

ПОПУЛЯЦИЯ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ

Т. Ю. Галушина

НИИ прикладной математики и механики Национального исследовательского
Томского государственного университета
Российская Федерация, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36, к. 10
E-mail: volna@sibmail.com

Приведен обзор популяции астероидов, сближающихся с Землей (объектов, перигелийное расстояние q которых не превышает 1,3 а. е.). В настоящее время насчитывается уже свыше 11 тысяч таких объектов, из них 863 имеют диаметр больше 1 км, т. е. в случае столкновения могут вызвать глобальную катастрофу. Падение на Землю астероида размером от 100 м до 1 км может привести к региональной катастрофе, а до 100 м – локальной, что и произошло в Челябинске в 2013 году. 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 1500, 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, наклонения плоскости орбиты к эклиптике – от 0,021° до 154°. Однако всего 1678 АСЗ являются нумерованными, т. е. имеют хорошо определенные орбиты. Представлены диаграммы распределения АСЗ по большой полуоси, эксцентриситету, наклонению и абсолютной звездной величине. По типу орбит астероиды подразделяют на классы Атена, Аполлона, Амура и Атиры, которые названы по имени своих ярких представителей.

Особое внимание в работе уделено объектам, которые в ближайшие 185 лет пройдут через сферу тяготения Земли, радиус которой составляет 254316 км. На основе начальных данных из каталога Боуэлла на эпоху 31 августа 2014 года было выявлено 39 таких астероидов, из них четыре (153814 2001 WN5, 99942 Apophis, 2007 YV56 и 2011 JA) являются потенциально опасными.

Ключевые слова: астероиды, сближающиеся с Землей, потенциально опасные астероиды, элементы орбиты, сближения.

Vestnik SibGAU
2014, No. 4(56), P. 33–40

NEAR-EARTH ASTEROIDS POPULATION

T. Yu. Galushina

Research institute of applied mathematics and mechanics of Tomsk State University
36, Lenin str., Tomsk, 634050, Russian Federation
E-mail: volna@sibmail.com

The paper deals with the survey of Near-Earth asteroids population (objects perihelion distance of which is not more than 1,3 AU). It is known over than 11 thousands such objects in present time. 863 of them are larger than 1 km, i. e. they can provoke global catastrophe in case of impact with the Earth. The falling of asteroid which size from 100 m to 1 km can lead regional catastrophe. If the size of asteroid is less than 100 m, it will be local catastrophe as in Chelyabinsk in 2013. As consistent with modern estimations we know almost all large asteroids (more than 1 km) in current time, but percent of discovered asteroid decreases with reduction of sizes. A separate class includes 1500 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 1678 are numbered, i. e. have good determined orbits. The paper contains distribution diagrams of NEAs by semi-major axis, eccentricity, inclination and absolute magnitude. Asteroids are divided into classes of Aten, Apollo, Amur and Atira by orbit types. These classes are named after names of its typical representatives.

In the paper special attention is paid to the objects which pass through gravity sphere of the Earth in next 185 years. The radius of the gravity sphere is 254316 km. The initial data have been taken from Bowell catalog on epoch

31.09.2014. 39 such asteroids have been revealed, four from them (153814 2001 WN5, 99942 Apophis, 2007 YV56 u 2011 JA) are potentially hazardous.

Keywords: Near-Earth asteroids, potentially hazardous asteroids, orbit elements, close encounters.

Введение. Исследование движения астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), является актуальной задачей по целому ряду причин, основной из которых является проблема астероидной опасности. К данной популяции относят объекты, перигелийное расстояние q которых не превышает 1,3 а. е. [1]. Первый астероид вблизи Земли был открыт 13 августа 1898 г. Густавом Виттом в обсерватории Урания в Берлине. Это был 433 Эрос, астероид размером менее 25 км. В год открытия он прошел на расстоянии 22 млн км от Земли [2].

Однако долгое время численность популяции известных АСЗ была весьма незначительна. Например, к 1983 г. число таких объектов едва достигало 80 [3]. Ситуация существенно изменилась в конце XX века, когда благодаря развитию наблюдательной техники и новым астрономическим научным программам число открываемых АСЗ существенно увеличилось.

Общие сведения о популяции астероидов, сближающихся с Землей. В настоящее время созданы и постоянно обновляются различные каталоги астероидов. Одна из наиболее полных и широко используемых во многих работах электронная версия каталога всех астероидов принадлежит Э. Боуэллу [4]. Каталог содержит высокоточные оскулирующие элементы орбит, данные об интервалах и количестве наблюдений, использованных при улучшении орбит, а также возможные эфемеридные неопределенности. На 22 сентября 2014 г. каталог содержал данные о 655843 астероидах, в том числе 11418 АСЗ. Для сравнения, до начала 90-х годов число известных АСЗ едва достигало 150, в 1995 г. их уже было известно 350, в мае 1998 г. – 502 [5].

Большие полуоси орбит a почти всех известных к настоящему времени АСЗ заключены в интервале от 0,55 (2007 EB26) до 20,31 а. е. (2014 PP69), при этом большие полуоси орбит 99,7 % астероидов расположены в пределах от 0,9 до 3,6 а. е. (рис. 1, а). 30 АСЗ имеют большие полуоси больше 3,6 а. е., из них 5 – больше 10 а. е. Исключением является орбита астероида 2009 DQ33, большая полуось которой составляет 66,1 а. е. (рис. 2). В пересечении на плоскость эклиптики данных орбит пересекается орбиты всех больших планет от Земли до Нептуна. Эксцентриситет его орбиты $e = 0,985$, наклонение к плоскости эклиптики $i = 8,7^\circ$. Однако следует заметить, что рассматриваемый астероид наблюдался на интервале всего 8 суток в феврале 2009 г., что говорит о большой неопределенности его орбиты. Вполне вероятно, что после появления новых наблюдений значения элементов орбиты существенно изменятся. Проблема заключается в том, что в настоящее время астероид стремительно удаляется от Земли, в 2013 г. он пересек орбиту Сатурна. Если судить по известным элементам орбиты, то в следующий раз он появится в окрестности Земли только в середине текущего тысячелетия, т. е. данный объект можно фактически считать потерянным.

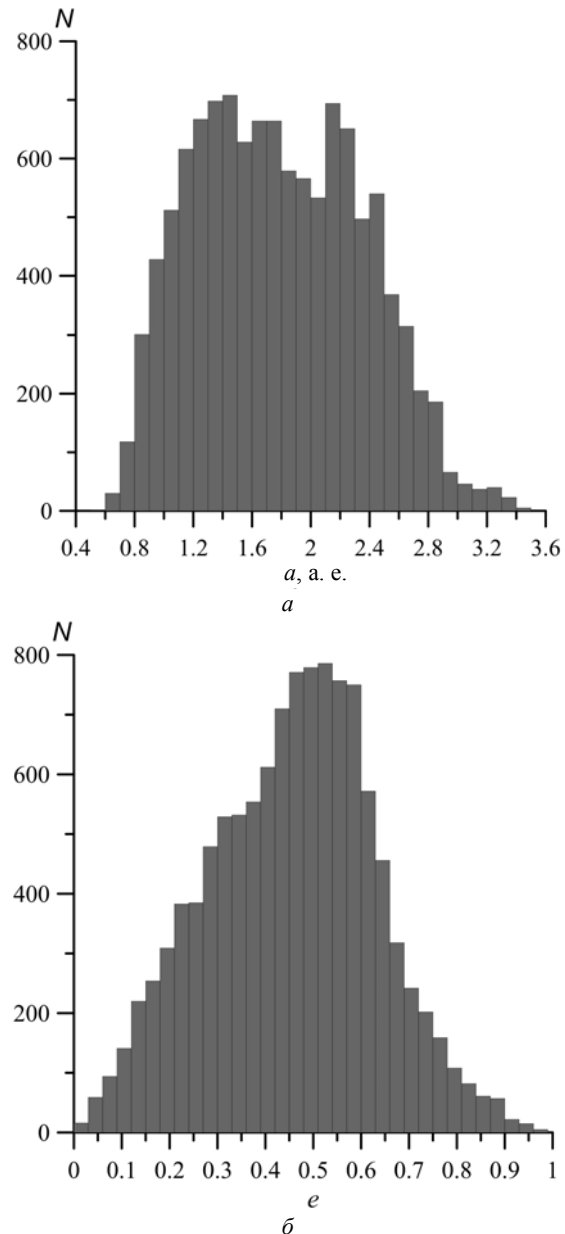


Рис. 1. Распределение АСЗ по большой полуоси a (а) и эксцентриситету e (б): N – число астероидов

Распределение АСЗ по эксцентриситету и наклонению приведено на рис. 1, б и 3, а соответственно. Эксцентриситеты АСЗ заключены в интервале от 0,0032 (2011 WK2) до 0,9855 (2009 DQ33). Максимум в распределении эксцентриситетов наблюдается в промежутке от 0,3 до 0,6, такие эксцентриситеты имеют орбиты 59 % АСЗ.

Наклоения большинства АСЗ расположены в пределах от 0,021 (2004 FH) до 75,40° (2012 FZ23) (рис. 3, а). 57 % АСЗ принадлежат к сферической подсистеме ($i > 8^\circ$). Отдельного внимания заслуживают астероиды 2007 VA85 и 343158 2009 HC82 (рис. 4), которые имеют наклонения 132° и 154°,

соответственно, т. е. движутся в обратную сторону по отношению к Земле и другим объектам Солнечной системы.

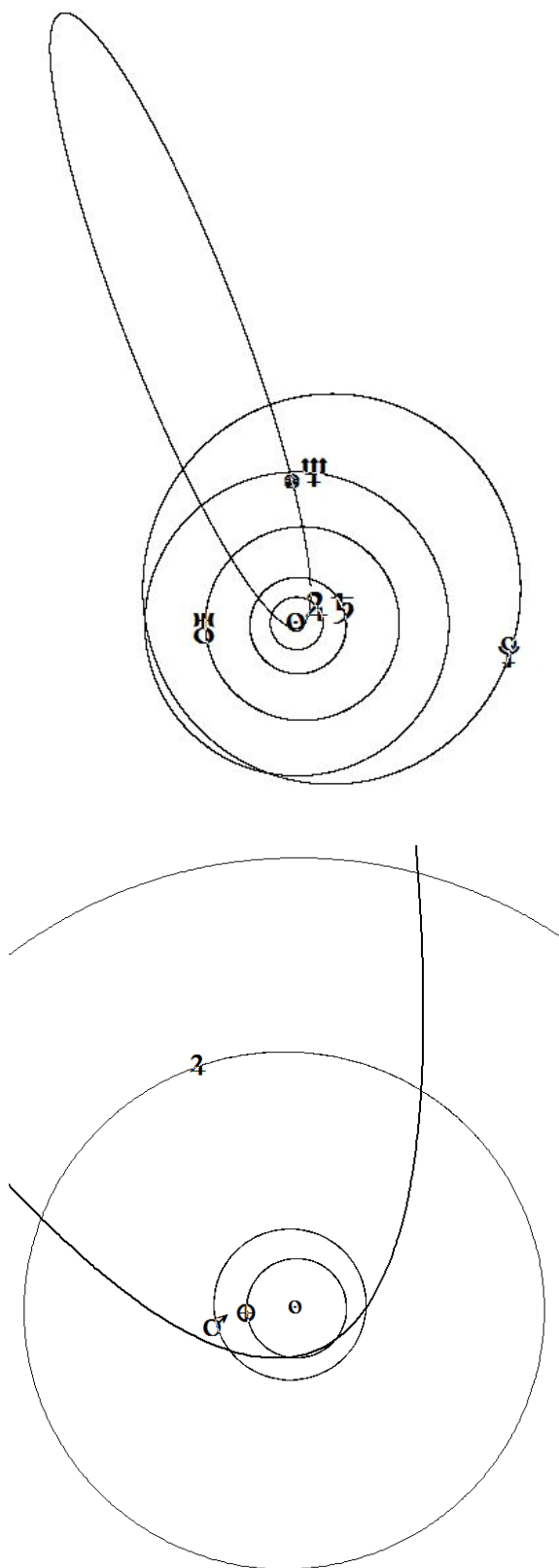
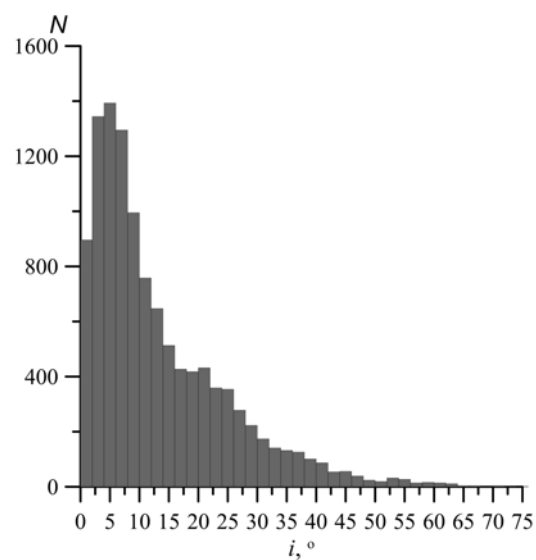
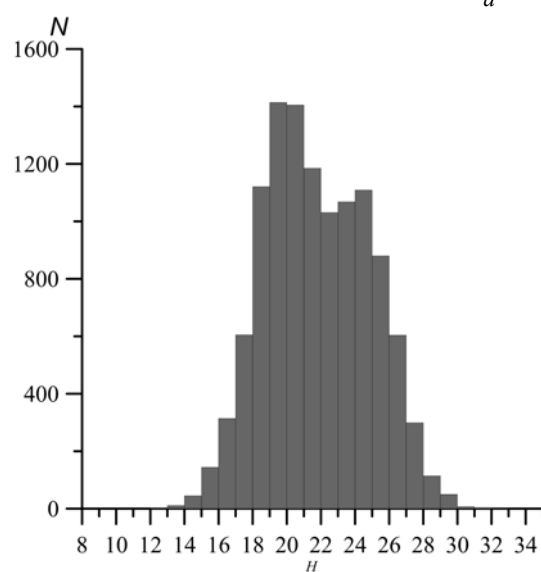


Рис. 2. Проекция орбиты астероида 2009 DQ33 на плоскость эклиптики в различных масштабах



a



б

Рис. 3. Распределение АСЗ по наклонению i (*a*) и абсолютной звездной величине H (*б*): N – число астероидов

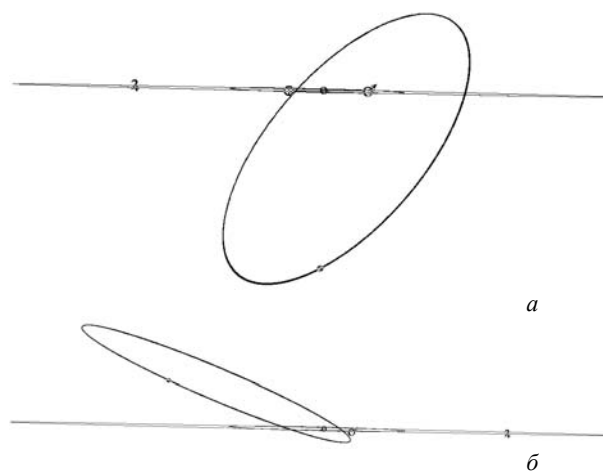


Рис. 4. Проекция орбит астероидов 2007 VA85 (*a*) и 343158 2009 HC82 (*б*) на плоскость, перпендикулярную плоскости эклиптики

Абсолютные звездные величины H известных АСЗ заключены в пределах от 9,45 (1036 Ganimed) до 33,24 (2008 TS26). Самым крупным из известных АСЗ является 1036 Ganimed диаметром 31,7 км. Немного ему уступает первый открытый объект этого класса 433 Eros с размерами 34,4×11,2×11,2 км. Согласно данным центра малых планет (<http://www.minorplanetcenter.net>) в настоящее время известно 863 АСЗ с диаметром больше 1 км.

Определить нижнюю границу размеров известных АСЗ гораздо сложнее, так как характеристики слабых объектов известны плохо. Для получения примерных оценок воспользуемся формулой, приведенной в работе [6]:

$$D = \frac{1329 \cdot 10^{-0,2H}}{\sqrt{p_V}}, \quad (1)$$

где p_V – альbedo астероида; H – абсолютная звездная величина; D – диаметр, км. Предполагая среднее альbedo 0,14 для популяции АСЗ [7] (Mainzer [et al.]. 2011), получим, что диаметр самых слабых известных объектов составляет порядка 1 м. Однако следует понимать, что данная граница обусловлена возможностями современной наблюдательной техники, более того такие объекты открываются только во время сближения с Землей. С другой стороны, возникает терминологический вопрос, относить ли настолько мелкие объекты к классу астероидов или метеороидов [8]. Видимо в связи с отсутствием четкого определения астероида и сложностями с вычислением размера вновь открытых объектов, их традиционно вносят в астероидные каталоги.

Логично предположить, что чем меньше размер объекта, тем больше таких тел должно быть в Солнечной системе. Рис. 3, б позволяет сделать вывод, что в настоящее время открыты почти все АСЗ ярче 20 абсолютной звездной величины, т. е. больше 330 м. Данный вывод подтверждается результатами, приведенными в работе [9]. На рис. 5 показано положение всех известных АСЗ на 31 августа 2014 г. в проекции на плоскость эклиптики. Из рис. 5 видно плотное заполнение пространства в окрестности Земли астероидами.

Классификация астероидов, сближающихся с Землей. По размерам и степени опасности АСЗ можно разделить на три класса:

- крупные объекты, диаметр которых превышает 1 км; встреча Земли с таким объектом может вызвать глобальную катастрофу;
- астероиды средних размеров; к этому классу относятся объекты с диаметром от 100 м до 1 км; эти объекты способны вызвать катастрофы регионального масштаба;
- мелкие астероиды размером 10–100 м, столкновение с которыми приводит к локальным разрушениям.

Данная классификация позволяет сделать неутешительный вывод, что в настоящее время нам известны даже далеко не все астероиды, способные вызвать региональную катастрофу, не говоря уж о локальной. Челябинское событие 2013 г. [10] наглядно продемонстрировало этот факт. Согласно оценкам, приведенным

в работе [9], популяция АСЗ размером порядка 100 м насчитывает около 20 тыс. объектов, а 20 м (т. е. соизмеримых с прародителем челябинского метеорита) – несколько миллионов. Следует отметить, что в истории человечества было всего два случая заранее предсказанного столкновения небесного тела с Землей: 2008 ТСЗ, который столкнулся с Землей в октябре 2008 г. [11; 12], и первый открытый в 2014 г. астероид 2014 АА.

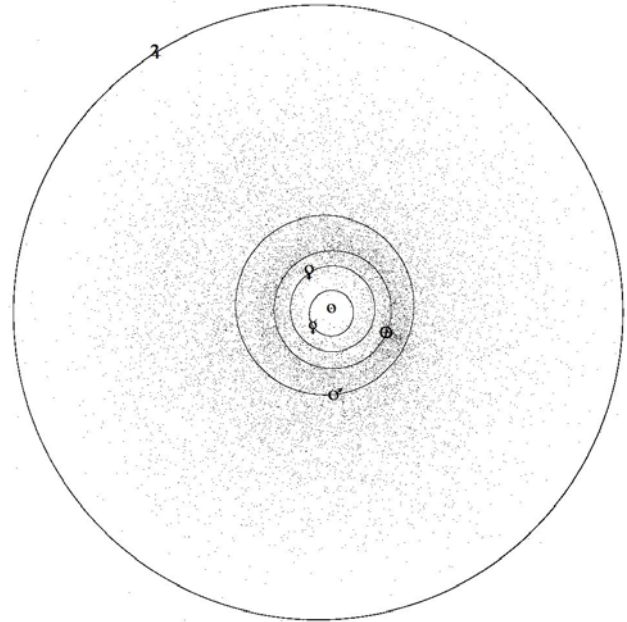


Рис. 5. Положение всех АСЗ в проекции на плоскость эклиптики на 31.08.2014

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 года французским астрономом Кристианом Полля. На 9 сентября 2014 г. по сведениям NASA известно 1500 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 [12].

По типу орбит популяция АСЗ традиционно делится на четыре класса, которые названы по имени своих наиболее ярких представителей:

– группа Амура, для которой $1,0167 \text{ а. е.} < q \leq 1,3 \text{ а. е.}$. Астероиды этой группы всегда находятся за пределами орбиты Земли;

– группа Аполлона, для которой $a > 1 \text{ а. е.}$, $q \leq 1,0167 \text{ а. е.}$. Орбиты этих астероидов в проекции на плоскость эклиптики пересекают орбиту Земли;

– группа Атона, для которой $a < 1 \text{ а. е.}$, $Q \geq 0,983 \text{ а. е.}$. Такие астероиды выходят за орбиту Земли только в окрестности афелия своей орбиты;

– группа Атиры, для которой $Q < 0,983 \text{ а. е.}$. 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. Из табл. 1 видно, что число известных АСЗ за 10 лет увеличилось более чем в 3 раза, т. е. в среднем за это время каждый день обнаруживалось по два новых объекта. Однако с сожалением следует отметить, что процент нумерованных АСЗ (с хорошо определенной орбитой) увеличился незначительно и не превышает 15 %.

Кроме того, табл. 1. показывает, что наибольшее число астероидов принадлежит классу Аполлона, наименьшее – Атиры. Скорее всего, этот факт связан не столько с реальным размером соответствующих популяций, сколько с наблюдательными возможностями. Наблюдения объектов типа Атиры возможны только в окрестности элонгаций, т. е. на небольшом интервале времени. Первый объект этого класса 163693 Atira был открыт только в 2003 г.

Астероиды, проходящие через сферу тяготения Земли. Рассмотрим, какие астероиды в ближайшем будущем подойдут близко к Земле. Для данного исследования использовался программный комплекс «ИДА» [13], который позволяет осуществлять высокоточное прогнозирование движения астероидов с использованием параллельных вычислений. Движение астероидов в данной работе рассматривается в рамках возмущенной задачи двух тел в гелиоцентрической системе координат, отнесенной к эклиптике и равноденствию 2000.0. В модель сил включены возмущения от больших планет, Луны, Плутона и трех крупных астероидов (Церера, Паллада, Веста). Начальные элементы орбит взяты из каталога Э. Боуэлла на эпоху 31 августа 2014 г. Уравнения движения интегрируются численно методом Эверхарта [14].

Таблица 1

Данные о популяции АСЗ

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

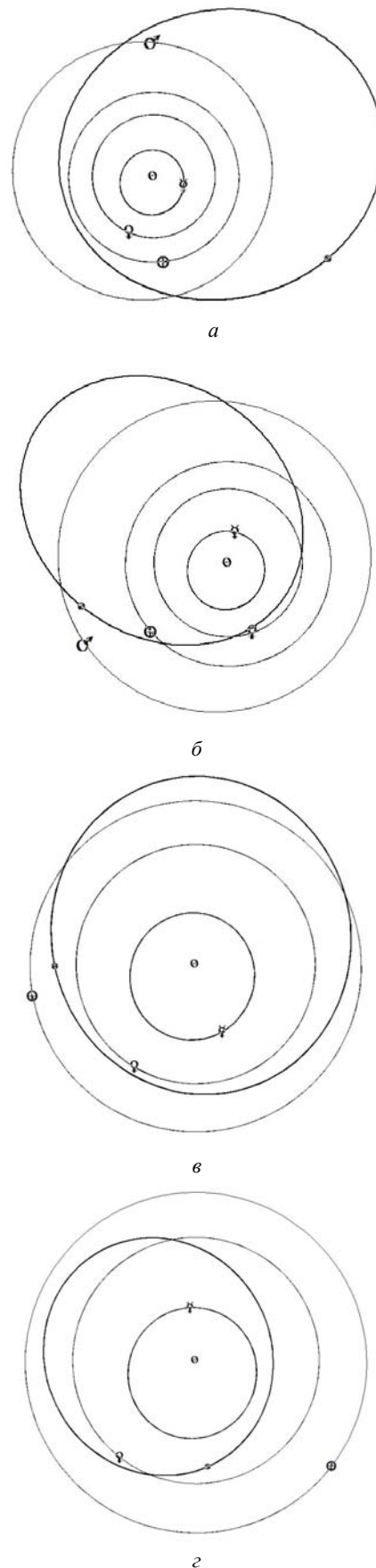


Рис. 6. Проекция орбит астероидов 1221 Amor (а), 1862 Apollo (б), 2062 Aten (в), 163693 Atira (г) и внутренних планет на плоскость эклиптики

В описываемом численном эксперименте интервал времени определялся фондом координат больших планет DE405 и составил 2014–2200 гг. В результате исследования выявлено 39 астероидов, проходящих через сферу тяготения Земли в ближайшие 185 лет (значение радиуса сферы тяготения Земли составляет примерно 254316 км). 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).

Таблица 2

Перечень АСЗ, проходящих через сферу тяготения Земли в ближайшие 190 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	18.10.2048	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
2007 UW1	19.10.2129	127744	23	97
2012 KT42	31.05.2131	215182	29	6
2002 TY59	03.10.2138	188361	25	28
2011 JA	26.04.2145	233367	21	185
2007 UY1	13.02.2156	156900	23	89
2009 TH8	20.10.2164	119582	25	36

Окончание табл. 2

Объект	Дата	$d_{\min}$, км	H	D , м
2014 QN266	14.07.2168	255672	26	18
2008 HJ	04.05.2178	99294	26	24
2013 YJ48	25.12.2181	227781	26	20
2011 TQ8	03.10.2184	168650	25	42
2010 FN	25.03.2190	145460	27	16
2014 GQ17	11.06.2197	74671	27	13

Как видно из табл. 2, два объекта из 39 дважды проходят через сферу тяготения: 2012 HG2 в 2047 и 2083 гг. и 2013 GM3 в 2026 и 2109 гг. 2014 RA, 2014 RC и 2014 SG1 уже прошли через эту сферу, причем они были открыты во время тесного сближения. Следующее сближение нас ожидает в октябре 2017 г., когда 17-ти метровый астероид 2012 TC4 пройдет на расстоянии 78 тыс. км от геоцентра. Первенство по минимальному расстоянию до Земли по-прежнему удерживает легендарный Апофис [15–17], который в 2029 г. пройдет на расстоянии порядка 38 тыс. км.

Однако следует отметить, что всего два объекта являются нумерованными: 99942 Apophis и 153814 2001 WN5. Учитывая, что данные результаты получены только по номинальным орбитам, для уточнения полученной информации требуется исследование вероятностной орбитальной эволюции. Кроме того, обращает на себя внимание тот факт, что только астероиды 153814 2001 WN5, 99942 Apophis, 2007 YV56 и 2011 JA являются потенциально опасными. Максимальным является 495-ти метровый 153814 2001 WN5, который в июне 2028 г. пройдет на расстоянии 249 тыс. км от геоцентра. Однако в свете недавних событий [9] не следует пренебрегать и объектами меньшего размера.

Заключение. Таким образом, в настоящее время известно более 11 тысяч астероидов, сближающихся с Землей, 863 из них имеют диаметр больше 1 км. Орбиты АСЗ отличаются большим разнообразием больших полуосей, эксцентриситетов и наклонов: от почти круговых до сильно эллиптических, от лежащих практически в плоскости эклиптики до почти перпендикулярных ей. По типу орбит эти объекты подразделяются на классы Амура, Аполлона, Атона и Атиры.

По размерам и степени опасности для Земли астероиды делятся на способные вызвать глобальную катастрофу (больше 1 км), региональную (от 100 до 1000 м) и локальную (до 100 м). К сожалению, в настоящее время относительно хорошо известны только астероиды первой группы. Отдельно выделяют подкласс потенциально опасных для Земли астероидов, таковых в настоящее время насчитывается 1500.

На основании исследования номинальных орбит нами было выявлено 39 астероидов, которые в ближайшие 185 лет пройдут через сферу тяготения Земли. Четыре из них являются потенциально опасными и в случае столкновения могут вызвать катастрофу регионального масштаба.

Библиографические ссылки

1. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / под ред. Б. М. Шустова, Л. В. Рыхловой. М. : Физматлит, 2010. 384 с.
2. Галушина Т. Ю., Скрипниченко П. В. Астероидная опасность – от первых представлений до наших дней // Физика космоса : Тр. 43 Междунар. студенческой 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. 208 с.
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. Muinonen K. Asteroid and comet encounters with the Earth // The dynamics of small bodies in the Solar system: A major key to Solar system studies. NATO ASI Series. C: Math. Phys. Scien. Vol. 522. Kluwer Acad. Publ., 1999. P. 127–158.
6. Perna D., Barucci M. A., Fulchignoni M. The near-Earth objects and their potential threat to our planet // Astron Astrophys Rev. 2013. Vol. 21, no. 65.
7. NEOWISE observations of near-Earth objects: preliminary results / A. Mainzer [et al.] // Astrophys J. 2011. Vol. 743, no. 156.
8. Галушина Т. Ю. К вопросу о терминологии в области астероидной опасности // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. Т. 3, № 4. С. 53–56.
9. Harris A. W. The population of near-Earth asteroids and current survey completion // In: 3rd IAA planetary defense conference, Flagstaff, abstract IAA-PDC13-02-09P. 2013.
10. Астрономические и физические аспекты Челябинского события 15 февраля 2013 г. / В. В. Емельяненко [и др.] // Астрон. вестник. 2013. Т. 47, № 4. С. 262–277.
11. The impact and recovery of asteroid 2008 TC3 / P. Jenniskens [et al.] // Nature. 2009. Vol. 458. Iss. 7237. P. 485–488.
12. Астрометрические и фотометрические исследования упавшего на Землю астероида 2008 TC3 / Е. Ю. Алешкина [и др.] // Астрон. вестн. 2011. Т. 45. Вып. 1. С. 36–44.
13. Быкова Л. Е., Галушина Т. Ю., Батурин А. П. Прикладной программный комплекс «ИДА» для исследования динамики астероидов // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 10/2. С. 89–96.
14. Авдюшев В. А. Интегратор Гаусса–Эверхарта // Вычисл. технологии. 2010. Т. 15, № 4. С. 31–47.
15. Траектории соударения астероида Апофис с Землей в XXI веке / Л. Л. Соколов [и др.] // Астрон. вестн. 2012. Т. 46. Вып. 4. С. 311–320.
16. 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.
17. Скрипниченко П. В., Галушина Т. Ю. Исследование структуры возмущений и вероятностной орбитальной эволюции на примере астероида 99942

Aporhis // Изв. вузов. Физика. 2013. Т. 56, № 6/3. С. 229–231.

References

1. *Asteroidno-kometnaya opasnost': vchera, segodnya, zavtra*. [Asteroid-comet hazard: yesterday, today, tomorrow]. Edited by B. M. Shustov, L. V. Rykholova. Moscow, Physmatlit Publ., 2010, 384 p.
2. Galushina T. Yu., Skripnichenko P. V. [Asteroid hazard – from first conceptions to our days]. *Fizika kosmosa: Tr. 43 mezhdunar. studencheskoi nauch. konf.* [Physics of Space: the 43st Annual Student Scientific Conference]. Edited by P. E. Zakharova, E. D. Kuznetsov, A. B. Ostrovskii, S. V. Salii, A. M. Sobolev, K. V. Kholshevnikov, and B. M. Shustov. Ural Federal University Publ., 2014. P. 237–248 (In Russ.).
3. Simonenko A. N. *Asteroidy ili ternistye puti issledovaniy*. [Asteroids or thorny paths of investigations]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 208 p.
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. Muinonen K. Asteroid and comet encounters with the Earth. The dynamics of small bodies in the Solar system: A major key to Solar system studies. NATO ASI Series. C: Math. Phys. Scien. Vol. 522. Kluwer Acad. Publ., 1999. P. 127–158.
6. Perna D., Barucci M. A., Fulchignoni M. The near-Earth objects and their potential threat to our planet. *Astron Astrophys Rev*, 2013. Vol. 21, no. 65.
7. Mainzer A., Grav T., Bauer J. et al. NEOWISE observations of near-Earth objects: preliminary results. *Astrophys J*. 2011. Vol. 743, no. 156.
8. Galushina T. Yu. [The problem of terminology in the field of asteroid hazard]. *Ekologicheskii vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva*. 2013, vol. 3, no. 4, p. 53–56. (In Russ.).
9. Harris A. W. The population of near-Earth asteroids and current survey completion. In: 3rd IAA planetary defense conference, Flagstaff, abstract IAA-PDC13-02-09P. 2013.
10. Emel'yanenko V. V. et al. Astronomical and physical aspects of the Chelyabinsk event (February 15, 2013). *Solar System Research*. Vol. 47, Is. 4, P. 240–254.
11. Jenniskens P., Shaddad M. H., Numan D. et al. The impact and recovery of asteroid 2008 TC3. *Nature*. 2009. Vol. 458, Is. 7237, P. 485–488.
12. Aleshkina E.Y. et al. Astrometric and photometric studies of the asteroid 2008 TC3. *Solar System Research*. 2011. Vol. 45, Is. 1, P. 34–42.
13. Bykova L. E., Galushina T. Yu., Baturin A. P. [The application suite “IDA” for investigation of dynamics of asteroids]. *Izvestiya Vuzov. Fizika*. 2012, Vol. 55, No. 10/2. Special Issue. P. 89–96. (In Russ.).
14. Avdyushev V. A. [Integrator of Gauss–Everhart]. *Vychisl. tekhnologii*. 2010, Vol. 15, No. 4, P. 31–47. (In Russ.).
15. Sokolov L. L., Bashakov A. A., Borisova T. P., Petrov N. A., Pitjev N. P., Shaidulin V. S. Impact

trajectories of the asteroid Apophis in the 21st century // *Solar System Research*. 2012. Vol. 46. Is. 4. P. 291–300.

16. Shor V. A., Chernetenko Yu. A., Kochetova O. M., Zheleznov N. B. On the impact of the Yarkovsky effect on Apophis' orbit. *Solar System Research*. Vol. 46. Is. 2. P. 119–129.

17. Skripnichenko P. V., Galushina T. Yu. [The study of perturbation structure and probability orbital evolution on the example of asteroid 99942 Apophis]. *Izvestiya Vuzov. Fizika*. 2013, Vol. 56, № 6/3, P. 229–231 (In Russ.).

© Галушина Т. Ю., 2014