

УДК 629.78.001

АСТЕРОИДНАЯ ОПАСНОСТЬ В 2017 ГОДУ: ТЕКУЩИЕ РЕАЛИИ И ПРОБЛЕМЫ

Поль В. Г., Симонов А. В.

ASTEROID THREATS TO 2017: CURRENT REALITIES AND PROBLEMS

Pol' V. G., Simonov A. V.

Lavochkin Association, Moscow region, Khimki, 141400, Russia
e-mail: polvad@laspace.ru

Abstract. Discusses the current results of detection of asteroids near Earth in the autumn of 2017. They show that the fall of the decameter objects like the Tunguska meteorite (characteristic time-measures up to 50 m) can only be expected once on the average over many hundreds or (thousands of) years. Further, impacts from objects increased size having a magnitude in excess of ~ 100 m, with major regional disaster, it can be expected on average once in ten thousand years if not more. For objects of greater size, threatening a global catastrophe, the frequency of occurrence increases progressively and becomes already comparable with the entire duration of geologistsinical epochs.

Given the results of the current program the establishment and successful development of the specialized hardware surveillance, monitoring and accounting for near-earth objects of a class of asteroids, near Earth. It is shown that the number of cataloged objects of the first group with diameters of a kilometer and above, close to the saturation-level. The number of items of the second group with diameters from 140m up to a kilometer is still growing, but not as quickly as increasing the total number of detected objects. You suggest to live that the composition of the second group of asteroids is almost half of the total number of all detected objects. This fact is due to the continuously increasing pace of registration is very small (decimeter) asteroids of the third group, the dimensions of which lie predominantly in the range of few tens of meters. Therefore, there is reason to hope that the process of detecting asteroids of the second group begins to fail.

In general, confirmed the conclusions about the exaggerated dangers of asteroids for human civilization and the need to continue the monitoring of dangerous objects. It is concluded that further it is first necessary to examine the consequences of the close approach of an asteroid with the Earth.

Keywords: small bodies of the solar system, asteroids, asteroid danger, Apophis, Chelyabinsk fireball, countering asteroid threat, the Yarkovski effect

1. Текущее состояние проблемы астероидной опасности

Проблема астероидной опасности продолжает интересовать специалистов в этой области, и как самостоятельный объект научных и технологических исследований существует уже в течение свыше 27 лет. Однако с течением времени интерес мирового сообщества, возникший на рубеже XX и XXI столетий, к этой проблеме понемногу спадает, и постепенно она начинает уступать свое место прочим проблемам глобального масштаба, эффекты которых заметны и проявляются,

по-видимому, в более быстрой временной шкале. Наглядным, но не единственным примером может служить все убыстряющийся ход глобального потепления.

По ходу осознания самого существования астероидной опасности в работах коллектива ИНАСАНА [1] было четко сформулировано, что в целом эта проблема представляет собой комплекс взаимосвязанных задач, объединяющий в себе три составные части. Этими частями являются: обнаружение и мониторинг объектов, опасно сближающихся с Землей, выбор способа и средства противодействия

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

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

прогнозируемому столкновению, и, наконец, доставка средства противодействия к угрожающему объекту. Сегодня, фактически, как и ранее, работа по проблеме продолжается лишь в первой части, и она представлена реально проводящимся и углубляющимся мониторингом космической обстановки в околоземном пространстве. Остальные же две части практически остаются на начальной стадии, так и не выйдя за рамки поисковых чисто теоретических работ.

В подтверждение сказанного, еще раз обратимся к оценкам частот встречи астероидов с Землей. Эти оценки в литературе хорошо известны, и, по-видимому, в рамках текущего десятилетия вполне установились [2]. Они показывают, что падения декаметровых объектов типа тунгусского метеорита (характерные размеры ≤ 50 м) можно ожидать лишь единожды в среднем за многие сотни (до тысячи) лет. Далее, удары от объектов следующего увеличенного размера, имеющих масштабы свыше ~ 100 м, чреватые серьезной региональной катастрофой, можно ожидать в среднем один раз за десяток тысяч лет и более. Эти обстоятельства и объясняют постепенно охлаждающееся отношение общества и управляющих структур к проблеме астероидной опасности.

Что же касается собственно первой части проблемы — обнаружение и каталогизация популяции астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ) то здесь реальная работа по программе, принятой в США с 1997 г, сегодня успешно выполняется в рамках ведомства NASA (головное подразделение JPL) и продолжается с нарастающими темпами. Результатом этой программы является создание и успешное развитие специализированных аппаратных средств наблюдения, мониторинга и учета околоземных объектов класса АСЗ. Правда, нужно отметить, что аналогичные программы вслед за США пытаются начать и в Европейском союзе. Кроме того, слабые попытки подключиться к реальному мониторингу в кооперации с другими странами имеют место и в России. К сожалению, пока вклады как Европы, так и России в общий банк данных практически незначительны, и данные, полученные в США, составляют подавляющее большинство. Поэтому состояние астероидной проблемы в первой части можно исчерпывающе охарактеризовать работами, проведенными в США.

Начавшийся в конце XX в. начальный этап создания системы мониторинга был представлен несколькими программами оптических и радиолокационных наблюдений, выполнявшихся на различной инструментальной базе. При этом наибольший вклад внесла программа MIT, проводившаяся по проекту LINEAR, которая начиналась как демонстрация возможностей использования уже имевшихся систем слежения за ИСЗ, предназначенных для обнаружения и определения характеристик АСЗ. Основой проекта LINEAR являлось использование двух телескопов с метровой апертурой. Это позволило накопить опыт наблюдений специфических объектов и постепенно разработать требования к такой системе, целевым назначением которой должно являться решение конкретной задачи обнаружения и каталогизации популяции АСЗ с повышенной надежностью и производительностью. В результате система LINEAR послужила дальнейшей основой для разработки проекта и последующего создания специализированных систем поиска и мониторинга АСЗ второго поколения

В настоящее время такие средства второго поколения в основном представлены проектами CATALINA и PANSTARR. Первый из них представляет собой комплекс модернизированных инструментов, среди которых наиболее мощным является телескоп с главным зеркалом 1,5 м.

Второй же проект представляет собой особый инструмент, специально спроектированный с учетом специфики обзорных задач эффективного обнаружения предельно видимых малых тел Солнечной системы (PANSTARR). В этом проекте предусматривается одновременная работа четырех телескопов диаметром 1,8 м и полем зрения 3 кв. градуса (каждый на одной монтировке). Кроме того, там же предполагается установка основных компонентов получения и обработки информации, поступающей с четверки телескопов, которые могут работать как автономно, а также и как составная апертура. Разработка проекта PANSTARR и его ввод в строй велась поэтапно с 2008 г., и полная версия инструмента PANSTARR вошла в строй примерно с 2010–2012 гг.

Изначально нижней границей размеров тел АСЗ был несколько произвольно определен эквивалентный диаметр 140 м. Однако сегодня принято считать, что достаточно эф-

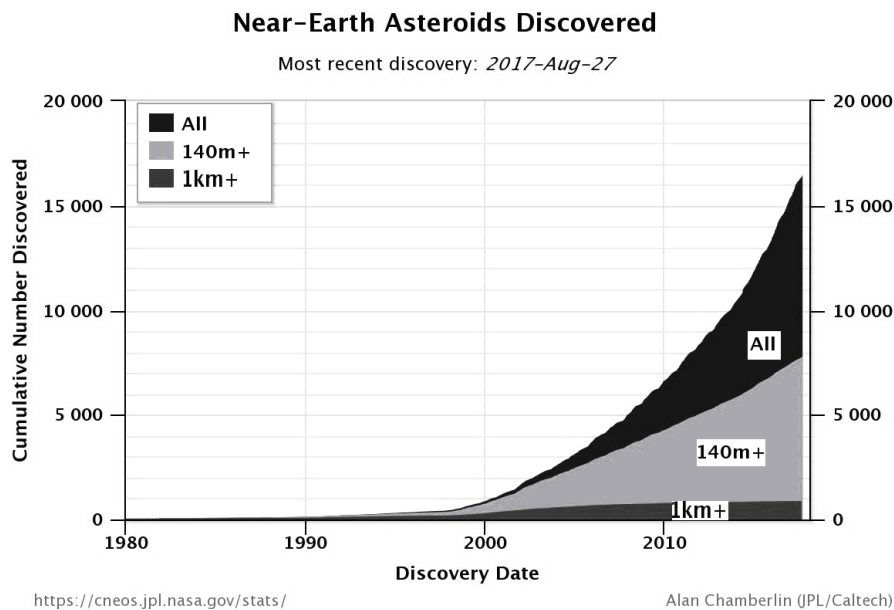


Рис. 1. Динамика роста основных категорий опасных астероидов

фактивно задерживаются атмосферой малые тела, имеющие характерные размеры менее 100 м. Поэтому с начала XXI в. в качестве астероидов, сближающихся с Землей, было принято решение учитывать объекты с характерными размерами, начинающиеся уже со 100 м. На рис. 1 показана интегральная динамика роста числа обнаруженных и каталогизированных астероидов, представленная тремя группами с разбивкой по характерным размерам: с эквивалентным диаметром от 1 км и выше, от 140 м до 1 км, и общее число обнаруженных объектов всех размеров [3].

Эти данные наглядно показывают, что число уже учтенных объектов с диаметрами километр и выше вполне приблизилось к насыщению. Также заметно, что количество найденных объектов с диаметрами от 140 м до километра все еще растет, однако уже совсем не так быстро, как полное число обнаруженных объектов. Поэтому можно предположить, что объем второй группы астероидов составляет практически половину от общего количества всех обнаруженных объектов. Этот факт объясняется непрерывно повышающимся темпом регистрации весьма малых (дециметровых) астероидов, размеры которых находятся в диапазоне немногих десятков метров. Кажется, есть основания надеяться, что процесс завершения формирования второй группы астероидов фактически начался.

Для иллюстрации работы средств поиска опасных объектов приведем статистику текущей полученной информации с разном по системам, принимавшим участие в накоплении данных. На рис. 2 приведена гистограмма АСЗ с размерами 1 км и выше, обнаруженных различными наблюдательными системами. Оно хорошо показывает, как ведущий проект LINEOS начал выполнять программу обнаружения и учета всех астероидов километрового масштаба и, практически выполнив ее на 90 % за десятилетие, передал ее последовательно появляющимся проектам второго поколения — CATALINA и PANSTARR.

На рис. 3, показано распределение данных по различным системам обнаружения АСЗ с размерами, начиная с масштаба 140 м и выше. Хорошо видно, как две основные системы обнаружения АСЗ второго поколения последовательно приняли на себя нагрузку мониторинга и начали учитывать объекты с меньшими размерами, обнаружение которых системе LINEOS было не под силу.

Рис. 3 хорошо показывает относительные доли вклада различных наземных оптических и космических (КА NEOWISE) систем в общий объем полученной информации.

Далее, на рис. 4 показан рост суммарной информации обо всех АСЗ, обнаруженных за двадцать лет выполнения программы в целом.

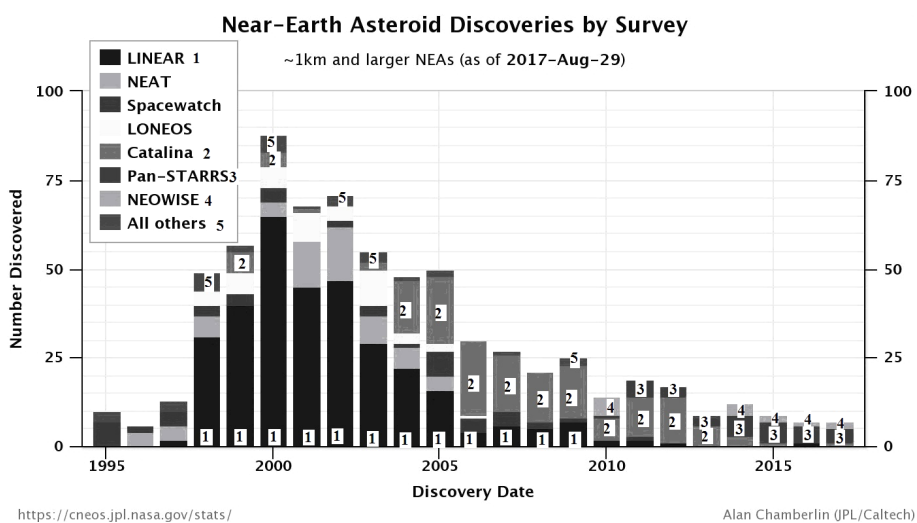


Рис. 2. Накопление данных об АСЗ 1 км и выше различными системами

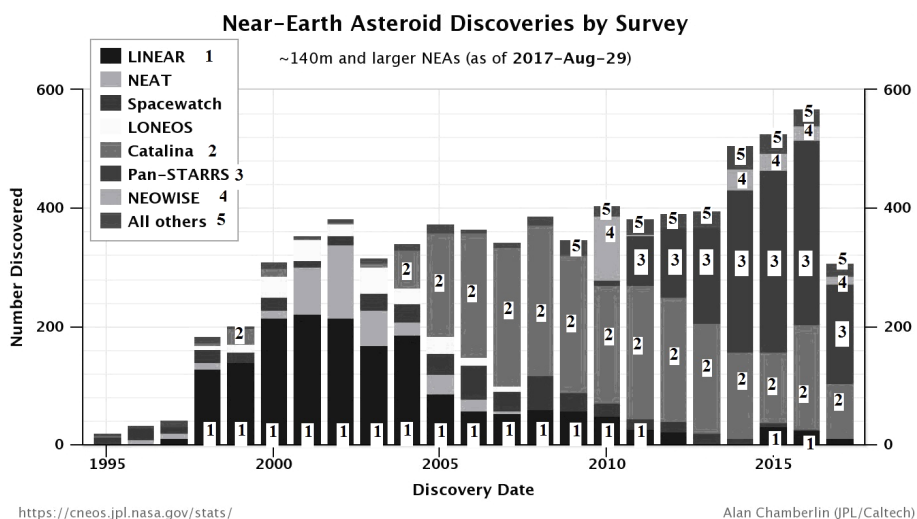


Рис. 3. Накопление данных об АСЗ масштаба 140 м и выше

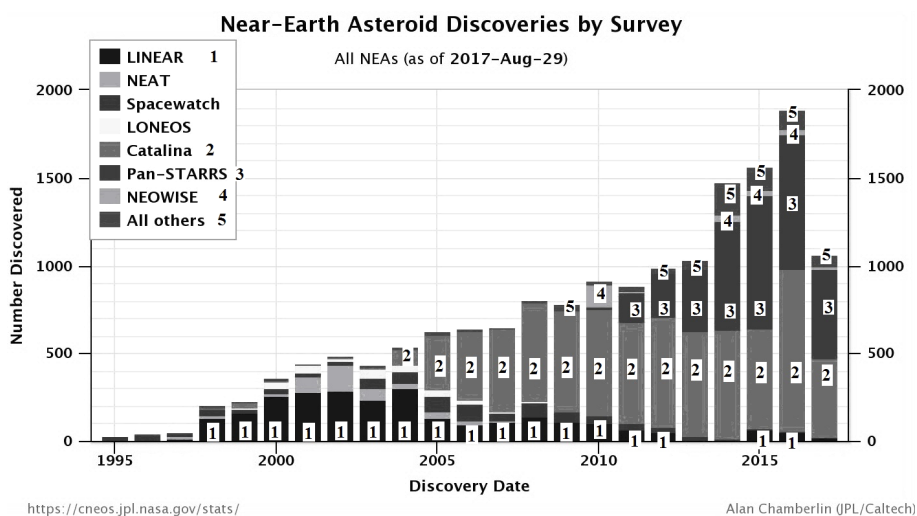


Рис. 4. Накопление данных обо всех обнаруженных АСЗ

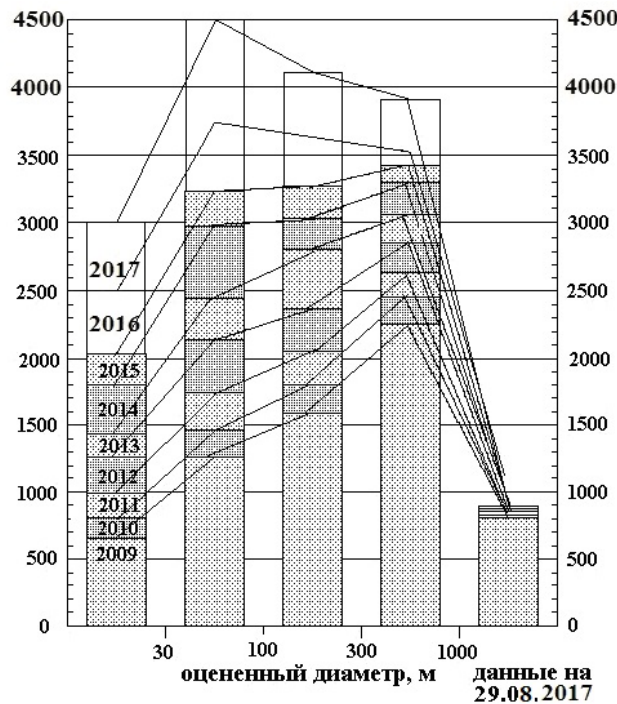


Рис. 5. Распределение АСЗ по размерам

Здесь следует отметить результат появления средств обнаружения второго поколения — каталогизация большого количества малых АСЗ, с характерными размерами менее 140 м. Также заслуживают внимания относительные веса данных, полученных раздельно силами США и всех других международных участников, вносящих свои вклады в общее дело понимания реалий астероидной опасности.

На сайте NASA [3], начиная с 2009 г. начато ведение статистики по обнаруженным астероидам, сближающимся с Землей, с более детальной разбивкой на группы различных размеров. Результирующая накопившаяся статистика представлена в динамике на рис. 5.

Эти данные показывают, что темп обнаружения новых гектометровых объектов (имеющих диаметры от 100 до 1000 м) действительно проявляет тенденцию к снижению аналогично тому, как это имело место в случае крупных небесных тел километрового масштаба. Более того, наблюдается преимущественный рост объектов, имеющих размеры в районе 100 м. Что же касается сверхмалых тел (0÷30 м), то они, как правило, сгорают в атмосфере и квалифицируются как

болиды (fireballs), которые регистрируются национальной системой космического наблюдения тех же США. На рис. 6 приведены имеющиеся данные о болидах, наблюдавшихся за период с 1988 по 2017 г. Всего за этот срок зарегистрировано появление 719 событий с разной энергией вспышки, причем для 89,7 % из них она невелика и не превосходит уровня, эквивалентного 1 кт ТНТ. Из числа оставшихся событий только 9,3 % имеют энергию, лежащую в пределах (1÷10) кт ТНТ, 1,4 % — в пределах (10÷35) кт ТНТ, и только лишь одно (челябинское событие) имеет энергию вспышки, оцененную как эквивалентную ~ 440 кт ТНТ [4].

Этот рисунок, кстати, наглядно показывает «защитную роль» не только атмосферы Земли, но и той доли ее поверхности (~ 66 %), которую занимают океаны.

Рассмотренные текущие итоги, естественно будут еще уточняться (и уточняться), однако представляется, что уже можно сделать предварительные выводы по трем группам обнаруженных астероидов. Для первой группы наиболее массивных километровых астероидов, то можно надеяться, что она в первом (если не во втором) приближении определена по составу на (90÷95) %, и, по-видимому, в

Fireballs Reported by US Government Sensors (1988-Apr-15 to 2017-Jul-31)

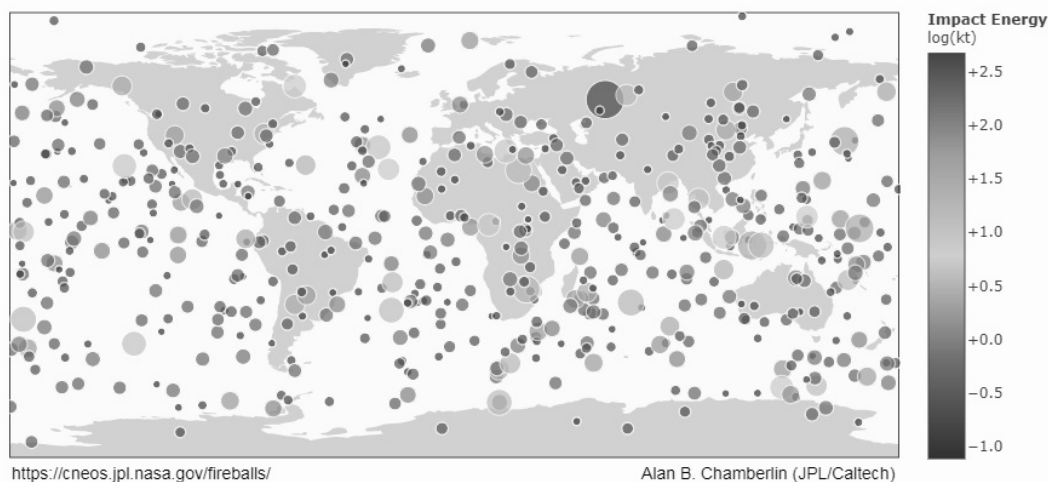


Рис. 6. Болиды, зарегистрированные в период с 1988 по 2017 г.

будущем не должна стать источником беспокойства.

Что же касается второй группы гектометровых астероидов с диаметрами от 140 м и до 1000 м, то она начинает принимать определенные очертания. В дальнейшем, с течением времени, объекты этой группы постепенно будут регистрироваться в диапазоне масс (30÷300) м, а ее полный численный состав навряд ли превысит ~ 50 % от общего предполагаемого количества обнаруживаемых астероидов. Также, в рамках текущей оценки можно надеяться, что к (2023÷2025) гг. численный состав популяции астероидов второй группы в целом будет завершаться аналогично тому, как группе километровых опасных астероидов. Наконец, количество остальных малых (декаметровых) астероидов, не входящих в указанные две группы, будет расти. Однако очевидно, что они не будут являться глобальными или региональными факторами беспокойства, оставаясь, в крайнем случае, предметом забот ведомства МЧС соответствующих стран.

На множестве всех АСЗ выделяется группа потенциально опасных астероидов (ПОА), орбиты которых таковы, что столкновения с Землей становятся в принципе возможными. Условным критерием отнесения тел к группе ПОА служит чрезмерное сближение с Землей на расстояние менее 20LD (здесь LD — среднее расстояние Луны от Земли). Группа ПОА

устойчиво составляет ~ 15 % от численности всех АСЗ второй группы.

По-видимому, к 2025 г. вполне можно рассчитывать на практически каталогизацию и полный мониторинг объектов, входящих в группу ПОА. При этом нужно подчеркнуть, что к настоящему времени за весь период проведения поисков АСЗ (с 1995 по 2015 гг.) в этой группе пока обнаружен (в 2004 г.) лишь один астероид Апофис [5], для которого уверенно прогнозируется действительно слишком близкий пролет мимо Земли (на высотах геостационарной орбиты в 2029 г.). Все последствия этого пролета (и в первую очередь, его повторные чрезмерные опасные сближения с Землей после 2029 г.) на протяжении текущего столетия сегодня остаются неясными, и не поддаются полному осмыслению и надежному прогнозу. Поэтому указанный астероид следует по-прежнему считать угрожающим объектом особого внимания. Оценка его реальной опасности должна являться типичной актуальной задачей проблематики АСЗ, подлежащей решению вслед за обнаружением любого АСЗ, чреватого чрезмерным сближением с Землей. Что касается двух остающихся составных частей проблемы астероидной опасности, следует сказать следующее.

Прежде всего, в преобладающем большинстве предложений о способах противодействия угрозе, до сих пор отсутствует ясное понимание и анализ несоизмеримости мас-

штабов технологически возможных ресурсов, располагаемых человечеством, и необходимого энергетического воздействия на небесное тело (даже на малое), имеющее скорости движения, измеряемые десятками километров в секунду. Указанное необходимое воздействие подразумевает либо изменение траектории тела, либо его гарантированную дезинтеграцию до уровня компонент обычных метеорных потоков, от которых нас защитит земная атмосфера. Без учета отмеченного обстоятельства почти все проекты противодействия угрозе будут оставаться на уровне ненаучной фантастики, и будут выражать лишь частное мнение авторов таких предложений.

Что же касается проблемы АСЗ в целом, то логично принять вывод о том, что приоритетные и первоочередные реальные действия в такой части должны определяться наличием уже обнаруженной конкретной угрозы, причем соразмерно ее оцениваемой степени. Поэтому, обнаружение фактически единственного астероида Апофис за 20 лет поисков нужно рассматривать как предупреждение о редкой, возможной, но количественно и надежно до сих пор системно не оцененной реальной угрозе Земле.

Обнаружение Апофиса проявило новую грань астероидной опасности, которая заключается в *неопределенности* прогнозированной орбиты астероида, возникающей *после* чрезмерного сближения с Землей. Периодичность движения небесных тел приводит к тому, что в солнечной системе конфигурация тесного сближения двух тел, через некоторое время, в идеале, должно повториться точно. Однако реально, за счет возмущений, движение небесных тел является *почти-периодическим*, и обстоятельства сближений повторяются лишь приближенно. При этом параметр сближения становится случайной величиной, и апостериорная орбита астероида в момент сближения подвергается резким непредсказуемым изменениям. Как следствие, могут возникать новые опасные сближения с Землей вплоть до удара по ней [6]. Теории и пониманию этого эффекта пока недостает глубины и практических выводов.

Заканчивая рассмотрение реалий астероидной опасности на конец 2015 г. можно сделать следующие выводы о том, что текущие первоочередные задачи астероидной опасности заключаются в следующем:

1. Продолжение обнаружения и каталогизации АСЗ и ПОА силами существующих и действующих в настоящее время наземных зарубежных и отечественных средств наблюдения;

2. Дальнейшая разработка предложений по реализации отечественных средств наблюдения за АСЗ космического базирования;

3. Проведение исследований в части анализа опасных последствий тесного сближения астероида с землей на примере астероида Апофис;

4. Разработка методических основ резкого повышения точности определения орбиты и прогнозирования текущих координат АСЗ;

5. Разработка предложений по реализации миссии посещения малого астероида и оснащения его радиомаяком для уточнения его орбиты с использованием средств VLBI для траекторных измерений.

Литература

1. Астероидная опасность: вчера, сегодня, завтра / Под ред. Шустова Б.М., Рыхловой Л.В. М.: Физматлит, 2010. 384 с.
2. *Harris A.W.* Estimating the NEO population and impact risk: past, present and future // 1-st IAA Planetary Defense Conference for Protecting Earth from Asteroids, Granada, Spain, 27–30 Apr. 2009.
3. Near-Earth Asteroid Discovery Statistics (Электронный ресурс). URL: <http://cneos.jpl.nasa.gov> (дата обращения 30.09.2017).
4. *Terentjeva A., Bakanas E.S.* Meteor stream of the large Chelyabinsk fireball // J. Int. Meteor Organization (WGN). 2013. Vol. 41. No. 2. P. 39.
5. *Соколов Л.Л., Башаков А.А., Путьев Н.П.* Особенности движения астероида 99942 Apophis // *Астрономический вестник*. 2008. № 1. С. 20.
6. *Chesley S.R.* Potential impact detection for near-Earth asteroids, the case of 99942 Apophis (2004 MH4) // *Proc. IAU Symposium 29th*, 2005. Cambridge University Press, Cambridge, 2006. P. 215–228.

References

1. Shustova B.M., Rykhlovoy L.V. (eds.) *Asteroidnaya opasnost': vchera, segodnya, zavtra*. Moscow, Fizmatlit Pub., 2010, 384 p. (In Russian)
2. Harris A.W. Estimating the NEO population and impact risk: past, present and future. In: *Proc. 1-st IAA Planetary Defense Conference for Pro-*

- tecting Earth from Asteroids*, Granada, Spain, 27–30 Apr., 2009.
3. Near-Earth Asteroid Discovery Statistics. Available at: <http://cneos.jpl.nasa.gov> (access date 30.09.2017).
 4. Terentjeva A., Bakanas E.S. Meteor stream of the large Chelyabinsk fireball. *J. Int. Meteor Organization (WGN)*, 2013, vol. 41, no. 2, p. 39.
 5. Sokolov L.L., Bashakov A.A., Pit'ev N.P. Osobennosti dvizheniya asteroida 99942 Apophis [Features of the motion of the asteroid 99942 Apophis]. *Astronomicheskiy vestnik* [Astronomical Bull.], 2008, no. 1, p. 20. (In Russian)
 6. Chesley S.R. Potential impact detection for near-Earth asteroids, the case of 99942 Apophis (2004 MH4). In: *Proc. IAU Symposium 29th, 2005*. Cambridge University Press, Cambridge, 2006, pp. 215–228.

© Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2017

© Поль В. Г., Симонов А. В., 2017

Статья поступила 25 сентября 2017 г.