

Космический мусор – угроза космической деятельности

Техногенное загрязнение околоземного космического пространства (ОКП) является существенным негативным последствием его практического освоения. В результате образовалось множество достаточно мелких космических объектов (КО), изучение которых стало новым направлением классической астрономии. Дальнейшее освоение ОКП невозможно без объективного анализа текущего состояния загрязнения, его источников и закономерностей эволюции. Особенно остро этот вопрос стоит по отношению к области низких орбит с высотами до 2000 км, а также области геостационарных орбит, где техногенное загрязнение является максимальным и где количество мелких опасных космических объектов на несколько порядков превышает число крупных каталогизированных КО. Достоверно зафиксировано несколько столкновений крупных КО и большое число их столкновений с мелкими частицами КМ. Характерной особенностью техногенного загрязнения ОКП является его глобальный и интернациональный характер.

Результаты исследования КМ изложены в большом числе публикаций (тысячи) и нескольких монографиях [см., например, 1-3]. В процессе анализа техногенного загрязнения ОКП обычно рассматриваются следующие вопросы:

- оценка текущего уровня загрязнения космическим мусором (КМ) разных размеров на основе всех доступных измерений;
- моделирование эволюции (прогнозирование) техногенного загрязнения;
- обоснование возможных мер по предотвращению дальнейшего загрязнения ОКП;
- оценка вероятности столкновений космических аппаратов с КМ и возможных последствий опасных столкновений;
- разработка мер по предотвращению опасных столкновений и защите от них;
- определение характеристик потока КМ через зоны обзора наземных и бортовых измерительных средств.

Решение всех перечисленных вопросов имеет общую цель: оценить и снизить ущерб от техногенного загрязнения ОКП. Основные трудности решения перечисленных задач связаны с недостатком экспериментальных данных и большими затратами на реализацию мер противодействия. Имеющаяся измерительная информация получена в относительно небольших районах многомерной области: высота точки – широта точки – размеры КО – время. Эффективное использование экспериментальных данных и априорной информации – основная проблема, которая решается при построении моделей пространственно-временного распределения КМ.

На рисунке 1 представлены обобщенные данные об измерениях потока КМ. Показаны области, где были проведены измерения. Видно, что в многомерной области “время – высота – размеры КМ” измерения были проведены только в относительно небольших локальных регионах.

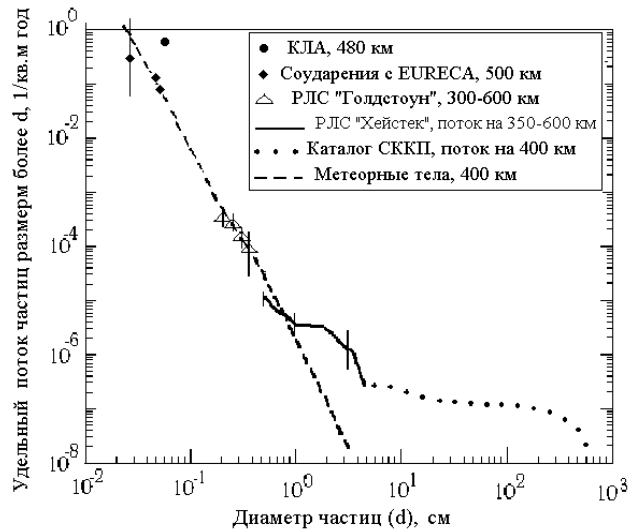


Рисунок 1. Характеристики потока КМ по данным различных источников

В России исследования КМ и, в частности, его мелкофракционной (некаталогизированных КО) проводятся с начала 90-х годов. В течение этого времени наши специалисты регулярно участвуют в международных конференциях и совещаниях по проблеме КМ. В частности, 26-я сессия Межагентского комитета по космическому мусору (IADC) была проведена в Москве в апреле 2008 г. Свежая информация о новых результатах исследований и экспериментов регулярно появляется на сайте НАСА (<http://www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/>) в форме ежеквартального журнала (Orbital Debris Quarterly News).

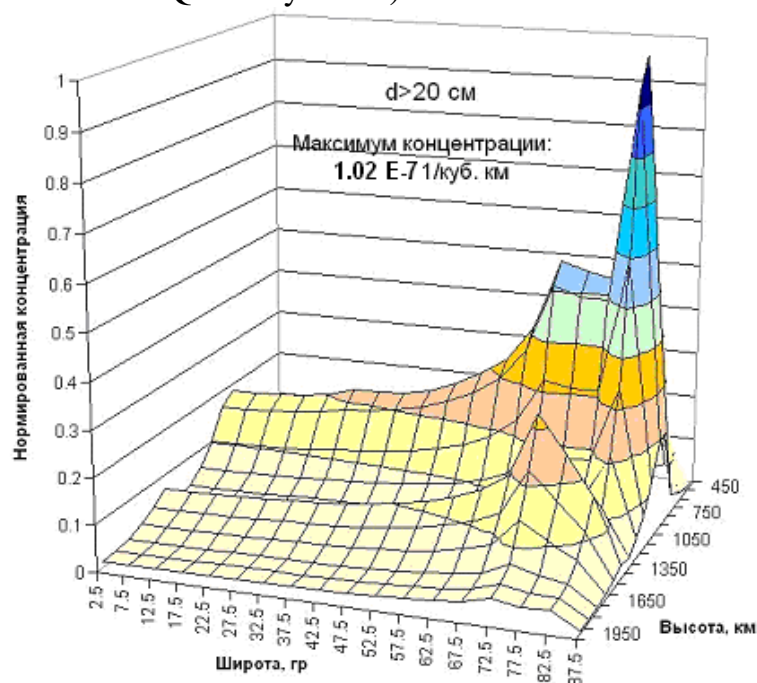


Рисунок 2. Высотно-широтное распределение концентрации КО размером более 20 см

Базовой характеристикой КМ является концентрация – среднее число объектов в единице объема. На рисунке 2 представлен пример высотно-широтного распределения концентрации КО размером более 20 см в 2007 г. Видно, что абсолютный максимум концентрации достигается на высоте 800 - 900 км в диапазоне широт 80 - 85°. Он равен $1,02 \cdot 10^{-7}$ объектов в км³. Вторым достаточно четко выраженным (локальным) максимум приходится на высоты 1400-1500 км в диапазоне широт 70 - 75°. Его величина составляет 33% от глобального максимума. Концентрация объектов в районе экватора составляет 15-20% от максимальной концентрации на соответствующей высоте. В диапазоне высот 400-500 км концентрация объектов составляет не более 4% от глобального максимума.

Другой важной характеристикой является плотность потока КМ относительно КА. Физический смысл плотности потока частиц – это число столкновений с КМ сферического объекта с единичной площадью сечения за единицу времени. Мгновенное значение плотности потока равно произведению концентрации частиц ρ на значение относительной скорости в данной точке. Оценки плотности потока мелких частиц КМ разных размеров относительно некоторого заданного КА и соответствующие вероятности столкновений определяются с помощью моделей космического мусора. Конкретные оценки плотности потока КМ относительно круговых орбит с высотами до 2000 км приведены в нормативном документе [3]. При анализе возможных столкновений КА с крупными каталогизированными КО используются орбитальные данные каталогов КО, которые ведутся системами контроля космического пространства России и США.

Уровень техногенного загрязнения ОКП меняется во времени, что приводит к необходимости отслеживать эти изменения. За последние 2 года в околоземном пространстве произошли драматические и важные по последствиям события, а именно:

1) загрязнение ОКП в результате разрушения китайского спутника Fengun-1C в январе 2007 г на высоте 900 км оказалось намного более существенным, чем казалось в начале 2007 г. Дело в том, что процесс обнаружения и каталогизации фрагментов разрушения размером более $\approx(10 - 20)$ см оказался длительным – продолжался около двух лет. 20 марта 2009 г на орбитах находилось около 2400 таких фрагментов. Их орбиты оказались «размазанными» в диапазоне высот от 200 до 3500 км.

2) 10 февраля 2009 г в 16 часов 56 мин (UT) произошло случайное столкновение Американского действующего спутника Iridium 33 (международный номер 97051C) с прекратившим существование Российским спутником Космос 2251 (международный номер 93036A). Относительная скорость столкновения составила 11.64 км/с. В результате столкновения образовалось множество фрагментов. 20 марта 2009 г. в каталоге находилось 226 фрагментов спутника Iridium 33 и 504 фрагмента спутника Космос 2251. Эти фрагменты разрушения в настоящее время летают в диапазоне высот от 200 до 1700 км. На

рисунке 3 представлена диаграмма, которая достаточно наглядно характеризует последствия разрушения КА Космос 2251. На ней каждый фрагмент разрушения (с известным периодом) представлен двумя точками: высотами перигея и апогея.

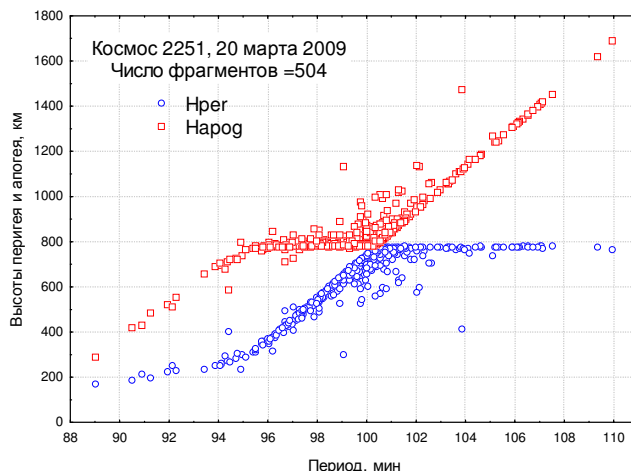


Рисунок 3. Высоты перигея и апогея фрагментов КА Космос 2251

До разрушения КА двигался по круговой орбите с периодом 100.5 мин и высотой ≈ 780 км. На рисунке в окрестности этой точки сосредоточены фрагменты, получившие небольшие приращения скорости. Фрагменты, с положительным приращением скорости расположены справа от упомянутой точки. У них увеличилась высота апогея – тем сильнее, чем больше положительное приращение скорости. При отрицательном приращении скорости апогей сохраняется на прежней высоте, а перигей опускается. Эти фрагменты расположены слева от исходной точки. За прошедшие 40 дней после разрушения у многих из них высоты апогея и перигея уменьшились под действием торможения в атмосфере.

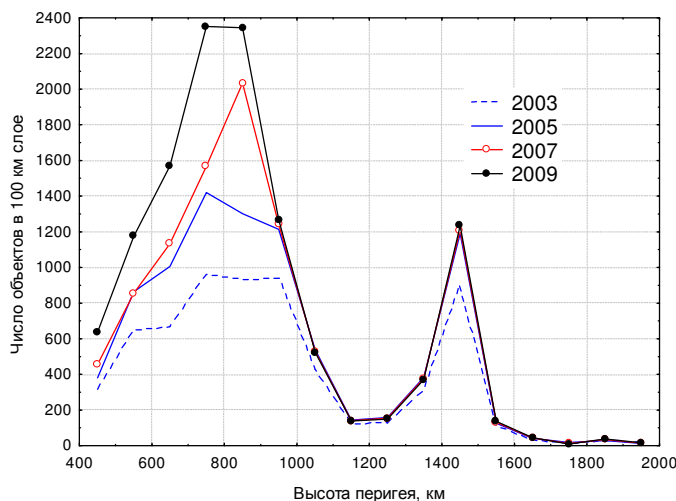


Рисунок 4. Распределения КО по высоте перигея в 2003, 2005, 2007 и 2009 гг.

Таким образом, в течение двух лет в ОКП образовалось не менее 3100 новых космических объектов размером более $\approx (10 - 20)$ см. Такое загрязнение ОКП является беспрецедентным. Оно в ≈ 4 раза превышает средний темп за-

грязнения ОКП за все предшествующие годы. На рисунке 4 представлены распределения числа каталогизированных КО по высоте перигея в 2003, 2005, 2007 и 2009 гг.

Из распределения высот перигея видно, что число КО наиболее интенсивно увеличивалось в диапазоне высот 600 – 900 км. При этом в высотном слое от 700 до 900 км число каталогизированных КО выросло за 6 лет в 2.5 раза, достигнув 2350.

С учетом изменений обстановки в ОКП на интервале времени после предшествующего уточнения в 2007 г. было выполнено уточнение параметров отечественной модели космического мусора. На основе данных о приросте числа каталогизированных КО по соответствующей методике были уточнены пространственные распределения космического мусора более мелких размеров. Уточненные параметры модели КМ «привязаны» к 2009 г. В таблице 1 представлены оценки максимальной концентрации КМ разных размеров в 2009 г. и их сравнение с соответствующими данными за 2007 и 2003 гг.

Таблица 1. Оценки максимальной концентрации КМ, км⁻³

Год	Диапазон размеров, см							
	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-2.5	2.5-5.0	5.0-10	10-20	>20
2003	4.068E-4	3.312E-5	6.375E-6	1.035E-6	2.092E-7	7.140E-8	2.336E-8	5.454E-8
2007	7.117E-4	5.976E-5	1.156E-5	1.978E-6	4.032E-7	1.369E-7	4.488E-8	1.020E-7
2009	1.039E-3	8.775E-5	1.626E-5	2.731E-6	5.539E-7	1.851E-7	5.995E-8	1.264E-7

Из приведенных результатов видно, что оценки максимальной концентрации КМ разных размеров увеличились в 2009 г. по сравнению с 2003 г. в 2.3 – 2.6 раз. Соответственно увеличились и вероятности столкновений КА с космическим мусором. Это обстоятельство еще раз подчеркивает актуальность проведения исследований, направленных на обеспечение безопасности полетов КА в условиях нарастающего техногенного загрязнения околоземного пространства.

Литература

1. Технический доклад о космическом мусоре, ООН, 1999.
2. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду. Справочное пособие под редакцией Адушкина В.В., Козлова С.И. и Петрова А.В. *Издательство «Анкил»*, Москва, 2000.
3. ГОСТ Р 25645.167-2005 «Космическая среда (естественная и искусственная). Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве», Москва, *Стандартинформ*, 2005.