

УДК 629.7.086

DOI: 10.47813/rosnio.2022.3.90-95

EDN: [NKIXEP](#)



## Контроль движения малых тел Солнечной системы

**А.О. Жуков<sup>1,2,\*</sup>, А.И. Башкатов<sup>1</sup>, Е.Д. Доронина<sup>1</sup>,  
И.Н. Карцан<sup>1,3,4,5</sup>, М.А. Клементьева<sup>1</sup>, Т.А. Козлова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Аналитический центр», ул. Талалихина, 33/4, г. Москва, 109316, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт астрономии Российской академии наук», ул. Пятницкая, 48, г. Москва, 119017, Россия

<sup>3</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, 660037, Россия

<sup>4</sup>Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, д.2, г. Севастополь, 299011, Россия

<sup>5</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия

\*E-mail: aozhukov@mail.ru

**Аннотация.** Представлен анализ необходимости осуществлять контроль движения астероидов и комет, которые являются потенциально опасными объектами и могут привести к катастрофическим явлениям на поверхности Земли. Рассмотрена причина роста обнаружения более мелких астероидов за последние годы.

**Ключевые слова:** астероид, комета, контроль движения, телескопы, потенциально опасный объект

## Controlling the motion of small bodies in the solar system

**A.O. Zhukov<sup>1,2,\*</sup>, A.I. Bashkatov<sup>1</sup>, E.D. Doronina<sup>1</sup>, I.N. Kartsan<sup>1,3,4,5</sup>,  
M.A. Klementeva<sup>1</sup>, T.A. Kozlova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>"Analytical Center", Talalikhina Str., 33, Building 4, Moscow, 109316, Russia

<sup>2</sup>Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, 48, Pyatnitskaya Str., Moscow, 119017, Russia

<sup>3</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russia

<sup>4</sup>Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences», 2, Kapitanskaya Str., Sevastopol, 299011, Russia

<sup>5</sup>Sevastopol State University, University Str. 33, Sevastopol, 299053, Russia

\*E-mail: aozhukov@mail.ru

**Abstract.** An analysis of the need to monitor the movement of asteroids and comets, which potentially dangerous objects will lead to catastrophic events on the surface of the Earth is presented. The reason for the increase in the detection of smaller asteroids in recent years is considered.

**Keywords:** asteroid, comet, motion control, telescopes, potentially dangerous object

## 1. Введение

Контроль движения астероидов и комет в Солнечной системе необходим для решения двух задач [1]:

- Для организации к ним космических полетов.
- Для контроля возможного падения этих космических тел на поверхность Земли.

При сегодняшнем уровне развития космической техники полеты возможны только к астероидам Главного пояса и к кометам во время их пролета через внутренние области Солнечной системы. Полеты к объектам пояса Койпера представляют собой уникальные эксперименты, сравнимые по сложности с миссией полета к Плутону «Новые горизонты».

Так называемая астероидно-кометная опасность. Падение на Землю астероида размером более 1 км. может вызвать глобальную катастрофу, падение более мелких астероидов приводит к катастрофам и разрушениями в региональном или локальном масштабах. Перечисленные события очень редки, но одновременно столь опасны, что необходим постоянный контроль за возможностью столкновения астероидов с Землей.

Фрагменты космического мусора (КМ) и малые тела Солнечной системы являются пассивными объектами, слежение за которыми возможно с Земли или с космических аппаратов (КА) [2-5]. Таким образом, для них возможно применение только неавтономных методов навигации. Исключение составляют отдельные астероиды и кометы, которых достигли межпланетные КА и доставили на них навигационную аппаратуру: радиопередатчики или панели уголковых отражателей для лазерной локации.

## 2. Основная часть

За все время до октября 2021 года было открыто 1,1 млн астероидов. Для всех из них известны параметры их орбитального движения, определение орбиты в обязательном порядке входит в процедуру подтверждения открытия астероида. Точность, с которой известны их орбиты, различны, для любого астероида мы сможем найти область на небе, где он будет в течение года. Положение некоторых астероидов мы можем предсказать с высокой точностью или на большом интервале времени, обычно это чем-то интересные объекты, которые наблюдались много раз.

Для решения задачи полетов к астероидам всю их совокупность не требуется наблюдать непрерывно и часто. Частота наблюдений астероидов должна быть такой, чтобы мы не «теряли» объекты. Если какой-либо астероид будет выбран целью полета КА, его орбиту можно будет быстро уточнить.

Число открытых астероидов постоянно растет. Частота их открытия возросла в последнее десятилетие с введением в строй автоматических телескопов. В среднем в месяц открывают несколько сотен астероидов.

Обнаружение астероидно-кометной опасности (АКО) требует другого подхода. Для того, чтобы астероид когда-либо столкнулся с Землей, необходимо, чтобы его орбита проходила вблизи орбиты Земли, тогда время от времени будут происходить тесные сближения Земли и астероида, в результате чего его орбита будет меняться. Это приводит либо к столкновению с Землей, либо к нарушению условия близости орбит.

Класс астероидов, для которых выполняются условия, делающие возможным их столкновение с Землей, называют потенциально опасными объектами (ПОО). К ПОО относятся астероиды, удовлетворяющие следующим требованиям:

- наименьшее расстояние между орбитами астероида и Земли не превышает 0,05 а.е. (7,5 млн. км.);
- абсолютная звездная величина астероида не превышает 22,0.

Первое условие обуславливает принципиальную возможность тесного сближения астероида с Землей. Второе условие связано с размером астероида. Абсолютную звездную величину 22,0 при альбедо поверхности 0,13 (типичное значение альбедо) имеют астероиды диаметром 150 м. [6-8]. Примерно с этого размера падение астероида на поверхность Земли начинает приводить к катастрофическим явлениям. Более мелкие объекты могут вызвать только локальные разрушения и глобальной опасности не представляют.

ПОО составляют небольшую долю всех астероидов, но их контроль должен быть гораздо более жестким. Мы должны знать все ПОО размером более 100-150 м., а возможно начиная с 15-30 м., чтобы избежать событий подобных радениям Тунгусского или Челябинского (Чебаркульского) метеоритов. Кроме того, высокой точностью должны знать их орбиты и контролировать изменение орбит после каждого тесного сближения с Землей.

Задача каталогизации ПОО еще не решена. Рост числа открытых ПОО со временем показан на рисунке 1 [9-12]. На 31 октября 2021 года было открыто 890 ПОО размером более 1 км., 9871 ПОО размером более 140 м. и 27 255 всех размеров. На рисунке 2 показаны те же данные, что и на рисунке 1, но только для ПОО размером 1 км и более.

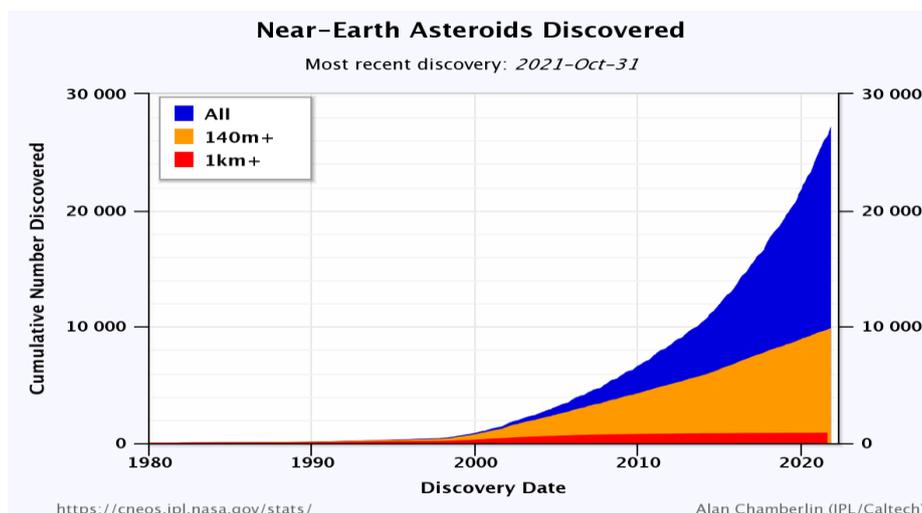


Рисунок 1. Рост числа известных ПОО различных размеров.

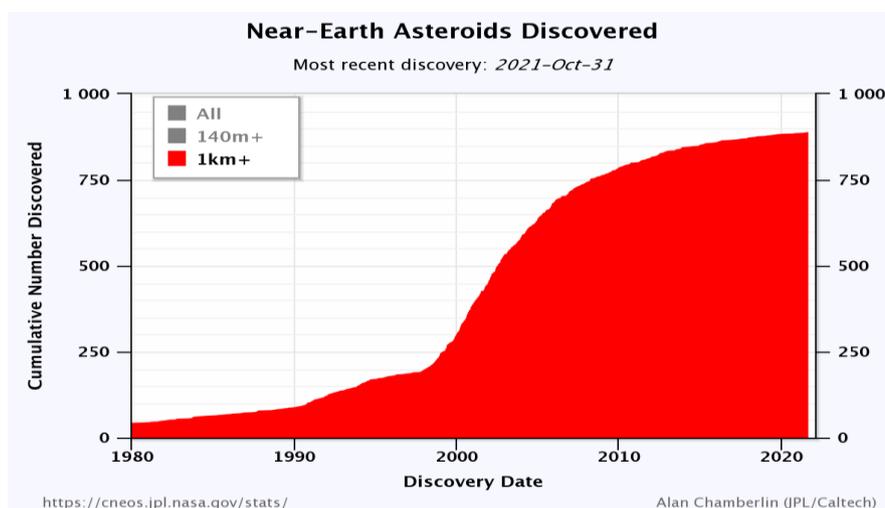


Рисунок 2. Рост числа известных ПОО размером более 1 км.

На всех трех зависимостях, приведенных на рисунках 1 и 2, видно, что после 2000 года открывать астероиды стали чаще. Это связано с введением в строй новых автоматических телескопов, производительность которых в плане обнаружения астероидов намного выше, чем при ручном проведении наблюдений. Такие телескопы вводились в строй и после 2000 года, поэтому частота открытий астероидов после 2010

года выше, чем между 2000 и 2010 годами. И новые телескопы имели большие диаметры, что позволило обнаруживать на них мелкие астероиды, из-за этого кривая открытых ПОО без ограничения размеров растет быстрее двух других.

На рисунке 2 видно, что открытие ПОО размером более 1 км. в несколько раз ускорилось после 2000 года, но после 2010 года число ежегодно открываемых ПОО такого размера стало уменьшаться. В 2020 году было открыто 6 таких астероидов, в неполном 2021 году – еще 6. Такое поведение кривой говорит, что открыли почти все ПОО километровых размеров, почти все их знаем и большого числа новых открытий не будет.

Для ПОО размеров менее 1 км. и этого эффекта не наблюдается, соответственно мы открыли не очень большую долю их полной популяции.

### **3. Выводы**

Навигация в пределах системы Земля-Луна становится актуальной задачей в связи с началом выполнения космических программ освоения Луны, объявленных США, Китаем и Российской Федерацией. Для навигации в системе Земля-Луна могут систематически использоваться следующие три небесных тела: Земля, Луна и Солнце. Эти объекты практически всегда видны из любой точки системы Земля-Луна, исключения составляют только небольшие области пространства, в котором одно из этих тел закрывает или перекрывает другое. Использование в качестве ориентиров других космических тел в системе Земля-Луны возможно только эпизодически и не отличается от ситуации навигации в Солнечной системе.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Разработка новых методов автономной навигации космических аппаратов в космическом пространстве» 121102600068-5.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

### **Список литературы**

1. Нароенков, С. А. Информационная система хранения, обработки и распространения данных о малых телах солнечной системы / С. А. Нароенков, А. О. Жуков, А. В. Николаев // Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – № 5(11). – С. 75-78.
2. Жуков, А. О. Перспективы повышения измерительной информации для определения параметров орбиты космических аппаратов / А. О. Жуков, И. Н. Карцан // В сборнике:

- Решетневские чтения. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях. Под редакцией Ю.Ю. Логинова. – 2019. – С. 300-302.
3. Олейников, И. И. Способ построения расширенного каталога космических объектов размерами более 1 см на основе базы данных АСПОС ОКП / И. И. Олейников, М. В. Астраханцев // Решетневские чтения. – 2013. – № 1. – С. 37-39.
  4. Вениаминов, С. Космический мусор — угроза человечеству. 2-е изд., исправл. и доп. / С. Вениаминов. Москва: ИКИ РАН, 2013. – 207 с.
  5. Карцан, И. Н. Эффективность радионавигационных систем / И. Н. Карцан, К. Г. Охоткин, Р. В. Карцан, Д. Н. Пахоруков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 3(49). – С. 48-50.
  6. Шустов, Б. М. О концепции комплексной программы «Создание Российской системы противодействия космическим угрозам (2012-2020)» / Б. М. Шустов, Л. В. Рыхлова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2011. – № 6. – С. 4.
  7. Рыхлова, Л. В. Околосемная астрономия / Л. В. Рыхлова // Земля и Вселенная. – 2016. № 6. – С. 56-66.
  8. Жукова, Е. С. Область применения космической навигации / Е. С. Жукова, С. В. Литошик, В. И. Колесник, И. Н. Карцан // Решетневские чтения. – 2010. – № 1. – С. 146-148.
  9. Витязев, А. В. Астероидная и сейсмическая опасность: Введение в новые аспекты проблемы / А. В. Витязев, Г. В. Печерникова. Москва: ИОФЗ РАН, 1997. – 69 с.
  10. Abramova, E. N. Small spacecraft's inflatable aerodynamic decelerator design issues analysis / E. N. Abramova, S. V. Reznik // AIP Conference Proceedings 2171. – 2019. – С. 040002.
  11. Liou, J.-C. Risks in space from orbital debris / J.-C. Liou, N. Johnson // Science. – 2006. – № 311. – P. 340-341.
  12. Шугаров, А. С. Концепция широкоугольного телескопа с апертурой 1 м / А. С. Шугаров, В. Е. Шмагин, М. А. Наливкин // Научные труды Института астрономии РАН. – 2020. – № 5(5). – С. 230-235.