



Один из основных научно-исследовательских инструментов астроизмерительного комплекса «Саяны» Института солнечно-земной физики СО РАН – инфракрасный телескоп АЗТ ЗЗИК с диаметром главного зеркала 1,7 м



На орбите становится тесно

«Выгода одного – ущерб для другого»
М. Монтень, «Опыты»



ПАПУШЕВ Павел Георгиевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией инфракрасных методов в астрофизике Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 67 научных работ. Член международного астрономического союза и Американской академии астронавтики. Награжден медалью ордена «За заслуги перед отечеством» II степени

Ключевые слова: искусственный спутник Земли, оптический телескоп, астрофотометрия, космический мусор.
Key words: Earth satellite, optical telescope, astrophotometry, space debris

Сегодня многие страны стараются использовать естественные преимущества геостационарной орбиты, на которой запущенный спутник остается практически неподвижным относительно поверхности Земли. Количество объектов на орбите постоянно увеличивается, что может привести к столкновениям и, как следствие, к серьезным сбоям и нарушениям в работе важнейших космических систем, играющих все возрастающую роль в современной деятельности человечества. Поэтому одной из важнейших задач астрономии становится мониторинг техногенного засорения околоземного космического пространства

Проблема техногенного засорения околоземного космического пространства – так называемого *космического мусора* – была впервые поднята еще в середине 1980-х гг. аналитиком НАСА Д. Кесслером. Опираясь на известные в то время факты разрушения советских геостационарных спутников «Экран» и разгонных блоков ракет «Титан – Транстейдж», выводивших американские спутники на геостационарную орбиту, он предсказал сценарий, в котором при достаточно высокой плотности космического мусора будет происходить каскадное размножение осколков по степенному или экспоненциальному закону.

Пока этот катастрофический сценарий не нашел экспериментального подтверждения, однако целый ряд событий на околоземных орбитах делают его все более вероятным. Анализ орбитальных данных геостационарных космических объектов, выполненный в конце 1990-х гг. учеными Пулковской обсерватории, показал, что по крайней мере у 12 геостационарных спутников наблюдаются изменения параметров орбиты, характерные для разрушений и столкновений.

Как же сегодня обстоят дела на околоземных орбитах? Сегодня там насчитывается около 13,5 тыс. только «целых» космических аппаратов, при том что лишь каждый двадцатый из них – действующий. Кроме того, национальные каталоги космических объектов, поддерживаемые США и Россией, содержат орбитальные данные примерно о 30 тыс. «лишних» объектов.

Такие объекты частично являются фрагментами средств выведения, деталями аппаратуры (например, крышками, которыми закрываются объективы оптических систем на период выведения и отстреливаемые в начале летной эксплуатации). Но основной вклад вносят все же обломки разрушенных космических аппаратов и их разгонных блоков.

На орбите становится тесно, поэтому неудивительно, что мониторинг техногенной обста-



Работы по лунной программе и автоматическим межпланетным станциям потребовали создания в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН (ранее СибИЗМИР) астроизмерительного комплекса «Саяны». Для этого в 1968 г. здесь был установлен полуметровый телескоп АЗТ 14 с автоматизированной системой управления и телевизионной системой обнаружения слабосветящихся объектов. Вычислительный центр астроизмерительного комплекса успешно решал задачи повышения точности и оперативности обработки астрометрической информации.

Начало наблюдениям космических объектов было положено в октябре 1969 г.: были определены координаты искусственного спутника Земли «Молния», запущенного на эллиптическую орбиту с высотой апогея 42 000 км и наклоном 63,2 градуса. Автоматизированная система позволила довести точность измерения координат спутников до нескольких сотен метров на дальности 100 тыс. км, а оперативность получения траекторной информации составила 10—15 мин.

В 1980-х гг. в обсерватории приступили к созданию комплекса приборов для получения некоординатной информации о спутниках (блеске, спектральном распределении и поляризации отраженного от поверхности излучения), позволяющей провести их распознавание и классификацию. Благодаря такой методике появляется возможность осмотреть освещаемую поверхность вращающегося в пространстве спутника и получить информацию о целостности конструкции.

Многоканальный комплекс фотометрической аппаратуры телескопа АЗТ 14 Саянской обсерватории позволил исследовать кривые блеска спутников. Эти наблюдения были использованы при создании системы мониторинга технического состояния космических аппаратов, разработанной совместно с ЦНИИ машиностроения Федерального космического агентства. В ее основу положены методы имитационного моделирования отражательно-излучательных характеристик космических аппаратов в реальных условиях полета. С помощью такого подхода стало возможным определять нештатные ситуации, возникающие в процессе летной эксплуатации космических аппаратов

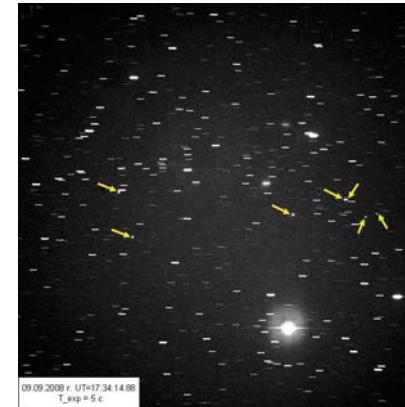
новки в околоземном космическом пространстве стал сегодня насущной задачей.

Увидеть спутник

Первый искусственный спутник Земли представлял собой полированную алюминиевую сферу диаметром 58 см, двигающуюся по орбите с наклоном 65°, высотой апогея 947 км и высотой перигея 228 км. Более сложный объект для астрономических наблюдений трудно представить. Даже диффузно рассеивающая сфера такого же диаметра выглядела бы в апогее как звезда 8—9 величины и была бы недоступна для визуальных оптических наблюдений.

Поэтому реально удалось увидеть лишь вторую ступень ракеты-носителя (по современной терминологии, разгонный блок). Таким образом, уже первые оптические наблюдения искусственного спутника Земли оказались первыми наблюдениями космического мусора!

Еще одна астрономическая проблема, проявившаяся после запуска первых спутников – переменность



Первым телескопом астроизмерительного комплекса «Саяны» стал полуметровый АЗТ 14 (слева). Вверху – семь геостационарных космических объектов в поле зрения АЗТ 14

их блеска. Интерес к этой проблеме привел известного советского астронома, исследователя переменных звезд В. П. Цесевича к созданию первых астроприборов для фотометрических наблюдений искусственных спутников Земли. Он сформулировал и основные идеи фотометрических наблюдений, которые впоследствии были использованы при изучении оптико-геометрических характеристик поверхностей космических аппаратов.

Хотя спутники и их разгонные блоки представляют собой слабосветящиеся объекты, вести астрономическое наблюдение за ними во многих случаях просто необходимо. Особенно остро вопрос о наблюдаемости космических объектов встал в начале освоения Луны, когда потребовалось определить координаты ракеты перед выводом автоматических межпланетных станций на отлетную траекторию при дальности более 100 тыс. км.

Оригинальное решение этой проблемы было предложено известным советским астрофизиком И. С. Шкловским. Он предложил «выбросить» с борта ракеты не-

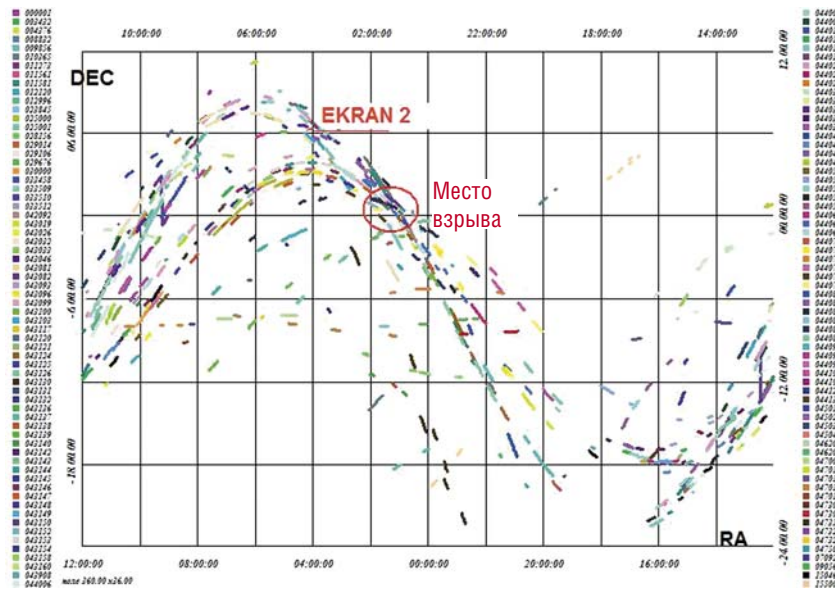


большое (порядка 1 кг) количество металлического натрия. Возбуждение атомов натрия солнечным светом позволило легко наблюдать их свечение на достаточно ярком фоне и определить положение ракеты относительно звезд.

«Искусственная комета» успешно наблюдалась как звезда приблизительно 4-й величины многими советскими и зарубежными обсерваториями, что обеспечило коррекцию траекторных параметров и успешное выполнение задач, возложенных на автоматическую межпланетную станцию «Луна-1».

В научном тандеме

Инфракрасный телескоп АЗТ 33ИК с диаметром главного зеркала 1,7 м был создан на базе новых конструкторско-технологических решений мирового уровня. В телескопе применены светосильные облегченные асферические зеркала, современные системы автоматизированного управления телескопом, которые обеспечивают высокоточное наведение, сопровождение космических объектов и измерение их оптических характеристик. Оптическая система обладает достаточно большим для этого класса телескопов полем зрения – 12 угловых минут и хорошо приспособлена для выполнения многих современных астрофизических программ



Распределение малоразмерных осколков в окологеостационарной области подчиняется доказанной В. И. Арнольдом усиленной теореме Пуанкаре о возвращении, которая утверждает, что почти всякая движущаяся в гравитационном поле материальная точка многократно возвращается к своему исходному положению. Экспериментальным подтверждением этому служит группировка осколков вблизи орбиты разрушившегося аппарата «Экран-2». Кроме того, в определенной части трубки объекта наблюдается сгущение траекторий, указывающее на место взрыва.

Сегодня на геостационарной орбите находится свыше тысячи крупных «лишних» объектов. Двенадцать таких спутников, у которых ученые Пулковской обсерватории обнаружили «подозрительные» изменения орбитальных параметров, характерные для разрушающихся объектов, были исследованы на предмет целостности конструкции.

В результате применения методов имитационного моделирования к результатам наблюдений, выполненных в Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, было обнаружено, что у космических аппаратов «Экран» с номерами 2–5 отсутствуют панели солнечных батарей!

Еще более неожиданные результаты были получены учеными Европейского космического агентства (ЕКА) и астрономической обсерватории университета в г. Берне (Швейцария). Для сканирования области неба, через которую проходят орбиты «старых» геостационарных спутников, был использован телескоп с метровым зеркалом, установленный в обсерватории ЕКА на о. Тенерифе. В результате было обнаружено несколько тысяч объектов с размерами 20 см и менее.

Сразу возникла необходимость в проведении дальнейших исследований орбитальных параметров и оптических характеристик этих вновь обнаруженных техногенных космических объектов. К сожалению, телескопов, позволяющих наблюдать подвижные объекты 18–21-й звездной величины, в достаточном количестве не нашлось.

Чтобы взять на сопровождение первый десяток малоразмерных осколков, потребовалась кооперация работ на метровом телескопе на о. Тенерифе, на 2,5-метровом телескопе Крымской астрофизической обсерватории и на только что введенном в опытную

эксплуатацию 1,7-метровом телескопе АЗТ ЗЗИК Саянской обсерватории. Немного позднее к кооперации подключился телескоп Цейсс-2000 Терскольской обсерватории Института астрономии РАН. Обработка данных и прогнозирование орбит выполнялись баллистическим центром Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН.

На всех парусах

В результате научной кооперации были получены общие представления о характере движения осколков. В частности, по наблюдениям на телескопе АЗТ ЗЗИК было установлено пространственное распределение малоразмерных осколков. Оказалось, что значительная доля осколков группируется вблизи орбиты родительского тела. Однако большое количество траекторий осколков не проходит через точку сгущения и лежит достаточно далеко от наблюдаемой на небе «трубки» вокруг орбиты родительского тела.

Поскольку эти осколки представляют серьезную угрозу на космической «трассе», потребовалось установить их истинную природу и причину столь неожиданных траекторий. Единственное разумное объяснение состоит в том, что эти объекты имеют большую *парусность* – отношение площади поперечного сечения объекта к его массе. В этом случае действующее на них световое давление, превосходящее возмущения от гармоник геопотенциала и приливных возмущения, вызывает колебания эксцентриситета без существенного изменения величины большой полуоси (и, в соответс-

При проектировании нового широкоугольного телескопа АЗТ ЗЗВМ (справа на фото) диаметром 1,6 м и полем зрения 3° был использован технологический задел, полученный при изготовлении главного гиперболического зеркала для телескопа АЗТ ЗЗИК. Наиболее проблемными оказались технологии изготовления мозаик ПЗС матриц с быстрым временем считывания, а также технологии быстрой обработки данных измерений объемом до нескольких терабайт в режиме реального времени



твии с законами Кеплера, энергии).

Определенная таким образом парусность составила огромную величину, лежащую в диапазоне 1–50 м²/кг. Заметим, что обычный спутник имеет парусность порядка 0,0005 м²/кг, а лист обычной письменной бумаги – 13 м²/кг. Последующий учет этого феномена при прогнозе траектории позволил взять на сопровождение несколько десятков других необычных объектов, не принадлежащих к трубкам родительских тел.

Телескопы, участвовавшие в обнаружении малоразмерных осколков в геостационарной области орбит, обладают достаточной проникающей способностью, но их поля зрения не хватает для непрерывного сопровождения осколков. Требуются новые, широкоугольные телескопы с высокой проникающей способностью, позволяющие осмотреть заданную площадь неба (порядка 6000 кв. градусов) в течение одной ночи! Современные технологии уже позволяют создать телескоп диаметром 1,5–2 метра с полем зрения до 10 кв. градусов, который обеспечит глубину обзора до 22–23-й звездной величины.

Необходимым шагом в повышении безопасности космических полетов должно стать решение задачи массового обнаружения и непрерывного мониторинга параметров движения малоразмерного космического мусора. По оценкам НАСА, относительно безопасная эксплуатация космической техники может быть обеспечена, если национальные системы контроля позволят вести каталог из 150 тыс. объектов во всех эшелонах орбит.

Конечно, космический мусор – это неизбежное зло, однако астрономические методы сегодня способны обеспечить необходимые достоверные знания о космической обстановке. И главная стратегия в повышении космической безопасности должна заключаться в скоростном обзоре неба с помощью широкоугольных телескопов с высокой проникающей способностью.

Литература
Анфимов Н.А., Копяткевич Р.М. и др. *Дистанционная диагностика характеристик и технического состояния КА с помощью телескопов // Околосземная астрономия XXI века. М., 2001. С.14–23*

Рыхлова Л.В. *www.astronomer.ru/report/0000036/*
Kiladze R.I, Sochilina A.S., Grigoriev K.V. and Verzhkov A.N. *On Investigation of Long-Term Orbital Evolution of Geostationary Satellites : Proceedings 2-th European Conference on Space Debris, ESA SP-403. 1997. P. 53–57*

В публикации использованы фотографии В. Короткоручко (Иркутск)