

УДК 629.78.001.5:523.44

АСТЕРОИДНАЯ ОПАСНОСТЬ В 2013 ГОДУ: РЕАЛИИ И ЗАДАЧИ*Поль В. Г.¹, Симонов А. В.²*

ASTEROID THREAD IN YEAR 2013 — REALITIES AND TASKS

Pol V. G., Simonov A. V.

We consider the results of the discovery of Near-Earth Asteroids (NEA) in 2013. It is concluded that exaggerated the danger of asteroids for the existence of human civilization, the necessary to continue to discover the dangerous objects and first of all to study consequences arising from the asteroid's close encounter with Earth.

Keywords: small bodies of the solar system, asteroids, asteroid threat.

1. Текущее состояние проблемы астероидной угрозы

Данная проблема в целом представляет собой комплекс задач, разделяющийся на три составные части: обнаружение и мониторинг объектов, сближающихся с Землей, выбор способа и средства противодействия столкновению, доставка средства противодействия к угрожающему объекту. Далее в статье будет рассматриваться лишь первая часть, поскольку остальные пока являются практически чисто поисковыми теоретическими исследованиями.

В настоящее время задача обнаружения, каталогизации и мониторинга угрожающих астероидов решается успешно, однако пока, в основном, силами NASA [1]. Ранее, в 90-х годах XX в, оценки числа астероидов, с размерами от ~150 м и выше, в принципе когда-либо могущих сближаться с Землей, оценивались сотней тысяч, если не более. Сегодня принято, что малые тела с размерами менее 100 м, достаточно эффективно задерживаются атмосферой. Поэтому, теперь, в качестве астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ) учитывают объекты с размерами, начиная от 100 м и выше.

Динамика каталогизации астероидов группы АСЗ различных размеров, сближающихся с Землей, начиная с 2009 г., показана на рис. 1. Хорошо видно, что число уже учтенных объектов с диаметрами один

километр и выше, вполне приблизилось к насыщению. Также видно, что количество обнаруживаемых объектов меньшего масштаба прогрессивно нарастает.

Среди последних наиболее интенсивно растет число объектов, имеющих декаметровые размеры (от 100 до 30 м, и менее 30 м). Представителями объектов такого класса являются, например, известные в нашей стране тунгусский, сихотэ-алинский и недавний чибаркульский метеориты. Гистограмма рис. 1 показывает интенсивное накопление данных для АСЗ гектометровых масштабов то есть, имеющих размеры порядка малых сотен метров. По-видимому, характерный средний размер АСЗ составляет величину ~300 м. Что же можно сказать о результатах мониторинга в целом?

Сегодня, к началу 2013 г., общее число всех АСЗ, оценивается величиной ~19 000, причем из них всего уже обнаружено не менее 50%. Каталогизация больших АСЗ (с размерами более 1 км) завершена на (90–95)%. Полет всех обнаруженных АСЗ по своим орбитам рассчитывается, что выявляет все происходившие и прогнозируемые сближения с Землей на протяжении XX–XXI столетий. Эта операция выявляет потенциально опасные (ПО) астероиды, для которых столкновения с Землей становятся действительно возможными. Критерием выделения астероидов именно как ПО служит сближение с Землей на расстояние ≤ 20 LD (LD — среднее

¹Поль Вадим Георгиевич, канд. техн. наук, ведущий специалист НПО им. С. А. Лавочкина; e-mail: polvad@laspace.ru.

²Симонов Александр Владимирович, канд. техн. наук, ведущий специалист НПО им. С. А. Лавочкина; e-mail: alex.simonov@laspace.ru.



Рис. 1. Динамика каталогизации АСЗ на 02.02.2013 г.

расстояние Луны от Земли). Объекты ПО составляют ~15% от общей численности АСЗ, причем на начало 2013 г. из оцениваемого общего количества ПО уже каталогизировано ~45%.

По-видимому, к 2020–2025 гг. вполне можно рассчитывать на практически полную каталогизацию и мониторинг объектов, входящих в группы АСЗ и ПО. К настоящему времени среди потенциально опасных объектов пока в 2004 г. обнаружен лишь один астероид Апофис, для которого прогнозируется тесный пролет мимо Земли в 2029 г. Последствия этого пролета в XXI столетии сегодня неясны и представляют собой первоочередную задачу, следующую за его обнаружением.

Сведения о результатах мониторинга, приведенные выше, неполностью представляют проблему астероидной опасности. Поэтому для понимания реалий данной проблемы эти сведения необходимо дополнить оценками частоты падения астероидов на Землю, имеющимися на сегодня (таблица [2]).

Приведенные данные показывают, что падения декаметровых объектов типа тунгусского метеорита (характерные размеры ≤ 50 м) можно ожидать лишь единожды в среднем за две тысячи лет. Далее, удары от объектов следующего увеличенного размера, имеющих всего лишь удвоенные масштабы (~100 м), но уже угрожающие серьезной региональной катастрофой, можно ожидать в среднем один раз за десять тысяч лет, если не более. Периодичность появления объектов

еще больших размеров прогрессивно снижается и приближается к длительности целых геологических эпох.

В целом же, очевидно, напрашивается вывод о том, что реальная опасность ударов астероидов по Земле во временных рамках существования не только государств, но и человеческой цивилизации в целом не так уж и велика, как это казалось ранее. Конечно, при этом нужно понимать, что этот факт, сам по себе очевидный, все-таки не гарантирует от неожиданного появления таких тел в будущем. Тем не менее, пока результаты мониторинга подтверждают статус астероида Апофис как до сих пор единственной имеющейся реальной угрозы Земле, обнаруженной за (15–20) лет поисков.

Таким образом, также естественно сделать вывод о том, что немедленная разработка и постановка комплексов перехвата опасных объектов на боевое дежурство преждевременны, а приоритетные и первоочередные действия должны определяться наличием уже обнаруженной конкретной угрозы, причем соразмерно ее степени. Поэтому рассмотрим, в чем же сегодня заключается эта угроза, и какие действия следует считать первоочередными.

2. Первоочередные задачи в проблеме астероидной опасности

Обнаружение Апофиса проявило новые грани проблемы астероидной опасности, ко-

Оценки частоты падения астероидов и последствий

диаметр объекта $D_{\min}, \text{м}$	средний период удара, лет	энергия удара, Мт ТНТ	диаметр кратера, км	эффекты и сравнимые события
—	—	0,015	—	взрыв атомной бомбы над Хиросимой
30	300	2	—	болид, ударная волна, малые разрушения
50	2 000	10	≤ 1	взрыв типа тунгусского события, малый кратер
100	10 000	80	2	взрыв водородной бомбы 50 Мт, СССР, 1962
200	40 000	600	4	разрушения в масштабах государств
500	200 000	10 000	10	разрушения в масштабах континентов
1 000	600 000	80 000	20	многие миллионы жертв, глобально
5000	20 000 000	10 000 000	100	миллиарды жертв, изменение климата
10 000	100 000 000	80 000 000	200	закат человеческой цивилизации

торая сегодня многими недооценивается. Это опасность появляется, во-первых, вследствие *периодического* движения Земли и малых тел по своим орбитам, а во-вторых, из-за *неопределенности* орбиты астероида, возникающей после тесного сближения с Землей.

Периодичность движения приводит к тому, что конфигурация тесного сближения двух тел, через некоторое время, повторится, в идеале, точно. Это время определяется резонансом, то есть целочисленным соотношением периодов обращений этих тел по своим орбитам. Разумеется, в действительности, вследствие возмущений движение небесных тел является почти периодическим, и сближения повторяются приближенно. При этом минимальное расстояние сближения становится случайной величиной, удар по Земле — случайным событием.

Неопределенность орбиты состоит в том, что орбита и период обращения астероида после сближения подвержены резким изменениям. Эти изменения зависят от минимальной геоцентрической высоты пролета над Землей, причем нелинейно. В свою очередь, эта высота для априорной орбиты может быть прогнозирована лишь с ошибками. Поэтому всем возможным высотам пролета будет соответствовать множество также возможных орбит, образующихся после пролета астероида.

В действительности же из всех этих орбит будет реализована лишь одна, апостериорная. Ее элементы будут определяться, в основном, конкретным значением высоты фактически состоявшегося пролета астерои-

да. Поэтому случаи тесного сближения астероида с Землей, возможность появления резонансов и новых сближений требуют специального анализа и надежного прогноза всех событий, следующих за предстоящим пролетом. Апофис, вследствие обнаруженного тесного сближения, как раз и является именно таким случаем.

Сразу же после обнаружения Апофиса, было найдено, что при сближении Апофиса с Землей в 2029 г. существуют определенные зоны опасных высот пролета (рис. 2, слева) [3].

Эти зоны возникают при различных соотношениях периодов Земли и Апофиса (апостериорного), и они получили название зон резонансного возврата (ЗРВ, в оригинале — “keyhole”). Пролет астероида через эти основные зоны создает новые орбиты, приводящие впоследствии к удару по Земле в том или ином году (рис. 2, справа). Уточнение орбиты Апофиса в течение 2005–2006 гг. прогрессивно уменьшало рассеивание прогнозируемых высот пролета, и к 2006 г. в интервале возможных ошибок осталась лишь одна зона из числа первоначально определенных (рис. 2, слева, внизу). Пролет астероида через оставшуюся ЗРВ₂₀₃₆ и дает орбиту по Земле с ударом в 2036 г. (рис. 3, справа).

Дальнейшее изучение проблемы резонансных возвратов показало, что кроме оставшейся ЗРВ, существует большое количество и других вторичных ЗРВ, более узких, окружающих основную ЗРВ₂₀₃₆. Все эти ЗРВ в совокупности образуют целую систему своеобразных входов на различные траекто-

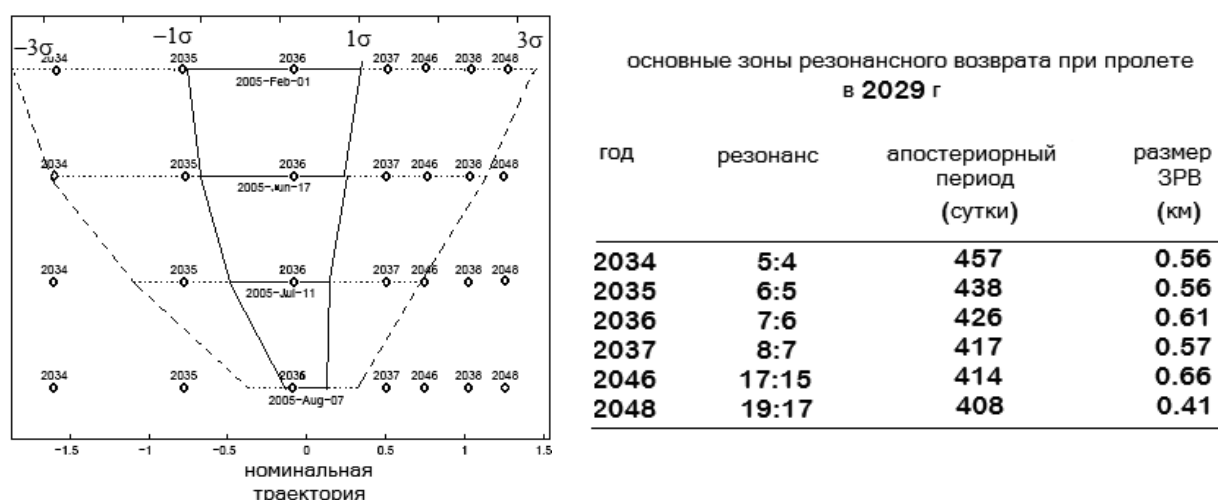


Рис. 2. Расположение основных зон резонансного возврата для пролета Апофиса в 2029 г. (слева) и их характеристики (справа)

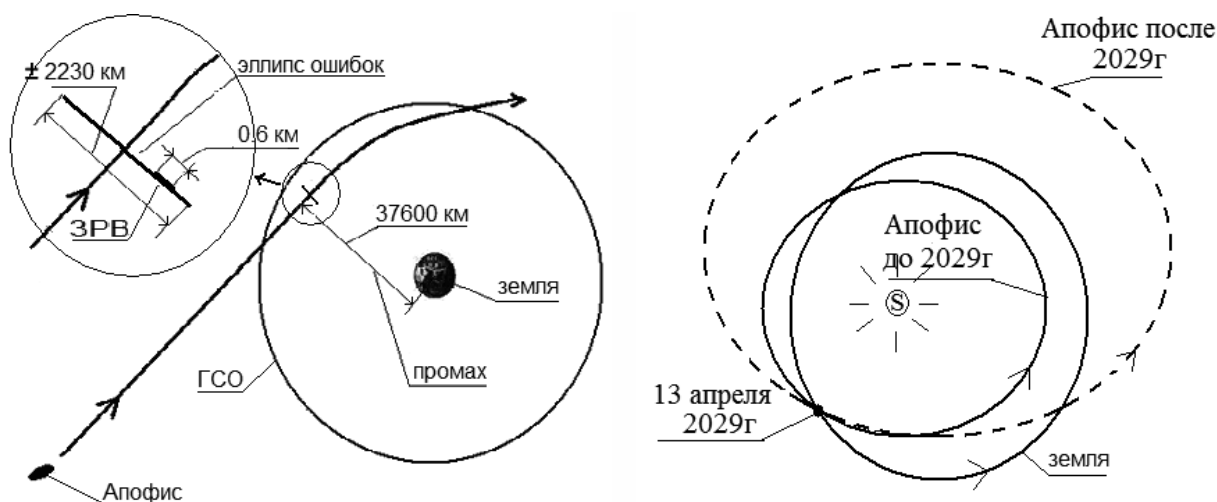


Рис. 3. Схема появления основной зоны резонансного возврата (ЗРВ_{2036})

рии, поражающие Землю в том или ином году 21-го столетия. Размеры различных ЗРВ меняются от десятка метров до километра, а расстояния между ними составляют километры, десятки километров, и более.

Полная система всех ЗРВ для исходного рассеивания высот пролета Апофиса ($\sim \pm 1500$ км) требует весьма трудоемких расчетов и была опубликована в [4]. Результаты расчетов представлены на рис. 4. На этом рисунке по горизонтали отложены возможные высоты полета на начало 2013 г. (отсчитанные от высоты пролета для номинальной орбиты). По вертикали отложены геоцентрические высоты будущих сближений в функции отклонения высот пролета от номинальной высоты.

Видно, что район высот около ЗРВ_{2036} можно исключить из рассмотрения, зато обнаружилось множество ЗРВ в районе номинальной высоты пролета, представляющих опасность и ведущих к ударам в период 2050–2061 гг. и позже. Дополнительные данные по ЗРВ приведены в [5].

Таким образом, пример Апофиса показывает, что всякое обнаружение конкретного астероида с тесным сближением ведет к следующей необходимой операции мониторинга: выяснение системы возможных ЗРВ, определение интервалов высот пролета, обеспечивающих безопасность в текущем столетии и оценка вероятности образования поражающих орбит в результате пролета астероида на разных высотах. В последнем случае, при весомой вероятности ударов в будущем придется

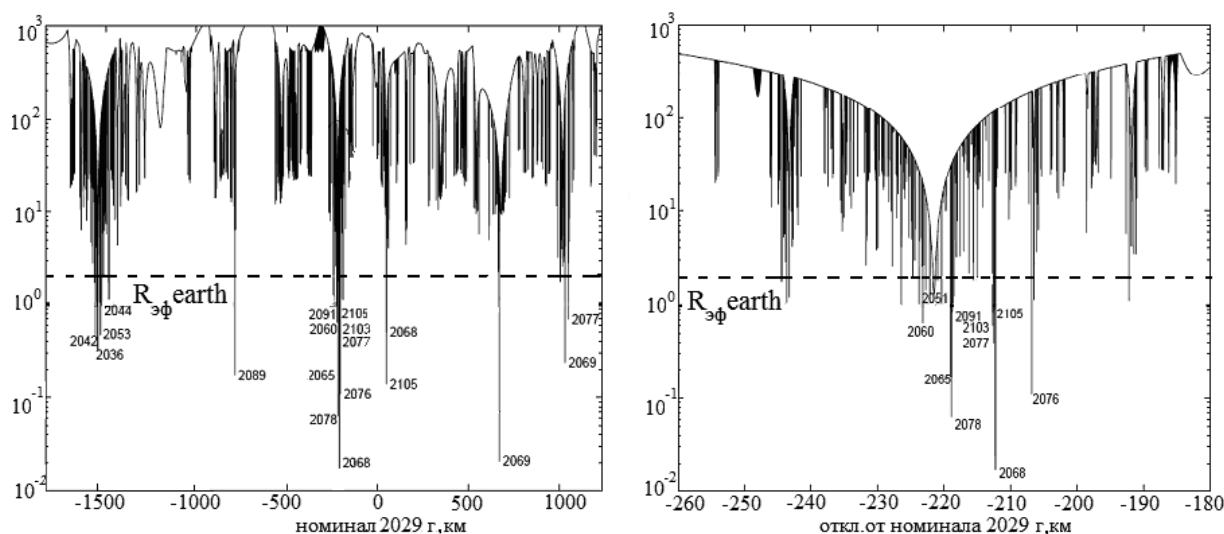


Рис. 4. Распределение ЗРВ, построенное относительно номинальной траектории пролета Апофиса в 2029 г. Высоты сближений в XXI веке даны в радиусах Земли. Слева — полный вид, справа — вблизи номинальной траектории

ся решать проблему предотвращения обнаруженной опасности. Эти операции должны составлять содержание мониторинга и выполняться достаточно заблаговременно. Следовательно, обнаружение опасного объекта должно обеспечивать нужный резерв времени.

Конкретный пример распределения ЗРВ для Апофиса показывает, что для определения условий формирования опасных апостериорных орбит, необходим весьма точный априорный прогноз высоты пролета астероида в 2029 г. Как показывает рис. 4, суммарные ошибки определения орбиты астероида и прогноза его текущих геоцентрических координат на 10–20 лет вперед не должны превышать величин ~ 1 км.

Такие малые ошибки можно обеспечить, лишь дополняя обычные астрономические измерения хорошо разработанными радиотехническими траекторными измерениями, применяемыми в практике полетов космических миссий в далеком космосе. Кроме того, также совершенно необходимо использовать опыт высокоточного управления движением

космических объектов, накопленный в прикладной космонавтике.

Литература

1. Near-Earth Asteroid Discovery Statistics. Электронный ресурс: URL: <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/> (дата обращения 10.04.2013).
2. Harris A.W. Estimating the NEO population and impact risk: past, present and future // 1st IAA Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids, Granada, Spain, 27-30 Apr 2009.
3. Chesley S.R. 2006. Potential impact detection for near-Earth asteroids, The case of 99942 Apophis (2004 MN₄) // I Proceeding IAU Symposium 229th. 2005. Cambridge University press. Cambridge, 2006. P. 215–228.
4. Farnocchia D., Chesley S.R., Chodas P.W., Micheli M. et al. Yarkovsky-driven impact risk analysis for asteroid (99942) Apophis URL: <http://arxiv.org/pdf/1301.1607v2.pdf> (Дата обращения: 10.04.2013).
5. Соколов Л.Л., Борисова Т.П., Васильев А.А., Петров Н.А. Свойства траекторий соударения астероидов с Землей // Астрономический вестник. 2013. Т. 47. №4. С. 1–7.

Ключевые слова: астероиды, астероидная опасность.