

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

# Ф И З И К А   К О С М О С А

Труды 44-й Международной  
студенческой научной конференции

Екатеринбург

2—6 февраля 2015 г.

*Посвящается 50-летию Коуровской обсерватории*



Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2015

УДК 524.4  
Ф503

Печатается по решению  
организационного  
комитета конференции

**Редколлегия:**

П. Е. Захарова (ответственный редактор), Э. Д. Кузнецов, А. Б. Островский, С. В. Салий, А. М. Соболев (Уральский федеральный университет), К. В. Холшевников (Санкт-Петербургский государственный университет), Б. М. Шустов (Институт астрономии РАН)

Ф503 **Физика** Космоса : Тр. 44-й Международ. студ. науч. конф., Екатеринбург, 2—6 февр. 2015 г. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 270 с.

ISBN 978-5-7996-1381-5

В сборнике представлены доклады и сообщения студенческой научной конференции, которая ежегодно проводится в Астрономической обсерватории Уральского федерального университета. Цель конференции — обобщить достижения в области астрономии и астрофизики и способствовать формированию навыков и способностей молодых исследователей.

Сборник предназначен для профессиональных астрономов и физиков, студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

**УДК 524.4**

ISBN 978-5-7996-1381-5

© Уральский федеральный  
университет, 2015

**ФИЗИКА КОСМОСА**  
**44-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ**  
**НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Организаторы**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Международная общественная организация  
«АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра астрономии и геодезии  
Астрономическая обсерватория

**2—6 февраля 2015 г.**

**Екатеринбург, Россия**

**Научный организационный комитет:**

К. В. Холшевников (председатель, Санкт-Петербургский государственный университет), П. Е. Захарова (Уральский федеральный университет), Д. З. Вибе (Институт астрономии РАН), И. И. Зинченко (ИПФ РАН), Э. Д. Кузнецов (Уральский федеральный университет), М. Г. Мингалиев (САО РАН), В. В. Орлов (НИАИ СПбГУ), А. Б. Островский (Уральский федеральный университет), А. М. Соболев (Уральский федеральный университет), Б. М. Шустов (Институт астрономии РАН)

## **Жюри конкурса студенческих научных работ**

К. В. Холшевников (председатель, Санкт-Петербургский государственный университет), А. И. Васюнин (Max-Planck-Institute for Extraterrestrial Physics (MPIfEP), Германия), Д. З. Вибе (Институт астрономии РАН), А. Б. Островский (Уральский федеральный университет), В. Н. Обридко (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн), А. А. Соловьев (Главная Пулковская астрономическая обсерватория РАН)

## **Финансовая поддержка**

Российский фонд фундаментальных исследований

Отдел по делам молодежи администрации Октябрьского района г. Екатеринбурга

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Т. Ю. Галушина<sup>1</sup>,  
П. В. Скрипниченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет,

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет

## ОБЗОР ПОПУЛЯЦИИ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ

Данная работа посвящена обзору популяции астероидов, сближающихся с Землей. В настоящее время насчитывается уже свыше 11 тысяч таких объектов, из них 863 имеют диаметр больше 1 км. По имеющимся оценкам, в настоящее время открыты почти все крупные астероиды (больше 1 км диаметром), но с уменьшением размера падает и процент уже открытых объектов. В отдельный класс относят потенциально опасные астероиды. Таковых в настоящее время насчитывается 1 500, из них порядка 10 % имеют размер больше 1 км.

Орбиты АСЗ отличаются большим разнообразием: большие полуоси расположены в пределах от 0.55 до 66.1 а. е., эксцентриситеты — от 0.0032 до 0.9855, наклоны плоскости орбиты к эклиптике — от 0.021 до 154°. Однако всего 1 678 АСЗ являются пронумерованными, т. е. имеют хорошо определенные орбиты. Особое внимание в работе уделено объектам, которые в ближайшие 100 лет пройдут через сферу тяготения Земли.

The paper deals with survey of Near-Earth asteroids population. It is known over than 11 thousands such objects in present time. 863 of them are larger than 1 km. As consistent with modern estimations we know almost all large asteroids (more than 1 km) in current time, but percent of discovered asteroid decrease with reduction of sizes. A separate class includes 1 500 potentially hazardous asteroids; about 10 % of them have size more than 1 km.

The orbits of the NEAs are very diverse: semi-major axes are located in the range of 0.55 to 66.1 AU, eccentricities are from 0.0032 to 0.9855, and the inclinations of the orbit to the ecliptic plane are from 0.021 to 154°. However only 1 678 are numbered, i.e. have good determined orbits. In the paper special attention is paid to the objects which pass through gravity sphere of the Earth in next 100 years.

---

© Галушина Т. Ю., Скрипниченко П. В., 2015

## Введение

Одним из наиболее важных практических приложений исследования динамических свойств малых тел Солнечной системы является проблема астероидно-кометной опасности. Группа объектов, представляющих научный интерес в рамках данной задачи, получила обозначение как астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ). По определению данная группа классифицируется как совокупность объектов, перигелийные расстояния которых не превосходят 1.3 а. е. [1]. Исследования данного множества объектов началось с открытия в 1898 г. астероида 433 Эрос, ставшего первым АСЗ. В момент открытия 433 Эрос имел геоцентрическое расстояние, не превышающее 22 млн км [2]. Данный астероид имеет сигарообразную форму с характерной длиной в поперечнике порядка 34 км. Однако открытие новых АСЗ было затруднено в связи с целым рядом причин. В конце XX в. модернизированная наблюдательная техника, более совершенная теоретическая модель движения и инициированная научным сообществом исследовательская программа по поиску АСЗ привели к массовому открытию новых АСЗ. К концу 80-х гг. XX в. было открыто всего несколько десятков АСЗ [3]. На текущий момент их известно более 11 000.

## Общие сведения об АСЗ

На рис. 1 показано положение всех известных АСЗ на 31 августа 2014 г. в проекции на плоскость эклиптики. Из рисунка видно плотное заполнение пространства в окрестности Земли астероидами.

Множество объектов, входящих в группу АСЗ, довольно любопытно распределено по элементам орбит. Так, например, согласно сведениям из каталога Э. Боуэлла [4] на сентябрь 2014 г. подавляющее большинство (99.7 %) АСЗ имеют большие полуоси в пределах 0.9–3.6 а.е (рис. 2, а), хотя наблюдаются и некоторые исключительные случаи типа 2007 EB26 с  $a = 0.55$  а. е. и 2009 DQ33 с  $a = 66.1$  а. е. (рис. 3). Последний объект также обладает высоким для астероидов эксцентриситетом  $e = 0.985$ , что в совокупности с большой полуосью позволяет ему путешествовать практически по всей Солнечной системе. Очевидно, что условия наблюдения данного объекта на достаточно большом интервале времени не позволяют получать его высокоточные положения, кроме того, на текущий момент времени для 2009 DQ33 получено всего восемь наблюдений, что говорит о

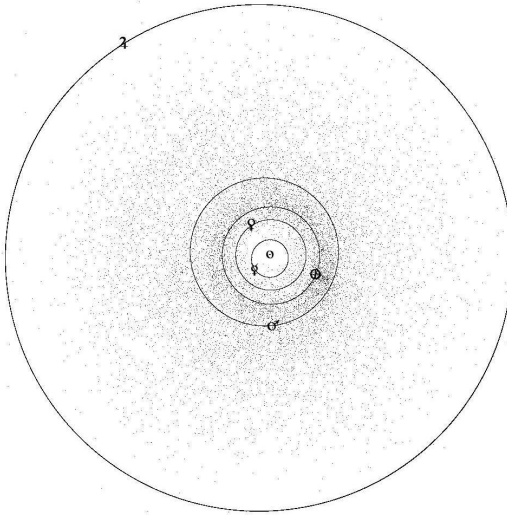


Рис. 1. Положение всех АСЗ в проекции на плоскость эклиптики на 31.08.2014

низкой достоверности вычисленных элементов орбит. В ближайшее время данный объект окажется доступным для наблюдений с Земли через несколько столетий, что, скорее всего, приведет к тому, что астероид будет открыт заново.

Порядка 60 % АСЗ обладают эксцентриситетами в диапазоне от 0.3 до 0.6 (рис. 2,б). Данные значения весьма велики для общего множества астероидов, что является характерным признаком группы АСЗ, однако и здесь имеются исключения. К примеру, 2011 WK2 обладает свойственным астероидам главного пояса малым  $e = 0.0032$ , а 2009 DQ33 —  $e = 0.9855$ . Стоит отметить, что объекты с нетипичными эксцентриситетами нередко оказываются достаточно плохо изученными, т. е. при появлении новых наблюдений элементы орбит будут уточнены.

Около 60 % АСЗ обладают наклонениями, меньшими 10 (рис. 4,а). Нехарактерными исключениями можно считать орбиты 2012 FZ23 с  $i = 75.4^\circ$ , 2014 PP69 с  $i = 93.6^\circ$ , 2007 VA85 с  $i = 131.9^\circ$  и 343158 2009 HC82 с  $i = 154.5^\circ$ . Последние три объекта обладают обратным по отношению к большинству объектов Солнечной системы движением (рис. 5).

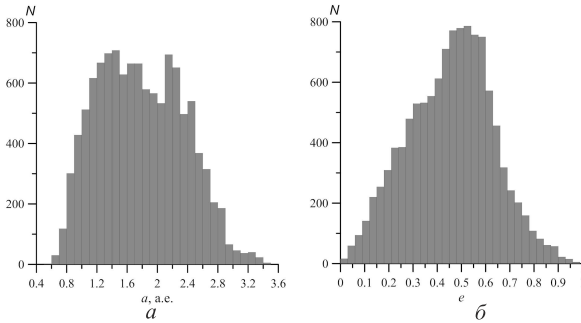


Рис. 2. Распределение АСЗ по большой полуоси  $a$  (а) и эксцентриситету  $e$  (б).  $N$  — число астероидов

Необходимо уделить внимание и физическим свойствам объектов из группы АСЗ. На текущий момент известно порядка 860 АСЗ с диаметром более 1 км. В рамках проблемы астероидно-кометной опасности это множество крупных объектов представляет определенный интерес, так как в случае гипотетического столкновения с Землей способны причинить глобальные разрушения. Абсолютная астероидная звездная величина  $H$  — характеристика, зависящая от физических размеров и отражающей способности. Астероидные величины АСЗ лежат в пределах от 9.45 (1036 Ganimed — более 33 км в поперечнике) до 33.24 (2008 TS26) (рис. 4,б).

Для получения статистических оценок размеров АСЗ можно воспользоваться формулой [5]

$$D = \frac{1329 \cdot 10^{-0.2H}}{\sqrt{pV}}, \quad (1)$$

где  $pV$  — альбеда астероида;  $H$  — абсолютная звездная величина;  $D$  — диаметр, км. В том случае если за среднее альбеда принято значение 0.14 [6], оценки размеров самых слабых АСЗ лежат в пределах 1 м. Подобное ограничение связано скорее с техническими возможностями наблюдателей, нежели с отсутствием менее крупных АСЗ. С другой стороны, в связи с нечетким определением понятия «астероид» [7] до конца непонятно, каким минимальным диаметром



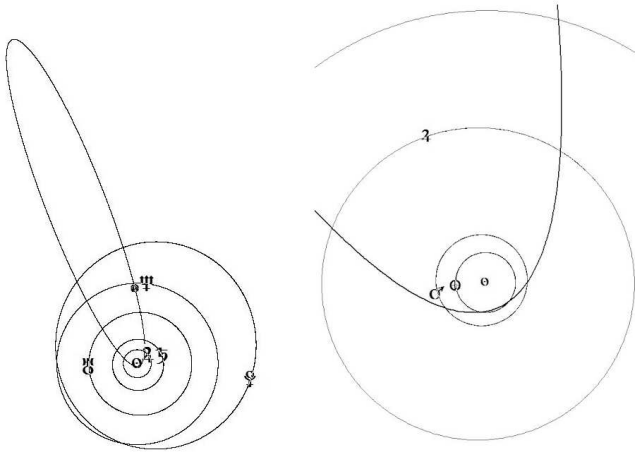


Рис. 3. Проекция орбиты астероида 2009 DQ33 и больших планет на плоскость эклиптики в различных масштабах

должен обладать космический объект, чтобы считаться принадлежащим данному множеству. В обозримом будущем, вероятно, возникнет строгая классификация между астероидами, метеороидами и космической пылью.

## Классы астероидов, сближающихся с Землей

По состоянию на текущий день считается, что открыты и каталогизированы практически все объекты крупнее 330 м [8]. Если предположить, что диаметр объектов обратно пропорционален их числу в Солнечной системе, то за сегмент глобальных и региональных катастроф в случае гипотетического столкновения можно оставаться спокойным, чего не скажешь о проблеме локальных катастроф. Челябинский объект 15 февраля 2013 г. [9] не превышал по размерам 17 м, а изучение данного сегмента остается до сих пор в начальной фазе.

Строго говоря, объекты крупнее 1 км способны вызвать глобальную катастрофу. Столкновения с самыми крупными астероидами могут привести к вымиранию до 95 % форм жизни на Земле. Считается, что все подобного рода объекты обнаружены, каталогизированы и достаточно хорошо исследованы.

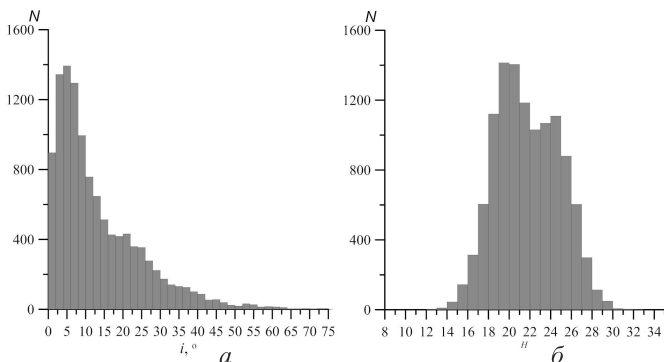


Рис. 4. Распределение АСЗ по наклону  $i$  ( $a$ ) и абсолютной звездной величине  $H$  ( $b$ ).  $N$  — число астероидов

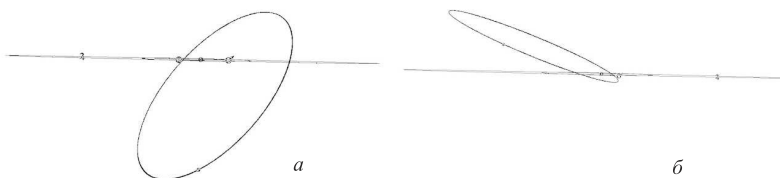


Рис. 5. Проекция орбит астероидов 2007 VA85 ( $a$ ) и 343158 2009 HC82 ( $b$ ) на плоскость, перпендикулярную плоскости эклиптики

Объекты от 100 м до 1 км приводят к катастрофе регионального масштаба. Объекты крупнее 330 м до 1 км обнаружены и исследованы в меньшей степени, чем их более крупные сородичи, но с уменьшением диаметра снижается и количество открытых объектов к потенциальному их числу.

Небольшие астероиды размером 10–100 м способны вызвать локальную катастрофу. Объектов, способных вызвать событие, равносильное Челябинскому, в Солнечной системе предположительно порядка нескольких миллионов, т. е. исследование данного множество только начинается.

Стоит отметить, что вышеописанные границы достаточно условны. С ростом числа городов и технически опасных объектов на Земле локальная угроза вполне способна превратиться в региональную, если природная катастрофа приведет к техногенной.

Орбиты АСЗ традиционно делят на четыре класса:

- группа Амура, для которой  $1.0167 < q \leq 1.3$  а. е. Астероиды этой группы всегда находятся за пределами орбиты Земли;
- группа Аполлона, для которой  $a > 1$  а. е.,  $q \leq 1.0167$  а. е. Орбиты этих астероидов в проекции на плоскость эклиптики пересекают орбиту Земли;
- группа Атона, для которой  $a < 1$  а. е.,  $Q \geq 0.983$  а. е. Такие астероиды выходят за орбиту Земли только в окрестности афелия своей орбиты, т. е. большую часть времени проводят внутри орбиты Земли;
- группа Атиры, для которой  $Q < 0.983$  а. е. Эти астероиды постоянно находятся внутри орбиты Земли.

На рис. 6 показаны проекции орбит типичных представителей данных классов на плоскость эклиптики. В табл. 1 приведены некоторые статистические данные о популяции АСЗ на сентябрь 2014 г. (верхняя строка) и на октябрь 2004 г. (нижняя строка), выбранные из каталога Боуэлла [4]. Динамика открытия новых АСЗ впечатляет. Менее чем за 10 лет число известных АСЗ увеличилось в три раза. Но необходимо отметить, что ориентация программы наблюдений на поиск новых объектов имеет и обратную сторону: число объектов, чьи орбиты известны с достаточной точностью, чтобы эти астероиды стали нумерованными, увеличивается гораздо менее стремительными темпами.

Таблица 1. Данные о популяции АСЗ

|              | Класс |         |      |       | Всего |
|--------------|-------|---------|------|-------|-------|
|              | Атон  | Аполлон | Амур | Атира |       |
| Общее число  | 4408  | 6132    | 864  | 14    | 11418 |
|              | 1365  | 1604    | 251  | –     | 3220  |
| Нумерованные | 657   | 878     | 141  | 2     | 1678  |
|              | 191   | 189     | 24   | –     | 404   |

Важно отметить, что количество известных объектов разных классов также отличается. К примеру, соотношение числа известных амуров и атир — 1:400. Это связано как с реальным количеством объектов в данных областях пространства, так и с условиями их на-

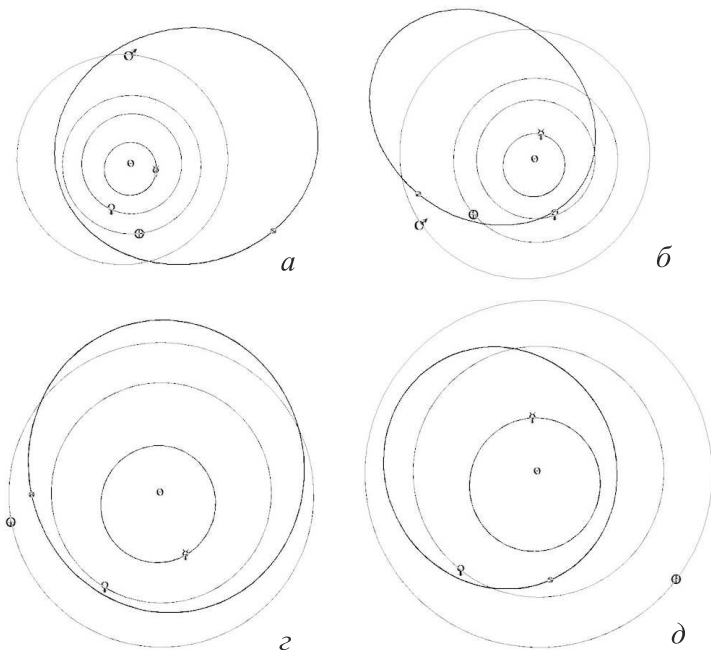


Рис. 6. Проекция орбит астероидов 1221 Amor (*a*), 1862 Apollo (*б*), 2062 Aten (*в*), 163693 Atira (*г*) и внутренних планет на плоскость эклиптики

блюдений, поскольку, к примеру, объекты типа Атиры наблюдаются лишь вблизи элонгаций (вечернее и утреннее небо) на коротких интервалах времени.

Из АСЗ выделяется группа потенциально опасных для Земли астероидов. В эту группу включают АСЗ, абсолютная звездная величина которых не больше  $22^m$  и минимальное расстояние между орбитами объекта и Земли не больше 0.05 а. е. Первым потенциально опасным астероидом стал 4179 Тутатис, который был открыт 4 января 1989 г. французским астрономом Кристианом Полля. На 9 сентября 2014 г., по сведениям NASA, известно 1 500 потенциально опасных астероидов (<http://neo.jpl.nasa.gov/orbits/>), порядка 140 из них имеют диаметр больше 1 км, т. е. при столкновении способны вызвать глобальную катастрофу.

Самым крупным из известных потенциально опасных астероидов является 3122 Florence размером около 4.9 км. Следующее сближение с Землей данного объекта ожидается 1 сентября 2017 г., когда он пройдет на расстоянии 0.04723 а. е. (7 млн км) от центра Земли. Что касается нижней границы, то, как видно, из приведенной выше формулы (1), звездная величина  $22^m$  примерно соответствует диаметру 130 м, что приводит к недооцениванию опасности, исходящей от меньших объектов.

## Астероиды, имеющие тесные сближения с Землей

Наиболее любопытными для исследования являются те объекты, которые в ближайшем будущем пройдут в околоземном космическом пространстве. Для выявления данной группы объектов использовался программный комплекс «ИДА» [10], позволяющий производить исследование динамических свойств астероидов (в том числе и с помощью параллельных вычислений). Рассматривалась возмущенная задача двух тел в гелиоцентрической системе координат, отнесенной к эклиптике и равноденствию 2000.0. Набор возмущающих факторов включал в себя возмущения от больших планет, Луны, Плутона, Цереры, Паллады, Весты; источником начальных данных послужил каталог элементов орбит астероидов Боуэлла от 31 августа 2014 г. Решение уравнений движения осуществляется методом Эверхарта на интервале времени 100 лет.

В ближайшие 100 лет сферу тяготения Земли (примерно 254 000 км) пройдут 29 астероидов. В табл. 2 представлены даты прохождения объектов через сферу тяготения, минимальные расстояния до центра Земли  $d_{min}$ , абсолютная звездная величина  $H$  и оценка диаметра  $D$ , полученная по формуле (1). Некоторые объекты проходят сферу тяготения дважды за данный интервал времени. 2014 RA, 2014 RC и 2014 SG1 были открыты во время прохождения вблизи Земли. На минимальное расстояние 38 000 км (из вышеперечисленных объектов) сблизится 99942 Апофис в 2029 г. [11–14]. Самым крупным из исследованных объектов является 153814 2001 WN5 — почти 500 м в диаметре. Астероиды 153814 2001 WN5, 99942 Арофис и 2007 YV56 отмечены, как потенциально опасные.

Таблица 2. Перечень АСЗ, проходящих через сферу тяготения Земли в ближайшие 100 лет

| Объект          | Дата       | $d_{min}$ , км | $H$ | $D$ , м |
|-----------------|------------|----------------|-----|---------|
| 2014 RA         | 31.08.2014 | 56746          | 29  | 6       |
| 2014 RC         | 07.09.2014 | 39893          | 27  | 15      |
| 2014 SG1        | 20.09.2014 | 79579          | 29  | 5       |
| 2012 TC4        | 12.10.2017 | 78306          | 27  | 17      |
| 2008 GY21       | 10.04.2018 | 248204         | 28  | 10      |
| 2006 QV89       | 09.09.2019 | 70653          | 25  | 30      |
| 2009 BF58       | 21.01.2022 | 102236         | 27  | 12      |
| 2013 GM3        | 14.04.2026 | 98118          | 26  | 19      |
| 153814 2001 WN5 | 26.06.2028 | 249053         | 18  | 495     |
| 99942 Apophis   | 13.04.2029 | 37557          | 19  | 330     |
| 2008 VB4        | 03.11.2033 | 174451         | 28  | 8       |
| 2014 HB177      | 06.05.2034 | 206584         | 28  | 8       |
| 2012 UE34       | 08.04.2041 | 107043         | 23  | 82      |
| 2012 HG2        | 13.02.2047 | 89615          | 27  | 13      |
| 2007 UD6        | 18.1002048 | 95036          | 28  | 7       |
| 2008 EZ7        | 09.03.2049 | 181485         | 27  | 13      |
| 2006 RH120      | 31.01.2060 | 147015         | 30  | 4       |
| 2008 US         | 21.10.2064 | 201910         | 32  | 2       |
| 2008 EL68       | 16.02.2065 | 140612         | 28  | 10      |
| 2010 VB1        | 07.01.2068 | 140049         | 23  | 74      |
| 2008 DB         | 10.02.2071 | 193538         | 26  | 25      |
| 2011 CH22       | 04.02.2074 | 100981         | 29  | 6       |
| 2012 HG2        | 21.07.2083 | 232477         | 27  | 14      |
| 2011 MD         | 15.06.2086 | 227647         | 28  | 9       |
| 2014 RS17       | 31.01.2090 | 133236         | 23  | 77      |
| 2007 YV56       | 02.01.2101 | 235924         | 21  | 213     |
| 2007 TX22       | 13.10.2101 | 107731         | 28  | 7       |
| 2009 FH         | 19.03.2104 | 105237         | 27  | 16      |
| 2013 GM3        | 17.04.2109 | 157872         | 26  | 19      |

## Заключение

Таким образом, астероиды, сближающиеся с Землей, разделенные на четыре группы по типам орбит (Амуры, Атоны, Аполлоны, Атиры), демонстрируют широкое разнообразие элементов орбит —

больших полуосей, эксцентриситетов и наклонов. Орбиты АСЗ в большинстве своем близки к эклиптической, но встречаются и почти перпендикулярные к ней; встречаются как практически круговые орбиты, так и сильно эллиптические; как лежащие полностью внутри орбиты Земли, так и пересекающие орбиты Меркурия, Венеры, Земли и Марса. На текущий момент времени известно более 11 900 АСЗ.

Разнообразие физических размеров также является чертой АСЗ. Крупных объектов, способных нанести разрушения при столкновении в глобальном масштабе, открыто свыше 800 (больше 1 км в диаметре). Региональную катастрофу способны вызвать объекты от 100 м до 1 км, разрушения местного характера — до 100 м в диаметре. На современную эпоху известно 1 500 потенциально опасных объектов, однако событие 15 февраля 2013 г. в небе над Челябинском заставляет задуматься о необходимости переоценки понятия опасности в рамках астероидно-кометной угрозы. В рамках данного исследования выявлено 29 объектов, которые пройдут сферу тяготения Земли в ближайшее столетие. Три из них угрожают Земле региональной катастрофой и являются потенциально опасными.

Работа выполнена в рамках Программ повышения конкурентоспособности ТГУ и УрФУ.

## Библиографические ссылки

1. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра /ред. Б. М. Шустов, Л. В. Рыхлова. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — С. 348.
2. Галушина Т. Ю., Скрипниченко П. В. Астероидная опасность — от первых представлений до наших дней // Физика космоса: Тр. 43-й междунар. студ. науч. конф., 3–7 февр. 2014 г., Екатеринбург. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. — С. 237—248.
3. Симоненко А. Н. Астероиды, или Тернистые пути исследований. — М. : Наука, 1985. — С. 208.
4. *Bowell E., Muinonen K., Wasserman L. H.* A public-domain asteroid data base // In *Asteroids, Comets, Meteors*, Kluwer, Dordrecht, Netherlands. — 1994. — P. 477—481.
5. *Perna D., Barucci M. A., Fulchignoni M.* The near-Earth objects and their potential threat to our planet // *Astron Astrophys Rev.* — 2013. — Vol. 21, iss. 65.

6. *Mainzer A., Grav T., Bauer J. et al.* NEOWISE observations of near-Earth objects: preliminary results // *Astrophys J.* — 2011. — Vol. 743, iss. 156.
7. *Галушина Т. Ю.* К вопросу о терминологии в области астероидной опасности // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества.* — 2013. — Т. 5, вып. 3. — С. 53–56.
8. *Harris A. W.* The population of near-Earth asteroids and current survey completion // 3rd IAA planetary defense conf., Flagstaff, abstract IAA-PDC13-02-09P. — 2013.
9. *Емельяненко В. В., Попова О. П., Чугай Н. Н. и др.* Астрономические и физические аспекты Челябинского события 15 февраля 2013 г. // *Астрон. вестн.* — 2013. — Т. 47, вып. 4. — С. 262–277.
10. *Быкова Л. Е., Галушина Т. Ю.* Прикладной программный комплекс «ИДА» для исследования динамики астероидов // *Изв. вузов. Физика.* — 2012. — Т. 55, вып. 10/2. — С. 89–96.
11. *Шор В. А., Чернетенко Ю. А., Кочетова О. М., Железнов Н. Б.* О влиянии эффекта Ярковского на орбиту Апофиса // *Астрон. вестн.* — 2012. — Т. 46, вып. 2. — С. 131–142.
12. *Соколов Л. Л., Башаков А. А., Борисова Т. П. и др.* Траектории соударения астероида Апофис с Землей в XXI веке // *Астрон. вестн.* — 2012. — Т. 46, вып. 4. — С. 311–320.
13. *Farnocchia D., Chesley S. R., Chodasa P. W. et al.* Yarkovsky-driven impact risk analysis for asteroid (99942) Apophis // *Icarus.* — 2013. — Vol. 224, iss. 1. — P. 192–200.
14. *Скрипниченко П. В., Галушина Т. Ю.* Исследование структуры возмущений и вероятностной орбитальной эволюции на примере астероида 99942 Apophis // *Изв. вузов. Физика.* — 2013. — Т. 56, вып. 6/3. — С. 229–231.