
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

А.В. Шпакович, Л.В. Константиновская,
М.С. Щемелинина

Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Рассматриваются основные проблемы, с которыми в наши дни сталкиваются ученые при наблюдении за космическим мусором на околоземных орбитах, указываются основные недостатки мониторинга. Необходимо принимать более радикальные меры для решения проблемы загроможденности околоземного космического пространства.

Ключевые слова: космический мусор, мониторинг, безопасность космических полетов, прогноз.

Освоение космического пространства человеком началось 4 октября 1957 г., когда СССР запустил свой первый спутник. С тех пор количество объектов, выведенных на орбиту, стало измеряться десятками тысяч. Некогда полезные космические аппараты, отработав свой ресурс, приходили в негодность и продолжали вращаться на своих орбитах.

На 3 октября 2013 г. по данным бюллетеня NASA The Orbital Debris Quarterly News на орбите находится 16 596 крупных объектов искусственного происхождения, в том числе 3633 работающих и вышедших из строя спутников и 12 963 ступеней ракет и прочих объектов [1].

Основной проблемой космического мусора является то, что объекты могут достаточно долго находиться на орбите. И если объекты с высотой орбиты менее 600 км за счет тормозящего эффекта атмосферы постепенно снижаются и сгорают (при высоте орбиты меньше 200 км — за несколько дней, а при высоте от 200 до 600 км — до нескольких лет), то объекты с высотой орбиты более 800 км могут находиться на орбите столетиями. Если говорить о геостационарной орбите 35 786 км над поверхностью Земли, которая считается наиболее привлекательной и выгодной для решения множества научных, народно-хозяйственных, военных, навигационных, коммерческих и других задач, то объекты могут оставаться здесь вечно.

Запуски спутников на геостационарную орбиту начались в 1963 г. К началу XXI в. уже более 40 стран имеют собственные геостационарные спутники. Каждый год на геостационарную орбиту запускают десятки спутников, орбита к тому же со временем заполняется отработавшими спутниками. На геостационарной орбите часто происходят взрывы отработавших свой срок аппаратов и их ракет-носителей. Данные взрывы порождают сотни космических осколков, которые способны повредить работающие аппараты. Загрязнение космическим мусором этой орбиты может привести к необратимым результатам — невозможности стабильного функционирования спутников.

Только в 1983 г., когда на лобовом стекле шаттла Challenger был обнаружен след глубиной 2,5 мм и столько же в ширину (рис. 1) от соударения с микрочастицей краски, отслоившейся от какого-то другого аппарата, ученые всерьез задумались над проблемой космического мусора, так как она стала уже угрожать здоровью и жизни астронавтов.

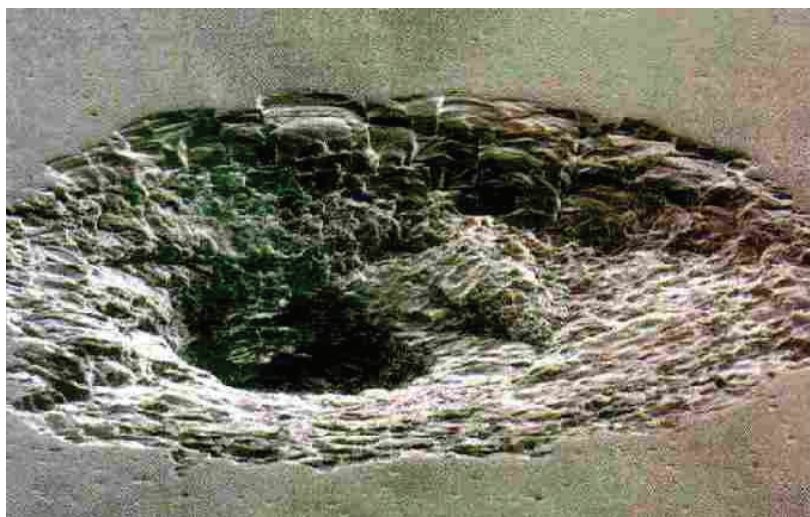


Рис. 1. Кратер в иллюминаторе шаттла Challenger

<http://www.nasaimages.org>

Единственным возможным решением проблемы, а вернее, уходом от нее стала каталогизация объектов космического мусора. В каталог вносятся все необходимые данные об объекте:

- полный набор элементов орбит каждого спутника, достаточный для выполнения прогнозов его движения с необходимой точностью (орбитальные данные);
- международный номер, данные о времени и месте запуска, типе объекта, национальной принадлежности, назначении, размерах, массе и т.п. (некоординатная информация).

Учет указанных данных позволяет безопасно выводить на орбиту новые объекты и учитывать риск их столкновения в процессе эксплуатации, а при необходимости и изменять орбиту действующих спутников для предотвращения чрезвычайной ситуации.

Каталогизация космических объектов производится системами контроля космического пространства (СККП). Во всем мире лишь две державы имеют СККП: США и Россия. Данные системы считаются уникальными. В них вложен огромный труд большого количества людей.

Главная цель СККП — наиболее полное и точное ведение каталога космических объектов. Создание Российской СККП и Американской Space Surveillance System (SSS) началось в начале 1960-х гг. в интересах решения задач Министерств обороны, и только потом они стали использоваться для решения гражданских целей.

Назовем источники информации для ведения каталога.

1. Радиолокационные измерения. Главную роль играют измерения РЛС с электронным управлением направленностью луча и фазированными антенными решетками. Эти РЛС могут одновременно обнаруживать и измерять большое количество объектов по разным направлениям. Предельные дальности измерения КО размером более 10—30 см — несколько тысяч километров.

Радиолокационные средства наблюдения имеют ряд достоинств по сравнению с оптическими средствами:

- возможность наблюдения вне зависимости от времени суток, погодных условий, естественной освещенности цели;
- высокая производительность;
- возможность одновременного контроля большого количества целей (до нескольких сотен);
- более простое, чем в оптических средствах, программно-алгоритмическое обслуживание процесса измерений.

Также у радиолокационных средств имеется и ряд недостатков:

- практически невозможны передислоцируемые варианты;
- высокая стоимость создания и обслуживания;
- чрезмерно большое потребление электроэнергии во время работы;
- возможная неоднозначность измерения, в частности, при определении размеров наблюдаемого объекта.

2. Оптические измерения производятся телескопами с апертурой около 1 м. Они используются, как правило, для измерения медленно передвигающихся космических объектов (на высотах более 10 000 км). В области геосинхронных орбит с высотой в окрестности 35 790 км телескопы могут измерять космические объекты размером более 1 м. Оптические телескопы с полем зрения в несколько градусов, изготовленные для задач мониторинга геостационарной орбиты, имеют поле зрения в десятки раз больше, чем ширина диаграммы направленности радиотелескопов. Фотометрические исследования в оптическом диапазоне позволяют по видимому блеску оценить размеры аппарата, а по зависимости блеска от времени и угла освещения Солнцем судить о его форме и способе ориентации. Именно поэтому оптические приборы считаются наиболее эффективными для задач контроля геостационарной орбиты.

В отличие от радиолокаторов телескопы обладают следующими достоинствами:

- допускаются передислоцируемые варианты;
- не требуют слишком больших мощностей электропитания;
- для наблюдения цели достаточно ее освещение Солнцем (редко используется специальная подсветка);

Телескопы имеют и недостатки:

- возможность наблюдения зависит от времени суток, погодных условий, фазы Луны, степени освещенности цели, фазы ее освещенности;
- одно средство может одновременно контролировать крайне ограниченное количество целей;

— операция перенацеливания телескопа на другой объект требует заметно большего времени, чем радара с фазированной решеткой;
 — производительность оптических средств значительно ниже, чем радиолокационных.

Однако наблюдения и каталогизация не позволяют прогнозировать движение объектов размером менее 10 см, а также не решают проблему космического мусора в целом.

По данным расчетов А.И. Назаренко, в случае полного прекращения всех запусков на интервале прогноза (200 лет) при исключении взрывов космических аппаратов и ракет-носителей («идеальный» сценарий) (рис. 2) количество объектов размером от 10 до 20 см увеличится на 24%, а количество объектов менее 10 см увеличится в 4—6 раз.

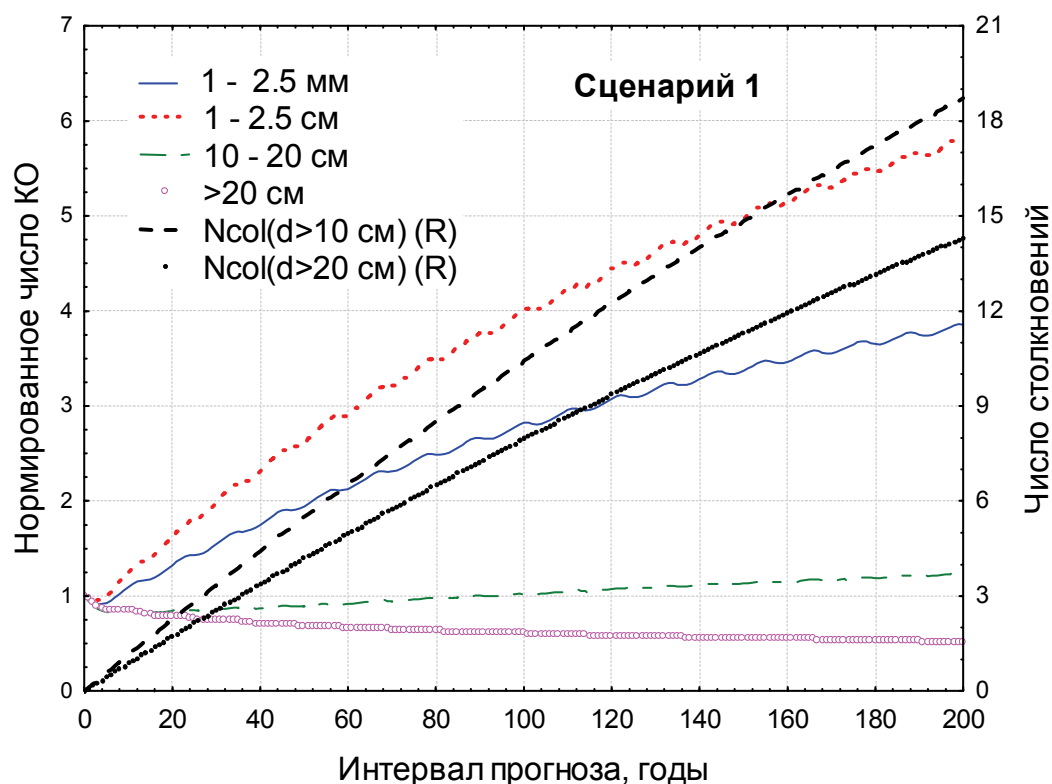


Рис. 2. Изменение числа космических объектов при «идеальном» сценарии

Если рассматривать «пессимистический» сценарий (рис. 3), при котором запуски продолжатся со средней интенсивностью при исключении возможности взрывов космических аппаратов и ракет-носителей, то число объектов размером от 10 до 20 см увеличится в 3,2 раза, а число более мелких фрагментов увеличится в 13—20 раз [2].

По данным НАСА, в настоящее время в околоземном космическом пространстве насчитывается около 500 тысяч объектов размером от 1 до 10 см и более 100 миллионов объектов размером менее 1 см.

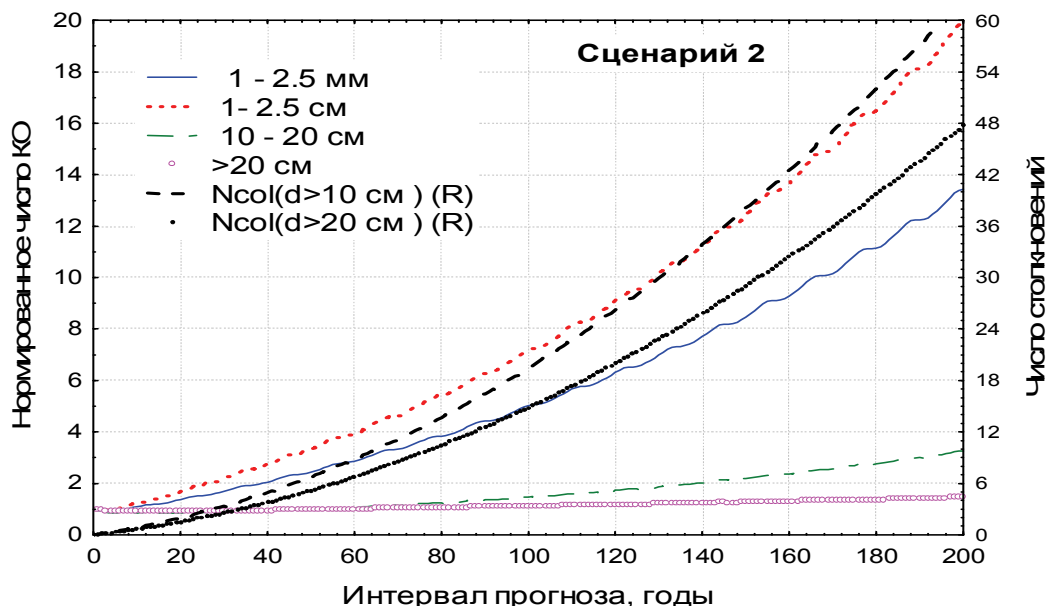


Рис. 3. Изменение числа космических объектов при «пессимистичном» сценарии

Даже многие крупные каталогизированные объекты ввиду особенностей их орбит перестают наблюдаться, выпадают из каталога (теряются), и их приходится заново искать. Это не всегда удается, а если удастся, то часто лишь с помощью специальных поисковых технологий [3]. Еще в большей степени это касается мелкой фракции. Сейчас не остается ничего другого, кроме как вести поиск, наблюдать и идентифицировать мелкий космический мусор выборочно, по мере появления возможности, в отдельных местах и в отдельные интервалы времени.

Если говорить о мониторинге частиц меньше сантиметра, то их практически невозможно обнаружить ни наземными средствами наблюдения, ни средствами наблюдения космического базирования. В данном случае сравнительно эффективно работают только бортовые контактные датчики. Подобные способы регистрации мелкого космического мусора используются уже давно. Они позволяют определять химический состав частиц (что важно для различения техногенных и метеорных частиц), их размеры, динамические характеристики и плотность на разных орбитах.

Для регистрации частиц космического мусора можно не прикладывать никаких специальных усилий. Достаточно естественного экспонирования поверхности космического объекта (обычно крупного) в открытом космосе. Остается только либо вернуть на Землю космический объект или его отдельные фрагменты и экспонированные в космосе материалы через несколько лет полета, либо с помощью космонавтов проинспектировать поверхность действующего космического аппарата непосредственно в космосе.

Подобная технология не требует разработки и использования специальных дорогих датчиков удара, так как в качестве регистратора удара используется «штатная» поверхность действующего космического аппарата или любого пас-

сивного космического объекта. Затратной будет лишь их доставка на Землю, да и то если она осуществляется специально только ради исследования результатов воздействия космического мусора.

Сравнительная доступность пассивной регистрации ударов космического мусора о поверхность космических объектов и обработки их следов позволила собрать большой объем данных о результатах воздействия мелкого космического мусора на поверхность космических объектов. Но, несмотря на объем полученной информации, она имеет ограниченную ценность для описания общей популяции мелкого космического мусора, так как они не дают возможности определить наличие и местоположение скоплений космического мусора, оценить его распределение в пространстве, динамику под влиянием солнечной активности и других возмущающих факторов, изменение характеристик популяции во времени.

Также существуют активные технологии измерений, для которых используют специальные бортовые датчики ударов частиц космического мусора. Простейшие и дешевые детекторы ударов просто регистрируют факт удара. Более сложные и высокотехнологичные детекторы позволяют восстановить широкий диапазон характеристик ударившейся о поверхность космического аппарата частицы космического мусора. Удобство активных детекторов состоит в том, что нет необходимости возвращения их на Землю для анализа. Диапазон высот, на которых можно производить измерения, по сути, ограничен только дальностью действия радиопередатчика. Явным недостатком подобных детекторов является ограниченная площадь рабочей поверхности детектора, а также цена — от 100 тыс. до 1 млн долл. Кроме этого, для обслуживания датчика необходимо большое количество вспомогательной аппаратуры, которая занимает немалый объем.

В заключение можно прийти к выводу, что крупные объекты космического мусора удовлетворительно контролируются системами контроля космического пространства России и США и его популяция, особенно для низких околоземных орбит, вполне информативно представлена в каталогах. Но существуют значительные пробелы в отслеживании мелкого и среднеразмерного космического мусора. Наиболее эффективным способом мониторинга последнего остаются дистанционные наблюдения с Земли с помощью различных радиолокационных, оптических и оптико-электронных средств. Выборочное зондирование потоков среднеразмерного и мелкого космического мусора довольно эффективно, но проводится в основном эпизодически, отсутствует системный подход к решению этой задачи.

Очевидна необходимость централизованной координации процессов наблюдения с постоянным увеличением числа его участников и организации совместного анализа как архивных, так и новых данных, что улучшило бы понимание источников малых и среднеразмерных частиц космического мусора и динамики их популяций.

Следует также отметить, что мониторинг околоземного космического пространства не является решением проблемы космического мусора, а представляет собой всего лишь временную меру. Как видно из прогнозов, засоренность космоса будет только увеличиваться, что требует более радикальных мер по решению данной проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бюллетень NASA «The Orbital Debris Quarterly News». — URL: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/pdfs/ODQNv17i4.pdf>
- [2] *Назаренко А.И.* Моделирование космического мусора: Монография. — М.: ИКИ РАН, 2013.
- [3] *Вениаминов С.С.* Введение в теорию планирования поиска космического объекта по неточной априорной информации о его орбите / Под ред. Р.Р. Назирова. — М.: ИКИ РАН, 2010.

LITERATURA

- [1] Byulleten' NASA «The Orbital Debris Quarterly News». — URL: <http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/pdfs/ODQNv17i4.pdf>
- [2] *Nazarenko A.I.* Modeli kosmicheskogo musora i reshenie prikladnykh zadach s ix ispol'zovaniem. — M., 2013.
- [3] *Veniaminov S.S.* Vvedenie v teoriyu planirovaniya poiska kosmicheskogo ob"ekta po netochnoj apriornoj informacii o ego orbite / Pod red. R.R. Nazirova. — M.: IKI RAN, 2010.

MODERN PROBLEMS OF MONITORING SPACE DEBRIS

**A.V. Shpakovich, L.V. Konstantinovskaya,
M.S. Shchemelinina**

Ecology faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093

The article discusses the main problems which scientists face in observing the space debris in Earth orbits, identifies the main disadvantages of the monitoring and need for more radical measures to solve the problem of the space debris.

Key words: debris, monitoring, safety of space flights, prognosis.