

Дистанционные, оптические и радиолокационные наблюдения за космическим пространством

© А. В. Ипатов¹, Л. А. Ведешин^{1,2}

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Реферат

Для дистанционных наблюдений за космическим пространством в СССР, США и др. странах в середине прошлого века были разработаны оптические и радиолокационные инструменты. В настоящее время в мире существуют две глобальные системы контроля космического пространства: российская и американская SPADATS, которые осуществляют наблюдения за всеми космическими объектами, в том числе за астероидами и кометами, представляющими угрозу человечеству. Российская система контроля космического пространства обеспечивает возможность слежения за всеми космическими объектами, используя показания системы раннего предупреждения о ракетном нападении, а также данные оптико-электронных средств космического мониторинга ГК «Роскосмос» и РАН. Особенно актуальным это направление стало в последнее десятилетие, в связи с засорением космического пространства фрагментами нефункционирующих космических аппаратов, образовавшимися в результате их разрушения («космическим мусором») и других космических объектов (астероидов, комет, метеоритов и др.), которые влияют на безопасность полётов искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей, орбитальных космических станций и автоматических межпланетных станций.

Дальнейшее неконтролируемое засорение космоса, по прогнозам экспертов ООН, к 2050 г. может привести к ограничению использования или временному прекращению запусков космических систем. Международное сотрудничество в создании достаточного количества географически разнесённых наблюдательных средств для обеспечения высокоточных координатных измерений по каждому наблюдаемому объекту космического мусора позволит обнаруживать и наблюдать даже малоразмерные частицы. В соответствии с предложениями ООН рассматривается установка телескопов в развивающихся странах, обучение наблюдателей, организация наблюдений и создание совместной базы данных космических объектов и космического мусора.

Ключевые слова: космический мусор, астероидно-кометная опасность, оптико-электронные средства космического мониторинга, система контроля космического пространства.

Контакты для связи: Ведешин Леонид Александрович (vedeshin40@mail.ru).

Для цитирования: Ипатов А. В., Ведешин Л. А. Дистанционные, оптические и радиолокационные наблюдения за космическим пространством // Труды ИПА РАН. 2022. Вып. 62. С. 10–14.
<https://doi.org/10.32876/AplAstron.62.10-14>

Remote, Optical and Radar Space Observations

A. V. Ipatov¹, L. A. Vedeshin^{1,2}

¹IAA RAS, Saint-Petersburg, Russia

²IKI RAS, Moscow, Russia

Abstract

Optical and radar instruments for remote observation of outer space were developed in the USSR, the USA and other countries in the middle of the last century. Currently, there are two global space control systems in the world: Russian and American SPADATS, which monitor all space objects, including asteroids and comets that pose a threat to humanity. The Russian space control system monitors all space objects, relying on the readings of the missile attack early warning system, as well as data from optoelectronic space monitoring tools of the State Corporation Roscosmos and the Russian Academy of Sciences. This direction has become especially relevant in the last decade, due to the clogging of space by fragments of non-functioning spacecraft formed as a result of their destruction (space debris) and other space objects (asteroids, comets, meteorites, etc.), which affect the flight safety of artificial satellites, manned spacecraft, orbital space stations and automatic interplanetary stations.

Further uncontrolled space debris, according to UN experts, by 2050 may lead to a limitation of the use or a temporary cessation of launches of space systems. International cooperation in creating a sufficient number of geographically dispersed observing facilities to provide high-precision coordinate measurements for each observed space debris object will make it possible to detect and observe even small-sized space debris particles. In accordance with the UN proposals, the installation of telescopes in developing countries, the training of observers, the organization of observations and the creation of a joint database of space objects and space debris are being considered.

Keywords: space debris, asteroid-comet hazard, optoelectronic space monitoring instruments, space control system.

Contacts: Leonid A. Vedeshin (vedeshin40@mail.ru).

For citation: Ipatov A. V., Vedeshin L. A. Remote, optical and radar space observations // Transactions of IAA RAS. 2022. Vol. 62. P. 10–14.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.62.10-14>

Введение

В настоящее время с помощью системы контроля космического пространства (СККП) можно наблюдать на околоземной орбите до 23 тыс. крупных космических объектов (КО), из них действующие и отслеживаемые КА составляют менее 5–6 %. По данным подкомитета ООН по космосу на низких околоземных орбитах находится до 10000 т космического мусора (КМ): кроме крупных КО и их фрагментов крупнее 10 см, существуют сотни тысяч КО размером от 1 до 10 см и сотни миллионов частиц от 1 мм до 1 см. Некоторые из них постоянно меняют свою орбиту, сталкиваются между собой и разрушаются, увеличивая количество частиц КМ ([Оголев и др., 2019](#)).

В мире продолжают внеплановые массовые запуски КА. Несколько компаний собираются покрыть всю планету доступным спутниковым интернетом, OneWeb планирует вывести на орбиту около 700 малых КА, а SpaceX — более 12 тыс. КА (менее 100 кг). Подобные проекты способны не только увеличить количество КМ, но и создать опасность столкновений для других работающих КА. При экономических преимуществах этих КА (меньшая стоимость производства, запуска и др.) они обладают коротким сроком активного существования и поэтому для решения целевых задач требуется производить довольно частые замены на орбите.

Другой проблемой в космосе могут стать «кубсаты» — малые или сверхмалые спутники, ставшие особенно популярными в последнее время ([Адушкин и др., 2019](#)). Они имеют минимальный вес и небольшую стоимость. Их выводят на орбиту в виде дополнительного груза десятками штук. При существующем темпе запусков КА, количество КМ в космическом пространстве (КП) увеличивается в среднем на 5 % в год. Этот процесс тесно связан как с самопроизвольным столкновением и разрушением ряда КА, так и с намеренным уничтожением вышедших из строя КА. В результате испытания противоспутникового оружия: в 2007 г. Китай сбил баллистической ракетой старый метеоспутник «Фэнъюнь-1-3», в 2008 г. США уничтожили свой неработающий КА, содержащий в баках около 400 кг ядовитого топлива (несимметричный диметилгидразин), в 2019 г. Индия разрушила свой спутник «Микросат-Р», а в 2021 г. баллистической ракетой был поражен недействующий российский КА «Целина-Д» («Космос-1408»). Эти испытания создают дополнительную угрозу

для действующих КА, находящихся на орбите. Особую опасность объекты КМ представляют для безопасности полётов пилотируемых космических кораблей орбитальных космических станций на высотах 250–300 км, метеорологических КА и спутников дистанционного зондирования Земли на орбитах 600–900 км, связанных и навигационных спутников на низких околоземных орбитах, спутников связи на высокой эллиптической орбите (ВЭО) и геостационарной орбите (ГСО), а также для автоматических межпланетных станций, выводимых на промежуточные орбиты. В настоящее время эффективных мер защиты от столкновения с опасными фрагментами КМ размером более 1 см на низких околоземных орбитах и более 3 см на ГСО практически нет.

Меры по борьбе с КМ и проблемные КО

Российскими специалистами рассматривается комплекс мер по уводу крупных КА на орбиты захоронения с помощью сборщиков КМ в виде буксиров, надувных шаров, аппаратов с солнечным парусом, а также уничтожению с помощью лазерных средств и др. Разрабатываются также системы для изменения высоты орбиты КМ и удаления его из КП путем принудительного спуска в плотные слои атмосферы. В настоящее время крупные части КА затапливают в несудоходных районах Мирового океана. Для ГСО, по инициативе Международного агентского координационного комитета (IADS), согласован «коридор», из которого должны уводиться отработавшие КА и доставившие их на орбиту разгонные блоки ракет-носителей. Исследуется также целесообразность применения на практике требования по уводу разгонных блоков низкоорбитальных КА на орбиту со сроком баллистического существования менее 25 лет. Еще одной проблемой в КП является неконтролируемый сход с орбиты и падение на Землю крупных обломков КА и их несгоревших фрагментов, которые могут угрожать населенным пунктам и промышленным объектам. Особую опасность представляют падающие на Землю и разрушающиеся при входе в атмосферу КА с ядерными источниками энергии на борту, а также фрагменты ракет-носителей и разгонные блоки с остатками токсичных компонентов ракетного топлива, способные нанести большой ущерб и вызвать серьезные экологические последствия. Например, в 1964 г. в атмосфере взорвался американский КА с ядерной установкой, в 1976 г. советский КА с ядерным реактором

упал в северной части Канады, и перечень подобных происшествий на этом не заканчивается ([Ведешин, 2019](#)).

Технические средства для наблюдений КО и КМ

В дистанционных наблюдениях за КО и КМ, которые осуществляют РФ и США, используются радиотехнические, радиолокационные (РЛС) ([Бабкин, 2019](#)), оптические, оптико-электронные и лазерные системы.

РЛС в основном следят за КА и КМ, находящимися на низких околоземных орбитах, а оптические измерения преимущественно ведутся за объектами на высокой околоземной орбите. С помощью РЛС наблюдения осуществляются при любых погодных условиях и в любое время суток. Однако к недостаткам использования РЛС для обнаружения мелких частиц КМ на большом удалении следует отнести значительный расход электроэнергии и ограниченные возможности рабочей длины волны. В настоящее время в мире существуют две системы контроля, ведущие наблюдения за всеми КО: это российская СККП и американская SPADATS. Информационные системы SPADATS размещены по всему Земному шару и имеют наилучшие возможности наблюдения за КП. Кроме того, в мире имеется значительное количество измерительных средств и в других государствах, таких как Великобритания, Германия, Франция, Япония и др. Слежением за опасными КО также занимаются многие государственные организации: NASA, ЕКА, обсерватории крупнейших университетов мира ([Ведешин, 2019](#)). Для этого используются РЛС и мощные телескопы, среди которых знаменитый космический телескоп «Хаббл». Подобные работы ведутся во многих государствах, в том числе в странах Евросоюза, где существует ряд программ национального уровня, предназначенных для обнаружения КО и дальнейшего устранения КМ. Ежегодно в рамках подкомитета ООН по космосу с участием российских и иностранных представителей рассматриваются вопросы международно-правового регулирования проблемы КМ, проводятся консультации специалистов по разработке методов количественной оценки КМ и рекомендаций по обеспечению безопасности полетов как пилотируемых космических кораблей, так и автоматических КА, на основе данных СККП, SPADATS и др. научных организаций.

РЛС СККП и SPADATS работают в различных диапазонах электромагнитного спектра по отраженному сигналу: от миллиметрового до метрового — и обладают разной чувствительностью и способностью обнаружения КМ. Это приводит к тому, что в разных областях КП предельный размер обнаруживаемых и сопровождаемых объектов КМ

отличается: для низких околоземных орбит он составляет 5–10 см, а для ГСО — 70–80 см. Специальными проводятся исследования с целью снижения этого порога путем использования средств контроля в нештатных (экспериментальных) режимах. Данные дистанционных наблюдений обрабатываются с целью уточнения параметров орбит и получения некоординатной информации для ведения, регулярно уточняемого каталога КО. С помощью существующих средств наблюдения обнаруживается и каталогизируется лишь небольшая доля общей популяции КО, в том числе КМ.

Наряду с РЛС за КО ведутся оптические наблюдения. Оптические станции являются основным источником координатной и некоординатной информации по объектам КМ на ГСО и ВЭО. Они используются для решения задач поиска, обнаружения и сопровождения объектов, получения их фотометрических характеристик, оценки параметров движения объектов относительно центра масс и получения их изображений. В России в настоящее время большой вклад в наблюдения за КМ вносят средства, созданные и поддерживаемые ГК «Роскосмос» в рамках национальной программы АСПОС ОКП (Автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в КП). АСПОС ОКП была принята в штатную эксплуатацию 1 января 2016 г. и располагает 36 телескопами, которые могут обнаружить КО на высотах до 50 тыс. км. Информационные возможности АСПОС ОКП позволяют использовать для мониторинга КП измерительную информацию, полученную с применением российских и зарубежных РЛС, оптических и радиотехнических средств наблюдения КО (около 50 телескопов в 17 пунктах на территории РФ и за рубежом).

Для реализации этой программы задействованы также оптико-электронные средства ГК «Роскосмос», АО «Астрономический научный центр», ПАО «МАК «Вымпел». Активное участие в этих наблюдениях принимает целый ряд научных организаций РАН: Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша (ИПМ), Институт солнечно-земной физики ИСФЗ СО РАН, Институт астрономии РАН (ИНАСАН), Институт прикладной астрономии РАН (ИПА РАН) ([Ипатов, Ведешин, 2021](#)), включающий Приозерскую, Зеленчукскую, Иркутскую и Уссурийскую астрофизические обсерватории и др.

Научное руководство программой АСПОС: постановку задач, накопление и анализ результатов мониторинга КП — осуществляет ИПМ РАН. Высокоточные радиотехнические наблюдения КО и естественных тел Солнечной системы в дальнем и ближнем космосе выполняет ИПА РАН с помощью радиотелескопов (2 РТ-13 и 3 РТ-32) РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». Уже имеется опыт наблюдений ряда КО ([Васильев и др., 2015](#)): КА навига-

ционных систем GPS, ГЛОНАСС, Beidou, КА серии «Космос», «РадиоАстрон», «Mars Express», лунным посадочным аппаратом «Chang'E-3» и др. ИНАСАН проводит наблюдения малоразмерных объектов в зоне ГСО с помощью довольно крупного телескопа Цейсс-2000, а также изучение и мониторинг астероидов, сближающихся с Землей. Получаемые данные являются источником информации об опасных малоразмерных (0.2–1 м) и слабых (менее 16.5 звездной величины) объектах в области ГСО и ВЭО. Оптические средства используются для глобального контроля ГСО по долготе (0–360 градусов) и наклонению (0–20 градусов); выборочному контролю КО на ВЭО типа «Молния» и геопереходных орбитах, а также автономного обнаружения и регулярного контроля малоразмерных объектов на ГСО и ВЭО. Одновременно специалистами ИНАСАН проводятся измерения и анализ данных об опасных КО в области высоких орбит. С помощью оптических систем успешно решаются задачи обнаружения и сопровождения, вышедших из строя крупных КА и последних ступеней ракет-носителей, но не обеспечивается получение полной информации по технологическим элементам и фрагментарному мусору.

Кроме названных методов могут применяться наблюдения за КМ с борта КА, например с международной космической станции, а также с помощью космического телескопа «Хаббл» и др. Однако расходы по использованию космических средств наблюдения за КМ выше стоимости систем наземного наблюдения.

Информационные системы и каталоги для изучения космического мусора

С целью систематизации и накопления сведений о засоренности орбит создаются специальные каталоги и базы данных. В настоящее время существуют два каталога КО, которые постоянно обновляются на основе результатов наблюдений: «Каталог космического командования» США и «Каталог системы предупреждения о ракетном нападении» РФ. Он включает в себя данные о 15.8 тыс. КО. Эта информация хранится также в базе данных DISCOS ЕКА, созданной на основе двух указанных каталогов. Российской СККП за прошлый год на земной орбите было зафиксировано восемь эпизодов разрушения КА. В докладе СККП «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы» говорится, что начиная с 2015 г. число космических запусков увеличилось вдвое, и к концу прошлого года в КП под наблюдением находилось более 8 тыс. КА, при этом только 2.5 тыс. из них рабочие.

Ученые и специалисты считают, что если в течение последующих десяти лет эта тенденция продолжится, то безопасное функционирование

действующих на орбите КА окажется невозможным. ГК «Роскосмос», Российская академия наук, Минобороны России, МИД России уделяют большое внимание решению этой проблемы ([Шустов, 2019](#)). На государственном уровне принят ряд совместных решений по созданию «Комплексной системы мониторинга опасных объектов и событий в КП и предупреждения космических угроз» (проект «Дозор»). В рамках проработки проекта ФЦП «Исследования научно-технических проблем и разработка предложений по созданию перспективных средств измерений, наблюдения и контроля, единой системы предупреждения и парирования космических угроз» РАН предложила проект создания на территории РФ и за рубежом новых оптических средств мониторинга КП, астероидов и комет.

Проблемы противодействия космическим угрозам, безусловно, находятся в тесной связи с задачами по поддержанию высокого уровня национальной безопасности и созданию единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, определенными Стратегией национальной безопасности РФ. С учетом важности этой проблемы, в рамках Совета РАН по космосу создана Межведомственная экспертная группа по подготовке предложений о создании российской системы противодействия космическим угрозам и проблемам КМ. На одном из заседаний Совета РАН по космосу были заслушаны доклады ученых и специалистов по фундаментальным и прикладным аспектам проблемы КМ и принято решение включить в Программу фундаментальных научных исследований РАН задания на разработку эффективных методов изучения проблемы КМ. В ИКИ РАН в 2019 г. состоялась Всероссийская конференция «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты, угрозы». В ИПМ, ИНАСАН, ИКИ, ИПА, ИСЗФ СО РАН с участием ВУЗов и организаций промышленности ведется разработка физических и математических моделей, качественно и количественно описывающих процессы, приводящих к образованию КМ в результате воздействия факторов космической среды на материалы внешних поверхностей конструкции КА и ступеней РН. В частности, большой интерес представляет разработка модели физических процессов, приводящих к расслаиванию экранно-вакуумной теплоизоляции в космосе и отрыву ее фрагментов от элементов конструкции КА, в том числе на ГСО. Планируется проведение исследований по оценке изменений физических свойств материалов и отражательных характеристик КА и фрагментов КМ по массе и размерам образующихся при разрушении типовых конструкций КА, ракет-носителей и баллистических ракет в результате взрывов, обусловленных наличием на борту топлива и источников энергии. Разрабатываются технологии анализа и обработки

больших массивов информации по КО с целью выявления закономерностей и тенденций их распределения на орбитах КП.

Заключение

Наблюдать и обнаруживать малоразмерные частицы КМ позволит международное сотрудничество в создании достаточного количества географически разнесённых наблюдательных средств для обеспечения высокоточных координатных измерений по каждому наблюдаемому объекту КМ. В Федеральную космическую программу России до 2025 г. включены работы по созданию космических средств для уборки мусора с ГСО, на которых в настоящее время находится значительное количество неэксплуатируемых КА и частиц КМ. В 2018 г. ООН выступила с инициативой сотрудничества в рамках программы «Открытая Вселенная»: установка телескопов в развивающихся странах, обучение наблюдателей, организация наблюдений, создание совместной базы данных по наблюдению за КО и КМ ([Лаверов, Медведев, 2012](#)).

В целях решения проблемы КМ и предотвращения астероидно-кометных угроз ([Ведешин, 2017](#)), на основе отечественного и зарубежного опыта эксперты ООН рассматривают также предложения по созданию специальной международной службы по мониторингу и управлению состоянием ОКП.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Мониторинг», гос. регистрация № 122042500031-8.

Литература

- Адушкин В. В., Аксенов О. Ю., Вениаминов С. С. и др.* О популяции мелкого космического мусора, её влияния на безопасность космической деятельности и экологию Земли. // Сб. трудов «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угроз». 2019. С. 20–32.
- Бабкин Ю. В.* Возможность использования радиолокационных станций как средства наблюдения за высокоорбитальными космическими объектами. // Сб. трудов конф. «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угроз». 2019. С. 58–62.
- Васильев М. В., Зимовский В. Ф., Ильин Г. Н. и др.* Радиотехнические наблюдения космических аппаратов на базе средств РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» // Труды ИПА РАН. 2015. Вып. 35. С. 68–73.
- Ведешин Л. А.* Концепция создания системы мониторинга и управления экологическим состоянием околоземного космического пространства // Труды ИПА РАН. 2019. Вып. 51. С. 26–31.
- Ведешин Л. А.* О реализации и координации российских и международных проектов дистанционного зондирования планет Солнечной системы и Галактики // Труды ИПА РАН. 2019. Вып. 48. С. 21–25.
- Ведешин Л. А.* Фундаментальные основы создания системы мониторинга астероидно-кометной опасности Земли. // Труды ИПА РАН. Вып. 42. 2017. С. 64–71.
- Ипатов А. В., Ведешин Л. А.* Перспективы использования радиотелескопов на Земле, в космосе и на Луне // Земля и Вселенная. 2021. № 3. С. 52–65.
- Лаверов Н. П., Медведев А. А.* Космические исследования и технологии: расширение знаний об окружающем мире. М.: Доброе слово, 2012. С. 61–68.
- Оголев А. В., Морозов С. В.* Анализ засорённости околоземного космического пространства объектами техногенного происхождения и их влияние на функционирование космических аппаратов // Сб. трудов «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угроз». 2019. С. 15–20.
- Шустов Б. М.* О фундаментальных исследованиях по проблеме космического мусора // Сб. трудов конф. «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угроз». 2019. С. 7–14.