным выше методом. Из них исключились все события, для которых была установлена принадлежность к известным метеорным потокам, а также те, которые не удовлетворяли требованию по элонгации [10]. Из оставшихся 184 метеоров были отобраны те, которые имели самую низкую угловую скорость. Таких метеоров было выявлено 5, и для каждого из них была оценена линейная скорость (Табл.). Пример такого метеора представлен на Рис. 1.

Таким образом, в отношении, по крайней мере, этих 5-ти метеоров, можно уверенно утверждать,

что наблюдалось сгорание частиц КМ. Ошибка в определении линейной скорости по измерению угловой скорости и оценке элонгации составляет в среднем ± 0.6 км/с, т.е. гарантируется, что наблюдаемые частицы имели скорость, заведомо меньшую второй космической.

Полагая размер поля зрения на высоте сгорания метеоров порядка 1000 км^2 и темп появления в этом поле частиц КМ, равным 1 частица/40 часов, можно оценить нижнюю границу суточного темпа сгорания КМ в атмосфере Земли. Она, в соответствии с нашими наблюдениями, составляет порядка 3×10^5 частиц/сут. В реальности темп самоочистки ОКП от КМ должен быть несколько выше, т.к. при оценке его нижней границы мы использовали косвенное определение скорости метеорных частиц и выборку событий, для которых эти скорости заведомо удовлетворяли суборбитальным скоростям, для гарантированного исключения метеоров Солнечной системы. При планируемых базисных наблюдениях метеоров, когда будут определяться истинные значения скорости метеоров, результаты оценок будут существенно выше.

В настоящее время по модельным оценкам в ОКП находится не менее 1 млн. частиц КМ миллиметрового размера [11] при общей накопленной массе объектов искусственного происхождения, равной примерно 6000 тоннам (Рис. 2). Темп увеличения загрязненности ОКП при продолжающихся запусках, несмотря на принимаемые меры по его уменьшению, оценивается в 120 тонн/год, т.е. до

Таблица.

	Метеор	Элонгация (град)	Угловая скорость (град/с)	Линейная скорость (км/с)
1	2006-08-31=00 ^h 41 ^m 28 ^s	86	2.1 (± 0.35)	3.4
2	2006-09-13=22 ^h 00 ^m 46 ^s	74	2.8 (± 0.35)	4.7
3	2006-09-18=19 ^h 59 ^m 54 ^s	78	2.7 (± 0.35)	4.5
4	2006-10-14=22 ^h 24 ^m 04 ^s	90	2.2 (± 0.35)	3.5
5	2006-10-20=17 ^h 21 ^m 04 ^s	89	1.9 (± 0.35)	3.0

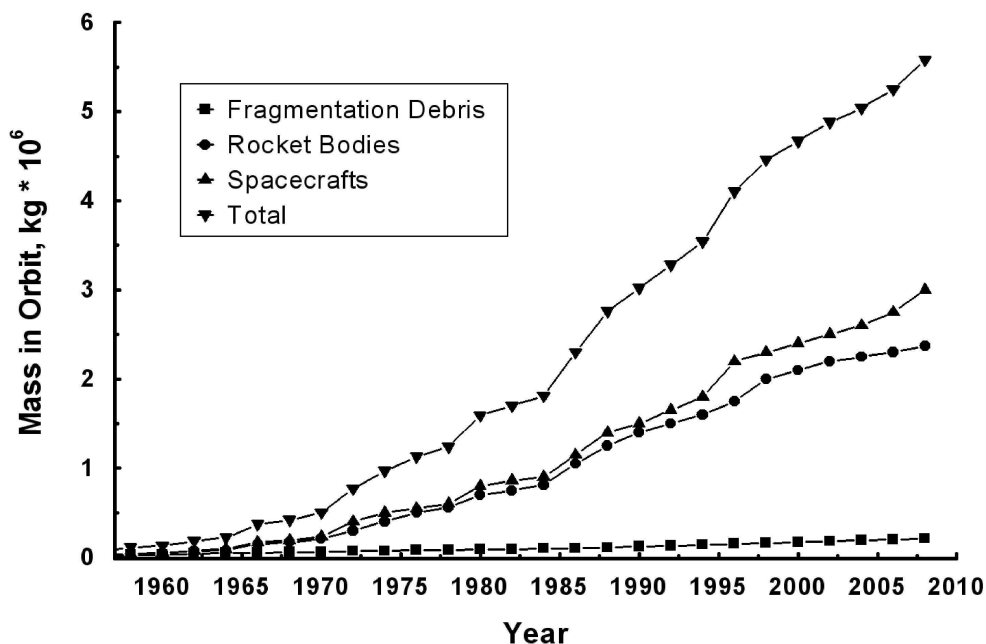


Рис. 2.

20000 частиц в год миллиметровых размеров. Наши оценки самоочистки показывают, что она практически не компенсирует продолжающийся рост загрязненности ОКП.

В приведенных выше оценках мы рассмотрели метеоры, направление движения которых было близко к горизонтальному, т.е. в наше рассмотрение попали только частицы КМ, движущиеся на самых низких близких к круговым орбитам. Измерения вектора скорости метеоров при базисных наблюдениях дадут основания расширить наш подход и на элементы КМ, находящиеся на более высоких эллиптических орбитах, например, образующихся при разрушении ИСЗ в результате столкновений или взрывов [12]. Если мы будем наблюдать метеоры, вызванные сгоранием фрагментов таких разрушений, то это не только даст еще один канал подтверждения катаклизмов в ОКП, но и позволит определить характер разрушений по числу достигающих верхней атмосферы обломков.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами способ контроля темпов самоочистки ОКП от КМ является новым методом верификации моделей КМ в области малоразмерных частиц. Прямые наблюдения происходящих от КМ метеоров могут уточнить эти модели и улучшить прогноз опасности столкновения КА при запуске и работе на орбитах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.В. Рыхлова, в *Проблема заселенности космоса*, ред. А.Г. Масевич (Космоинформ, Москва, 1993), с.7.
2. А.И. Назаренко и др. ГОСТ Р В 25645.164-97 Обеспечение экологической безопасности ракетно-космической техники. Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в околоземном пространстве. ГОССТАНДАРТ России, Москва.

3. А.И. Назаренко и др. ОСТ 134-1022-99. Пространство околоземное космическое. Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества. Российское космическое агентство.
4. ГОСТ Р 25645.167-2005. Космическая среда (естественная и искусственная). Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве.
5. Инженерная модель космического мусора (Orbital Debris Engineering Model ORDEM2000-v 1.0). NASA, JSC, October 2000.
6. Справочная модель метеороидов и космического мусора в околоземном пространстве MASTER'99 (Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference Model). ESA SD-CD03, Release 1.0, May 2000.
7. А.В. Багров, Г.Т. Болгова и В.А. Леонов, в *Трудах конференции "Астроэко - 2002"*, Терскол, Россия, 2002 (Киев, ГАО НАНУ, 2003), с. 265.
8. А.В. Багров и В.А. Леонов, *Астрон. Вестник* **44**, 352 (2010).
9. А.В. Багров, Г.М. Бескин, А.В. Бирюков и др., в *Трудах конференции "Околоземная астрономия - 2003"*, Т. 2, Терскол, Россия, 2003 (Санкт-Петербург, ООО ВВМ, 2003), с.101.
10. И.С. Астапович, *Метеорные явления в атмосфере Земли* (Физматгиз, Москва, 1958) с. 196.
11. А.И. Назаренко, *Астрон. Вестник* **36**, 555 (2002).
12. L.V. Rykhlova et al., *Adv. Space Res.* **19**, 313 (1997).

STUDY OF SPACE DEBRIS BURNING IN EARTH'S ATMOSPHERE VIA TELEVISION METEOR MONITORING

V.A. Leonov, A.V. Bagrov

The observations on ground-based facilities miss multitudes of small fragments of space debris. However, the intrusion of fine particles into the atmosphere and their subsequent burning can be observed along with the usual meteor phenomena. Since the solar system meteoric body velocities at the entry into the atmosphere are over 11.2 km/s, and the velocity of the space debris objects does not exceed 11.2 km/s, the selection of meteors by velocity is a reliable criterion for separating these bodies. The paper describes a method of selecting the space debris fragments using a technique of television meteor monitoring. The technique was adapted on the material of real television observations on the FAVOR wide-field monitoring camera with high temporal resolution, conducted in 2006 in the Arkhyz station of the Institute for Precision Instrumentation (North Caucasus).

Key words: *Earth: meteors, meteoroids — planets and satellites: general*