

УДК 519.683

В. И. Усиченко, Д. В. Заврайский

НЕКОТОРЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ В СЕМЕЙСТВАХ АТОНА И АПОЛЛОНА И ЧАСТОТА СБЛИЖЕНИЙ В ГЛАВНОМ ПОЯСЕ АСТЕРОИДОВ

Приведены априорные вероятности встречи с Землей по Эпику для астероидов групп Атона и Аполлона, а также минимальные расстояния между орбитами этих астероидов и орбитой Земли. Получены соответствующие уравнения регрессии. Для первой тысячи астероидов главного пояса приводится ряд выводов относительно генетических связей между некоторыми из них и принципиальной возможности тесных сближений (пересечений) их орбит. Отмечены некоторые особенности организации и проведения массовых вычислений методом Галле. Отмечена неполнота полученных результатов.

Наведено апріорні ймовірності зустрічі з Землею за Епіком для астероїдів груп Атона й Аполлона, а також мінімальні відстані між орбітами цих астероїдів і орбітою Землі. Отримано відповідні рівняння регресії. Для першої тисячі астероїдів головного поясу зроблено ряд висновків щодо генетичних зв'язків між деякими з них та принципової можливості тисних зближень (перетинів) їх орбіт. Відзначено деякі особливості організації та проведення масових обчислень методом Галле. Відзначено неповноту отриманих результатів.

The paper presents the a priori probabilities of collision with the Earth for asteroids of Aten and Apollo groups according to Epic and the minimal distances between the orbits of those asteroids and the Earth orbit. The respective regression equations have been derived. For the first thousand of asteroids of the main belt, a number of conclusions are presented concerning genetic relationship between some of them and possibility in principle of close approach (crossing) of their orbits. Some peculiarities are noted of organization and making mass calculations by Halle's method. The incompleteness of the results obtained is noted.

Исходные положения и методика анализа

Массовое открытие малых тел Солнечной системы, начавшееся в конце 80-х гг. XX в., послужило серьезной причиной активизации работ по вопросам астероидно-кометной опасности для нашей планеты.

Стало понятно, что стремительный рост числа обнаруженных в околоземном пространстве малых тел порой с весьма неординарными орбитами равносильно увеличению числа потенциальных космических ударников для Земли. Уже в 1990 г. Комитет по науке, космосу и технологии американского Конгресса внес изменения в закон о деятельности NASA, направленные на открытие двух новых проектов по выявлению потенциально опасных астероидов и разработке технологий и систем изменения их орбит. Работы по этим направлениям активно продолжаются и ныне [1].

Практически сразу же [2], опираясь на первые достоверные результаты изучения химического состава близких к Земле асте-

роидов, появилась и тематика, связанная с возможностью их практического использования в качестве источников минеральных ресурсов. Это, в свою очередь, привело к постановке задачи поиска астероидов, полеты к которым целесообразны с точки зрения их химического состава, энергетики и экономической эффективности. В течение ряда последних лет неоднократно совершались посадки космических аппаратов на поверхность малых тел Солнечной системы исключительно в научных целях, поскольку на вопросы экономичности использования астероидных ресурсов пока не существует единой, устоявшейся точки зрения.

Как отмечено в [1], в перспективе не исключена возможность постановки задачи разработки программных комплексов решения специальных задач по баллистике межпланетных перелетов и взаимотносительного движения нескольких космических объектов.

С учетом этого представляет, на наш

взгляд, интерес вопрос о пространственном распределении и сближении астероидных орбит как между собой, так и с орбитой Земли. Формирование обобщенного взгляда на эти вопросы, по нашему мнению, может способствовать формированию правильной методологии при проектировании вышеупомянутых программных комплексов. Кроме того, видение общей картины происходящих в астероидном поясе явлений вероятностного характера может оказаться полезным при отборе малой планеты в соответствии с теми или иными критериями.

В случае с астероидами главного пояса для нас представляло интерес взаимное сближение астероидных орбит, а для группы астероидов Earth crossing, орбиты которых проходят вблизи земной орбиты, нас интересовало, в первую очередь, минимальное расстояние между орбитами Земли и астероида.

Необходимо отметить, что задача о сближении орбит астероидов главного пояса ставилась еще в конце XIX в. и уже тогда были получены первые результаты. Однако в то время, во-первых, было известно относительно незначительное число астероидов главного пояса и речь в принципе не могла идти о группе Earth crossing. Во-вторых, расчеты не носили массового характера, так как проводились главным образом вручную, а потому были крайне трудоемкими.

В силу этого была предпринята попытка вернуться к этой задаче, опираясь на сегодняшнюю систему классификации малых тел Солнечной системы и сегодняшние вычислительные возможности.

Для исследования сближения астероидных орбит был использован метод Галле [3, 4]. В качестве критерия генетического родства пар астероидов использованы два из трех интеграла осредненной задачи трех тел [5]

$$\begin{aligned} \mu &= \sqrt{p} \cdot \cos i; \\ \nu &= e^2 (0,4 - \sin^2 i \cdot \sin^2 \omega). \end{aligned} \quad (1)$$

Указанные значения, называемые квазистационарными параметрами, практически не подвержены изменениям на длительных промежутках времени при отсутствии тесных сближений астероидов с большими планетами и, как следствие, отсутствию сильных возмущающих факторов. Среднее их изменение на временном интервале ~10000 лет составляет 7%. Поэтому близость значений параметров (1) для пары астероидов (все обозначения орбитальных параметров общепринятые) со значительной долей вероятности может указывать на то, что данная пара образовалась в результате фрагментации в прошлом их общего родительского тела (ОРТ). Количество же пар с близкими значениями параметров (1) может косвенно указывать на частоту столкновений на астероидных орбитах, а следовательно, и на интенсивность процессов фрагментации в поясе астероидов в ретроспективе. Следует сразу же отметить, что квазистационарные параметры (1) вычислены нами лишь для крайне незначительного числа астероидов главного пояса. Целесообразность массового вычисления критериев (1) в главном поясе по ряду причин вызывает сомнения.

Как следует из анализа [6], группы Атона и Аполлона, вероятнее всего, содержат в своем составе захваченные в свое время Солнцем короткопериодические кометы и метеорные тела. По этой причине мы не стали искать генетические связи между ними. Иначе говоря, параметры (1) для астероидов группы Атона и Аполлона не вычислялись.

В итоге методика анализа основывалась на вычислении минимального расстояния между парами астероидных орбит в главном поясе, а для тел групп Атона и Аполлона – априорных вероятностей встречи с Землей и минимальных расстояний между орбитами Земли и астероида. В качестве рабочей базы данных (БД) орбитальных параметров астероидов использовалась база Центра малых планет Смитсоновской астрофизической обсерватории на эпоху 2000.0. Указанная база содержит высокоточные значения оскулирующих орбитальных элементов, в имеющейся у нас версии (26.02.2000) – 58651 астероид.

Обработка даже этой, относительно устаревшей и уже неполной, версии БД требует, как мы убедимся ниже, весьма значительных затрат машинного времени. Тем не менее можно привести некоторые наиболее интересные предварительные результаты, поскольку детальный анализ результатов расчетов на данный момент не закончен.

Необходимо отметить, что приведенные ниже значительные затраты машинного времени для массовых вычислений по методу Галле связаны с применением в программе вложенных циклов по эксцентрическим аномалиям пары астероидных орбит. Такой способ алгоритмизации классического (1883) и достаточно точного метода, очевидно, не является оптимальным и при необходимости может быть усовершенствован [4].

В последние 2-3 года рядом европейских специалистов (Грончи, Вишневики, Рикман) построены и реализованы новые точные алгоритмы нахождения межорбитальных расстояний. Однако анализ их эффективности для случая массовых вычислений не проводился.

Далее в сжатой форме приводятся некоторые полученные на первом этапе анализа результаты по астероидам главного пояса и семейству ААА-астероидов.

Результаты расчетов для семейства Атона и Аполлона

ААА-астероидами называются астероиды групп Атона-Аполлона-Амура, в которых сосредоточено абсолютное большинство известных претендентов на роль космических ударников по Земле. Причем наиболее опасными считаются аполлонцы из-за распределения их орбитальных параметров и количества. ААА-группа в рассматриваемой версии БД представлена 934 малыми планетами (57 – группа Атона, 459 – группа Аполлона и 418 амурцев). Расчеты проводились лишь для атонцев и аполлонцев, т.е. для тех групп из числа ААА-астероидов, которые проявляют тен-

денцию к сближению с Землей со стороны внутренних планет. Немногочисленность ААА-астероидов вполне ожидаема, как и немногочисленность семейства астероидов, заходящих внутрь земной орбиты.

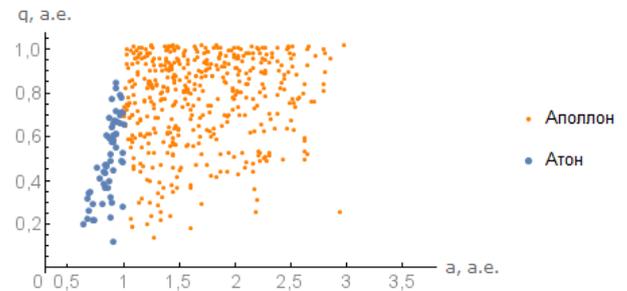


Рис. 1. Распределение перигелиев астероидов групп Атона и Аполлона в зависимости от их большой полуоси

Как видно из диаграммы (рис. 1), орбиты астероидов группы Атона расположены внутри земной орбиты, а группа Аполлона – с внешней стороны орбиты Земли.

Для тел ААА-астероидов вероятность их встречи с Землей P рассчитывалась по Эпику-Уипплу [5]:

$$P = \frac{\tau^2}{\pi a^2 \sin i} \cdot \sqrt{\frac{3 - a^{-1} - 2\sqrt{p} \cos i}{2 - a^{-1} - p}},$$

где $\tau = \frac{6,378 \cdot 10^{-8}}{1,496} \cdot \sqrt{\frac{3,13827 - a^{-1} - 2\sqrt{p} \cos i}{3 - a^{-1} - 2\sqrt{p} \cos i}} -$ (2)

радиус захвата Земли, остальные обозначения общепринятые.

Полученные вероятности для ААА – группы приведены в табл. 1 приложений.

Примечателен тот факт, что для всех атонцев и аполлонцев из табл. 1 порядок априорных вероятностей (2) встречи с Землей в среднем равен 10^{-9} , что на 5-6 порядков выше, чем у типичных представителей астероидов главного пояса. Более того, для первой десятки аполлонцев из табл. 1 приложений порядок вероятности встречи с Землей составляет $10^{-6}-10^{-7}$, что уже примерно в сто миллионов раз больше типичных значений для тел главного пояса.

Абсолютным рекордсменом по вероятности встречи с Землей, как следует из табл. 1, оказался аполлонец 1991 VG. Характерная деталь: практически все атонцы и аполлонцы из табл. 1 и 2 приложений открыты в конце 80-х и в 90-е гг. XX в.

Исключения составляют лишь около трех десятков тел вроде 1937UB и ряд других, имеющих имена собственные.

Что касается сближения орбит ААА-астероидов с земной, то здесь имеем результаты, которые приводятся в табл. 2 приложений.

Анализ табл. 2 приложений свидетельствует, что атонцы и аполлонцы имеют устойчивую тенденцию к сближению с земной орбитой, причем приходят они из заключенных внутри земной орбиты областей космического пространства (это следует из критериев отбора малых тел в ААА-группу по орбитальным параметрам). При этом характерным является результат для 1993VB, минимальное расстояние от орбиты которого до орбиты Земли составляет менее 6 тыс. км.

Существует ли связь между результатами, приведенными в табл. 1 и 2 приложений? Ответ на этот вопрос требует дальнейшего глубокого изучения с применением методов регрессионного анализа, которое на данный момент не проводилось, если не считать уравнений эмпирической регрессии, полученных для групп Атона и Аполлона. Регрессионная кривая для группы Атона представлена на рис. 2.

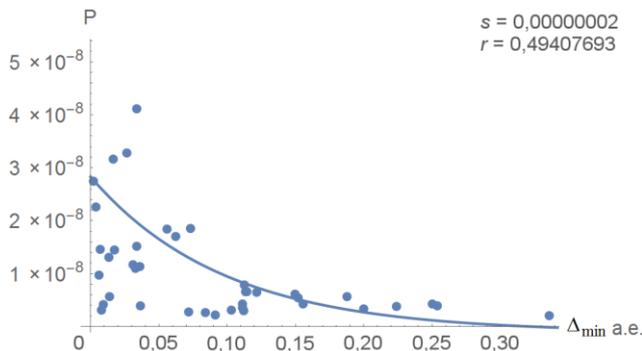


Рис. 2. Зависимость $P(\Delta_{\min})$ для группы Атона

Уравнение регрессии для изображенной на рис. 2 зависимости имеет вид

$$P(\Delta_{\min}) = -2,94 \cdot 10^{-8} (0,037 - \exp(-10,24 \cdot \Delta_{\min})). \quad (3)$$

Для группы Аполлона коэффициент корреляции r зависимости $P(\Delta_{\min})$ является меньшим (рис. 3).

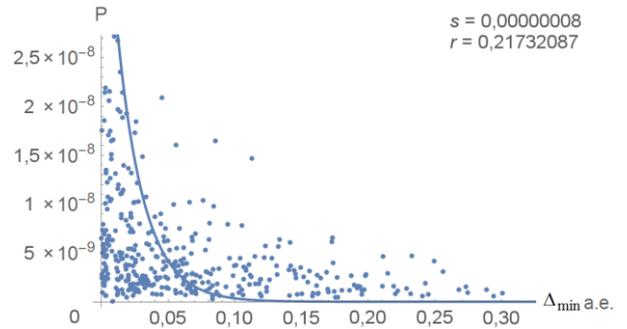


Рис. 3. Зависимость $P(\Delta_{\min})$ для группы Аполлона

Кривая регрессии для аполлонцев выражается уравнением

$$P(\Delta_{\min}) = 5,00872 \cdot 10^{-8} \exp(-49,75680 \cdot \Delta_{\min}). \quad (4)$$

Из рис. 2 и 3 следует, что, несмотря на умеренные коэффициенты корреляции r , можно все же утверждать, что связь, хотя и не жестко детерминированная, между сближением орбит ААА-астероида и Земли и вероятностью их встречи все же существует и в целом вероятность встречи быстро убывает с увеличением минимального межорбитального расстояния.

Из табл. 1 и 2 приложения легко сделать вывод о том, что аполлонцы превосходят атонцев по уровню потенциальной угрозы для Земли по обоим показателям (вероятность встречи и сближение с земной орбитой). Так, абсолютным лидером в ААА-группе БД по вероятности столкновения с Землей является астероид 1991VG из группы Аполлона, а по сближению с орбитой Земли – опять-таки аполлонец 1993VB. Если, например, взять десятку лидеров из групп Атона и Аполлона в каждой из табл. 1 и 2 приложений, то легко убедиться, что аполлонцы куда более "свободны" в смысле наблюдаемых вариаций вероятностей и минимальных расстояний до земной орбиты. Так, в первой десятке аполлонцев вероятности столкновения с Землей меняются примерно в 14,5 раза против 2,5 у атонцев, а минимальные расстояния между орбитами Земли и астероидов в первой десятке аполлонцев меняются примерно в 750 раз против 70 в первой десятке атонцев. Возможно, в какой-то мере это объясняется тем, что в анализируемой БД на одного атонца приходится более восьми аполлонцев.

Астероиды группы Амура (418 тел), имеющие тенденцию к сближению с земной орбитой с ее внешней стороны, на данный момент в вышеизложенном контексте не исследовались.

Результаты расчетов для первой тысячи астероидов главного пояса

Астероиды главного пояса, орбиты которых располагаются главным образом между орбитами Марса и Юпитера, просчитывались в основном на предмет попарного сближения их орбит с целью наглядной иллюстрации некоторых ранее высказанных, но не подтвержденных массовыми вычислениями предположений. На момент подготовки рукописи на предмет взаимного сближения пар эллиптических орбит просчитана первая тысяча астероидов из БД. Это равносильно применению метода Галле 499500 раз [4], что в эквиваленте машинного времени равно 98,7 ч.

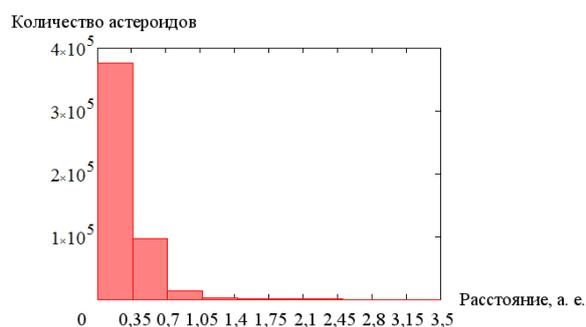


Рис. 4. Распределение межорбитальных минимальных расстояний в главном поясе астероидов

При этом было установлено, что более чем в 70% случаев минимальные расстояния между парами первой тысячи орбит БД находятся в интервале 0-0,37 а. е. (рис. 4). По виду гистограммы (рис. 4) напрашивается вывод об экспоненциальном законе распределения минимальных межорбитальных расстояний в главном поясе. Однако выборку в 1000 астероидов из 58651 едва ли можно считать статистически значимой для обеспечения должной надежности такого вывода, особенно с учетом неполноты нашей версии БД. Если учесть,

что среднее геоцентрическое расстояние до Луны равно примерно 0,003 а. е., то может возникнуть мысль о том, что первая тысяча тел из БД в пространстве между Марсом и Юпитером (~3,7 а. е.) распределена довольно свободно. Но если учесть, что орбита, например, астероида Аполлония пересекается с орбитами еще 15 астероидов из первой тысячи БД (Химера, Мехтильд, Филлипина, Нестор, Агат, Суламитис, Хедда, Помона, Фредерик, Ортруд, Испания,

Будда, Гипподамия, Офелия, Ромильда), а также имеют взаимные пересечения орбиты астероидов Вундтия и Фтия, Нестор и Элла, Дидо и Барселона, Фредерик и Элла, Лундия и Фтия, Ангелина и Элла, Амаласунта и Элла, Адольфина и Халаве, а также Манто и Фтия, Фтия и Сьюзи, то становится понятным, что первое впечатление обманчиво. Есть среди первой тысячи астероидов из БД и тесные сближения. Например, орбиты Хапаг и Биржит сближаются между собой на 0,0000714 а. е., что почти в 36 раз меньше среднего геоцентрического расстояния Земля – Луна.

Детальное изложение результатов заняло бы слишком много места, но в общем напрашивается вывод о том, что сближение пар астероидных орбит и даже их пересечение – достаточно заурядное явление в главном поясе, которое может способствовать постоянной интенсивной фрагментации малых тел.

Орбитальные параметры пар астероидов главного пояса из [7], на близость орбитальных параметров которых обратили внимание еще около двухсот лет назад (π – долгота перигелия, остальные обозначения общепринятые), приводятся в первых пяти колонках табл. 3.

В прошлом высказывалось предположение, что в указанных парах должно иметь место тесное сближение орбит, поскольку орбитальные параметры их весьма близки, хотя сближения пар орбит в пространстве могут давать и два совершенно не похо-

жих друг на друга набора орбитальных параметров. Результаты расчета минимального расстояния между парами орбит и квазистационарных параметров (1) приведены в табл. 3 в соответствующих колонках Δ_{\min} , μ и ν .

Из анализа полученной табл. 3 повторно напрашивается сделанный ранее вывод о "тесноте" в главном поясе.

Таблица 3

Исследование взаимного сближения орбит и близости квазистационарных параметров астероидов на основании параметров орбит [7]

Астероид	Ω , град	i , град	a , а.е.	e	π , град	Δ_{\min}	μ	ν
Фидес	8,1	3,1	2,641	0,178	67	0,00138	1,598	0,0123
Майя	8,3	3,1	2,645	0,175	49		1,600	0,0118
Клингтя	7,6	2,4	2,665	0,043	61	0,0113	1,630	0,00073
Уна	9,3	3,8	2,728	0,066	56		1,644	0,00178
Эгина	11	2,1	2,589	0,106	82	0,0870	1,600	0,00448
Кларисса	7,9	3,4	2,421	0,115	59	0,0100	1,538	0,00494
Эмилия	135,1	6,1	3,11	0,1	117		1,739	0,00492
Хризенс	137,8	8,8	3,072	0,101	133	0,0327	1,724	0,00360
Херсилия	145,4	3,8	2,74	0,041	86		1,650	0,000594
Бавария	142,4	4,9	2,726	0,061	258	0,0306	1,641	0,0118
Клоринда	144,8	9	2,339	0,082	78		1,506	0,00246
Нефтис	142,2	10	2,353	0,023	258	0,0250	1,510	0,000227
Цирцея	184,9	5,5	2,685	0,109	150		1,622	0,00459
Паликсо	182,3	4,4	2,745	0,029	298	0,00285	1,6518	0,000616
Адрастея	181,7	6,1	2,976	0,227	27		1,669	0,0208
Ненетта	182,7	6,7	2,875	0,205	9	0,28865	1,648	0,0167
Виктория	235,6	8,4	2,334	0,219	302		1,475	0,0182
Амалия	234,1	8,1	2,359	0,221	289	0,0131	1,682	0,0124
Лахезис	342,6	7	3,116	0,061	221		1,748	0,00153
Жозефина	345,2	6,9	3,12	0,064	59		1,750	0,00198

Значения Δ_{\min} , приведенные в табл. 3, даже на примере произвольно отобранных в прошлом двух десятков астероидов говорят сами за себя. В самом деле, орбиты практически каждой из десяти пар (Виктория-Амалия в меньшей степени) находятся в непосредственной близости, если учесть, что эти 20 астероидов рассредоточены в пространстве между Марсом и Юпитером (~3,5 а. е.). Причем две пары из десяти, по всей видимости, являются "близкими родственниками" с высокой вероятностью наличия в прошлом ОРТ, поскольку относительное изменение их квазистационарных параметров существенно меньше 10%. Пары Виктория-Амалия и Адрастея-Ненетта, вероятнее всего, в прошлом ОРТ не имели, несмотря на весьма тесное сбли-

жение орбит Адрастеи и Ненетты. Родство остальных шести пар не исключается, хотя здесь случаи не столь обнадеживающие. Дело в том, что значения параметра μ подтверждают, а значения ν отрицают наличие ОРТ у этих пар в прошлом. Даже на примере этой крайне малочисленной выборки факты наличия ОРТ у некоторых пар можно рассматривать как косвенное подтверждение правомерности утверждения о том, что главный пояс постоянно находится в процессе столкновений.

Вероятности (2) для первой тысячи астероидов главного пояса по понятным причинам не рассчитывались.

Особенности программной реализации задачи

Для проведения исследования и получе-

ния массива результатов, приведенных в табл. 1 и 2, в среде Microsoft Visual Studio 2010 было разработано соответствующее программное обеспечение.

Первоначально оно было создано исключительно на языке Visual Basic 2010. Расчетная часть была многократно оптимизирована и распараллелена с целью достижения максимальной производительности на современных персональных компьютерах. Несколько позже расчетная часть была переписана на Visual C++ 2010 и вынесена в отдельную подпрограмму для достижения максимальной производительности. В итоге производительность по сравнению с версией, написанной в Visual Basic, возросла более чем в четыре раза.

Для расчетной подпрограммы (написанной на C++) также была скомпилирована специальная версия, оптимизированная под архитектуру современных процессоров AVX (Advanced Vector Extensions), начиная со второго поколения процессоров Intel Core, Sandy Bridge (рис. 5). Таким образом удалось получить дополнительный прирост производительности на современных процессорах еще на 16% (с 2,5 до 2,1 с для одной пары орбит).

Однако даже после всех указанных мер при организации массовых расчетов для первой тысячи астероидов БД (499500 неупорядоченных пар) потребовалось, как уже отмечалось, без малого 100 ч машинного времени (98 ч 42 мин). Полученные в ходе расчетов результаты сохраняются в структурированной специальным образом базе данных. При этом выяснилось, что при росте внутренней базы до 500500 записей 32-битная версия программы не может выделить достаточно оперативной памяти для загрузки БД, потому что в момент пиковой загрузки требуется более 3 Гб оперативной памяти. 64-битная версия программы успешно справляется с этой задачей при условии достаточного объема оперативной памяти на персональном компьютере.

По окончании расчета программа выводит диаграмму распределения минимальных расстояний для указанного набора ор-

бит (рис. 4), а также сортирует полученные результаты в файле по возрастанию минимального расстояния между парой орбит.

Процесс программы запускается с низким приоритетом, при выполнении расчетов можно использовать ПК как обычно, без сильных торможений и подвисаний других программ (фоновый режим) при условии достаточного количества оперативной памяти.

При желании программу можно свернуть в системный трей и убрать окно программы с экрана.

Что касается системных требований для случая массовых вычислений по всей базе данных Центра малых планет, то они включают:

- не менее 4 Гб ОЗУ;
- не менее 1 Гб свободного места на жестком диске;
- ОС Windows XP/7/8 64 bit;
- Microsoft .NET Framework 4.5.

Рекомендуемые системные требования для выполнения массовых расчетов дополнительно включают наличие многоядерного процессора Intel Core второго поколения и старше с поддержкой архитектуры AVX с системой охлаждения, которая способна эффективно охлаждать процессор со стопроцентной загрузкой в течение продолжительного времени.

О полноте полученных результатов

Из полученных уравнений зависимости $P(\Delta_{\min})$ для групп Атона и Аполлона следует, что коэффициент корреляции между сближением астероида с земной орбитой и их встречей для группы Атона является значительно большим, чем таковой для группы Аполлона.

Вместе с тем из полученных результатов также следует, что незначительный коэффициент корреляции r в обоих случаях (Аполлон и Атон) наводит на мысль о том, что связь между минимальным межорбитальным расстоянием Земля-астероид и их встречей отсутствует.

Авторы отдают себе отчет в ограниченности и, возможно, некоторой неполноте полученных на основе (2) результатов. Так, (2) применимо в случаях не слишком малого наклона орбиты астероида ($i > 5^\circ$) и перигелия ($q > 0,95$). К тому же при вычислении вероятностей (2) не учитывались условия встречи астероида с Землей, из которых может, вообще говоря, следовать до восьми сближений с Землей за один оборот линии апсид [5]. Подобная расстановка акцентов часто многое меняет в априорных оценках вероятности встречи астероида с Землей. Поэтому для уточнения полученных результатов необходимы исследования с построением характеристического уравнения для отдельно взятого малого тела.

Для первой тысячи астероидов главного пояса были рассчитаны минимальные межорбитальные расстояния астероид-астероид. На основании полученных результатов можно сказать, что, несмотря на расположение астероидов в относительно широком торе ($\sim 3,5$ а. е.), минимальные межорбитальные расстояния большинства из них (70%) составляют менее 0,37 а. е.

Список использованной литературы

1. Дегтярев А. В. Ракетная техника. Проблемы и перспективы. Избранные научно-технические публикации // Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2014. – С. 314-322.
2. Катлер Э. Х. О возможности практического использования близких к Земле астероидов // *Астрономический вестник*. – Т. 26. – № 4. – 1992.
3. Крамер Е. Н. Кометные радианты и связь метеоритных потоков с кометами // *Известия астрономической обсерватории ОГУ*. – Киев: Изд-во КГУ, 1953.

4. Усиченко В. И., Крюков А. В. К задаче о расстояниях между парами эллиптических орбит // *Вісн. Дн-вського ун-ту. Сер. РКТ*. – Т. 22. – Вип. 17. – № 4. – 2014.

5. Шестака І. С. Походження, еволюція і генетичні зв'язки малих тіл Сонячної системи та їх комплексів: Дис. док-ра фіз.-мат. наук. – К., 1993.

6. Усиченко В. І. Небесно-механічний аналіз непояснених спостережень 1768-1865 років. – Дніпропетровськ: Препрінт, 2011.

7. Литровъ І. І. Тайны неба. – Санкт-Петербург: АО "Брокгаузъ-Ефронъ", 1904.

Статья поступила 19.01.2017

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Априорные вероятности сближения с Землей для групп Атона и Аполлона

Имя	Вероятность	Имя	Вероятность
<i>Группа Атона</i>		1994 GV	1,07101874336254E-07
1989 UQ	9,94323067043384E-08	1998 BT13	1,03455158667893E-07
1994 GL	7,39859890656598E-08	1999 NW2	9,97113695768387E-08
1998 SD9	6,27771168341106E-08	1998 SF36	7,59153415025873E-08
1993 DA	4,11777261311315E-08	1997 YM9	6,54871315707233E-08
1996 BG1	3,27658681427514E-08	1999 MN	6,20296985036056E-08
1993 VD	3,16479058076346E-08	2000 AG6	6,18582051699389E-08
1994 WR12	2,74640067771316E-08	Nereus	5,93075503390806E-08
1998 HE3	2,26317369718407E-08	1994 EU	5,42278098775734E-08
1998 TU3	1,85376336488908E-08	1999 TV16	5,08801000542345E-08
1998 XN17	1,84555487304997E-08	1994 CN2	4,93286838784547E-08
1992 BF	1,70168701057934E-08	Toutatis	4,15173627942090E-08
1992 FE	1,51400875618395E-08	1999 YR14	4,07600613432296E-08
Hathor	1,45967786824452E-08	1999 VW25	3,85557320441836E-08
1997 NC1	1,45160057551692E-08	1999 JU3	3,76758725341707E-08
1995 CR	1,30280523903706E-08	1990 OS	3,56208576680003E-08
1954 XA	1,16897710543805E-08	1998 VD32	3,54848540465725E-08
1994 XL1	1,13695456590152E-08	2000 AC6	3,38471582393557E-08
1998 HD14	1,10109042218974E-08	1999 NB5	3,26921834039214E-08
1996 XZ12	9,71210115074186E-09	1996 FG3	3,22480888496607E-08
Aten	7,91767453271067E-09	2000 AF6	3,08862385478528E-08
1998 XB	6,63016194535490E-09	1999 RA32	3,06327618748615E-08
1997 MW1	6,53557573167184E-09	1999 GK4	2,90680680864191E-08
1990 VA	6,48270813541326E-09	1990 MF	2,88060609548244E-08
Ra-Shalom	6,07158439464069E-09	1991 JW	2,87451208236775E-08
1998 DG16	5,71633879298312E-09	1994 ES1	2,81254789216389E-08
Khufu	5,71494281211538E-09	1999 SH10	2,71547064642577E-08
1998 VR	5,41567481040446E-09	1990 UA	2,67476462780445E-08
1998 XE12	4,31389867996486E-09	Orpheus	2,35230455915050E-08
Amun	4,24335830236977E-09	1999 RQ36	2,19269554856807E-08
1989 VA	4,21501872220141E-09	1989 UP	2,15642362357712E-08
1998 ST27	4,10459400414339E-09	1998 WD31	2,14641551407404E-08
1994 TF2	3,97408812689462E-09	1995 FF	2,14080143958309E-08
1998 VF32	3,86576750131935E-09	1998 HL3	2,08853477285013E-08
1997 UH9	3,75421052441240E-09	1999 AQ10	2,05748679802551E-08
1998 SD15	3,52204231752021E-09	1998 SH36	1,96915047778483E-08
1998 SO	3,37160264520594E-09	1994 UG	1,94747831483225E-08
1997 AC11	3,14756422548775E-09	1999 GS6	1,92695944061030E-08
1998 SZ27	3,05834467869195E-09	1998 HM1	1,88452571881074E-08
Sekhmet	2,97689728742327E-09	1999 DB7	1,85770644544765E-08
Cruithne	2,81188519321515E-09	1991 VH	1,84715808198921E-08
1998 UP1	2,65767728973673E-09	1997 XR2	1,75671004397751E-08
1998 RO1	2,14393150206406E-09	1999 FA	1,74692258431201E-08
1998 SV4	2,00844168407064E-09	1996 FT1	1,73188702073101E-08
<i>Группа Аполлона</i>		1999 CQ2	1,70961159812408E-08
1991 VG	1,45246333616427E-06	1998 XN2	1,65890024019379E-08
1999 VX25	4,22647593623126E-07	1992 JB	1,64677062152827E-08
1999 CG9	3,40479105736624E-07	2000 AA6	1,64520197532298E-08
1998 KY26	2,62131187437534E-07	1994 CB	1,60809373543563E-08
1998 MZ	2,16487431596006E-07	1997 CD17	1,50800067974610E-08
1997 TC25	1,55444912827432E-07	1999 JV6	1,48776929455603E-08
1997 WB21	1,24456485990597E-07	1999 SK10	1,46825044783485E-08
1999 SF10	1,24386376144094E-07	1999 FR5	1,45940967754184E-08
1999 FQ10	1,13378077587959E-07	1994 CC	1,39819914150594E-08

Имя	Вероятность
1991 BN	1,36889007090170E-08
Asclepius	1,35020139334716E-08
1998 FG2	1,32058556419625E-08
1998 DV9	1,31840774936226E-08
1997 WQ23	1,31189757027247E-08
1988 TA	1,26576856841678E-08
1991 TU	1,22453102709193E-08
Minos	1,21872146136612E-08
1998 FH12	1,19745743236997E-08
Adonis	1,15728868009454E-08
2000 AB6	1,14288189340608E-08
1998 MV5	1,11761481451281E-08
1997 XE10	1,11147309082308E-08
1999 UR	1,10661886438548E-08
1998 WT	1,07516093137012E-08
1996 AJ1	1,07194894504494E-08
1991 VA	1,05166116476071E-08
1998 MW5	1,03908260736501E-08
1988 XB	1,03130760272073E-08
1998 VO	1,02640613580666E-08
1993 PC	1,02021376190472E-08
1988 EG	1,01940763040846E-08
1996 AP1	1,01128793021762E-08
1994 VH8	1,01029450891988E-08
1995 DV1	9,97490661425271E-09
1999 KL1	9,77315196379534E-09
1993 UA	9,46198533634172E-09
1996 VB3	9,04881609798156E-09
1990 UQ	9,02724804910984E-09
1998 ML14	8,95106859472478E-09
1996 TD9	8,72729422882059E-09
1989 DA	8,72231188283128E-09
1998 WZ1	8,61698425771499E-09
1998 WB2	8,59524699800815E-09
1998 KN3	8,35913120439031E-09
1998 HK49	8,05860141568841E-09
1991 XA	8,01221310883216E-09
1999 LK1	7,99299369268644E-09
1997 XF11	7,91541521011887E-09
1999 VP6	7,91140006603579E-09
1998 FL5	7,83333511248218E-09
1999 VV25	7,79618539062185E-09
1999 VT25	7,50144343693773E-09
1999 LT7	7,49745442070252E-09
1999 TT16	7,43756090170695E-09
1998 QA1	7,33706295546678E-09
1991 BA	7,32743528247462E-09
1998 DX11	7,27962086617998E-09
1992 DU	7,19893785984226E-09
1983 LC	7,16152285675965E-09
1990 UN	7,15299928389622E-09
1999 VF22	7,05331929418729E-09
1999 FK21	6,98261885379165E-09
1998 OX4	6,92500569519251E-09
1986 JK	6,71940415235120E-09
1998 YM4	6,70059918057752E-09
Bacchus	6,61650811512030E-09

Имя	Вероятность
Xanthus	6,57548001494810E-09
1993 VB	6,50662734631533E-09
1993 VA	6,38879598825383E-09
1993 HP1	6,37772804722713E-09
1995 FO	6,36589115611371E-09
1998 QK28	6,32476203163012E-09
1993 EA	6,31075253083994E-09
1997 US2	6,29276783180676E-09
1999 LS7	6,26018890630608E-09
1993 HC	6,24242651132357E-09
1991 VK	6,19869704825643E-09
1999 KV4	6,12811916042037E-09
1996 AW1	6,06416443638346E-09
1993 GD	6,06358355205972E-09
1998 SY14	5,97445248028633E-09
1989 UR	5,94102755579656E-09
1997 UA11	5,91914749640018E-09
1998 UT18	5,83142794150421E-09
1998 BY7	5,79449350417988E-09
1993 TZ	5,78789410894486E-09
1995 CS	5,74683528982392E-09
1998 VE31	5,72974650043464E-09
1992 QN	5,67515580546249E-09
1998 EP4	5,52377941754087E-09
1998 YN1	5,47305203205174E-09
Castalia	5,44620507458776E-09
1991 CS	5,39400971473207E-09
1996 SK	5,36533108736018E-09
1991 DG	5,33711312649783E-09
Oljato	5,33293425174124E-09
Camillo	5,32116845269831E-09
1996 RG3	5,32085680876641E-09
1998 VN	5,31260330393131E-09
1999 DJ4	5,27817296041568E-09
1993 KH	5,17214131090985E-09
1997 TZ16	5,15251995882026E-09
1999 KW4	5,08984139549529E-09
1995 YR1	5,02425861199082E-09
1994 XM1	5,01060511265870E-09
1996 MO	4,92449601833998E-09
Mithra	4,86453679135409E-09
Pan	4,83234674929201E-09
1995 UB	4,75055370187153E-09
1996 GF17	4,72269305582228E-09
1999 XK136	4,69208962392459E-09
1998 VD35	4,68325818382715E-09
1986 PA	4,68057842375386E-09
1997 BR	4,66825600401379E-09
1998 FL3	4,66162578745324E-09
1999 MM	4,65937824095424E-09
1999 YK5	4,63534795880995E-09
1998 QR52	4,61279376265167E-09
1998 KM3	4,57937000364542E-09
1994 RC	4,56202539845600E-09
1999 TN13	4,53779900999856E-09
1999 VS6	4,53357522661973E-09
1992 BC	4,47225015594638E-09

Имя	Вероятность
1998 UY24	4,45712428332932E-09
1997 CZ3	4,43918094068406E-09
Geographos	4,43183633446530E-09
1978 CA	4,40319347496815E-09
1999 AM10	4,39496088075798E-09
1998 SH2	4,30738961175658E-09
Apollo	4,26677962867112E-09
1999 FJ21	4,23307454293239E-09
Toro	4,16896995087525E-09
1997 US9	4,16554136672626E-09
1998 EE3	4,15509283386204E-09
1998 BZ7	4,10257489247910E-09
1992 SK	4,07812549242315E-09
Ptah	4,02154161427949E-09
1999 HF1	4,00177243011756E-09
1994 CK1	3,94156637723906E-09
1993 KA2	3,91725152029214E-09
1993 VW	3,84831470346690E-09
1999 XN141	3,83883590767739E-09
1991 AQ	3,79849025356304E-09
1997 AP10	3,78744472537659E-09
1993 BW2	3,77133307625530E-09
1999 CF9	3,74297978028913E-09
1995 DW1	3,71181470607127E-09
1998 BB10	3,70518036351386E-09
1999 LW1	3,69410897443922E-09
1997 GD32	3,66890291104589E-09
1998 YW5	3,66467431468059E-09
1999 CV8	3,65683390933912E-09
1999 JD6	3,64650547844586E-09
1999 JA11	3,55455542287745E-09
1998 HH49	3,54285771565701E-09
1990 SP	3,54035849570992E-09
1995 FJ	3,51381719904741E-09
1999 RJ27	3,46470207592363E-09
1996 JG	3,45274105005577E-09
1999 RK45	3,40465261942274E-09
1997 BQ	3,40094630501459E-09
1998 SA15	3,34461269580600E-09
1998 CS1	3,33053725916363E-09
1999 LD6	3,32415375123008E-09
1994 GK	3,26763298566691E-09
1991 TB1	3,26272783563071E-09
1998 FG12	3,20446604149685E-09
1999 VU	3,20365195312954E-09
1996 GD1	3,15776245044671E-09
1998 FW4	3,14174104396961E-09
Cerberus	3,12138276929406E-09
1990 HA	3,10917519123319E-09
1999 NC43	3,09594703055824E-09
1991 TF3	3,08263512737980E-09
1989 AZ	3,07607115279014E-09
1999 TL12	3,07167903284149E-09
1998 WM	3,03708373519034E-09
Eger	3,03364860714310E-09
1998 OK1	3,01916264900761E-09
1998 SU27	2,93868542239688E-09

Имя	Вероятность
1999 HD1	2,88304509189722E-09
1999 JV3	2,87387239727382E-09
Izhdubar	2,86937916994046E-09
1937 UB	2,82223592094098E-09
1987 OA	2,81979235340867E-09
1999 FB	2,80913122909270E-09
1998 SC15	2,80480263355418E-09
1999 HZ1	2,77608796121825E-09
1999 BJ8	2,76636289217858E-09
1994 XG	2,76632878942946E-09
1994 XD	2,74454066989276E-09
1997 GC32	2,74378627484937E-09
1998 KK17	2,73897061798959E-09
1991 BB	2,70397547436731E-09
1999 GL4	2,68883400476198E-09
1994 EK	2,67091414879085E-09
1997 AQ18	2,66475763439413E-09
1993 XN2	2,66462774440489E-09
1996 TY11	2,64980473062289E-09
1996 BT	2,63849724972131E-09
1998 BR26	2,61237635756545E-09
1999 FN53	2,58619379733144E-09
Cuno	2,57051695532674E-09
1999 SM5	2,55877703301328E-09
1997 EH29	2,54788690167484E-09
Jason	2,54153243260144E-09
1999 XM141	2,53786670993249E-09
1999 VP11	2,52868191862644E-09
1998 QK56	2,52116514499669E-09
1999 JT6	2,50905183021324E-09
1950 DA	2,48985786270982E-09
1989 JA	2,48755364598301E-09
1999 RR28	2,47868466401667E-09
1999 ED5	2,47178276799415E-09
1998 LE	2,46658749395588E-09
1999 CU3	2,46259124056450E-09
Tantalus	2,46077658621488E-09
1994 PC1	2,46044502930808E-09
1997 WU22	2,44013509871628E-09
1999 FP19	2,41630237246776E-09
1998 FF14	2,35694337368977E-09
1998 KJ9	2,35471481977088E-09
1999 OR3	2,32097934986055E-09
1998 QP	2,32043905865641E-09
1999 CV3	2,31936764266532E-09
1998 XM4	2,29997212005330E-09
1998 OH	2,28324280094258E-09
1998 SL36	2,28055898315390E-09
1992 HF	2,26636447041453E-09
1998 HJ3	2,24016992401126E-09
1999 YG3	2,23728762044204E-09
1996 EO	2,23274503934790E-09
1998 WP7	2,22881917748908E-09
1999 TO13	2,20735542329344E-09
1998 QC1	2,13255156144466E-09
1999 XL136	2,10240912243820E-09
1999 JM8	2,09102530815325E-09

Имя	Вероятность
1999 SJ10	2,07004864520349E-09
1998 XD12	2,04843124942235E-09
1998 VO33	2,03211353993628E-09
1996 TP6	2,02977234169284E-09
1998 WZ6	2,00386855648318E-09
1994 LX	1,99470095106039E-09
1990 SS	1,98450653480361E-09
1998 QH2	1,95676790210582E-09
1998 YW3	1,93187083598163E-09
1999 RM45	1,90632628825412E-09
1996 XW1	1,89977472873628E-09
1998 HT31	1,84614151341259E-09
1992 CC1	1,84372873297226E-09
1991 EE	1,83084341251944E-09
1999 TC10	1,82797561238256E-09
1998 HL49	1,82020126977632E-09
1999 LX1	1,81737501070401E-09
1991 GO	1,81622921583392E-09
1998 SJ70	1,78765918134428E-09
Heracles	1,78708801956983E-09
1991 RB	1,78220533409352E-09
Icarus	1,76883082935416E-09
1991 TB2	1,75912627607547E-09
1998 SU4	1,75794265928229E-09
1997 GL3	1,74686342677578E-09
1995 BL2	1,74593950733804E-09
Talos	1,73351391096971E-09
1999 FR19	1,71058232140809E-09
1998 FR11	1,70697706825754E-09
1999 GY5	1,67865961089898E-09
1998 XS16	1,67680952615718E-09
1998 SS49	1,67219266101910E-09
1998 XR16	1,64877252810870E-09
1999 LU7	1,63374093524522E-09
1999 JZ10	1,62761364756470E-09
1999 JR6	1,61734345273410E-09
1999 CT8	1,58660767287207E-09
1991 CB1	1,57382140320158E-09
1996 XX14	1,56955129661218E-09
1992 TB	1,53613594468089E-09
1996 FR3	1,51025832489764E-09
Poseidon	1,50591289374061E-09
1999 HP11	1,47146466597917E-09
1999 RD32	1,47139575122170E-09
1999 TM12	1,47026699644562E-09
1999 VR6	1,46640145592010E-09
1996 EN	1,45866437579734E-09
Aristaeus	1,43295529646872E-09
1997 VG6	1,42399238496440E-09
1999 GT3	1,41532418962788E-09
1999 JE1	1,40999319786096E-09
1998 US18	1,39956417285322E-09
1990 TG1	1,37730040446083E-09
Phaethon	1,36961905942074E-09
Zeus	1,36668029938108E-09
1995 EK1	1,35359666652484E-09
1999 UM3	1,35138540891389E-09

Имя	Вероятность
1999 SL5	1,35004303095658E-09
1999 VV	1,34635827275593E-09
1999 JB	1,33335725678854E-09
1994 PM	1,32386125048687E-09
Ubasti	1,26749616430313E-09
Daedalus	1,26300468177069E-09
1999 VK12	1,26008282767638E-09
1992 HE	1,25325722743522E-09
1994 AH2	1,23856240833375E-09
1999 TX2	1,22684615694061E-09
1999 SG10	1,21146104162042E-09
Antinous	1,20497173417820E-09
1998 ST49	1,20336831686884E-09
1999 TC5	1,18142903235628E-09
1990 SM	1,17213075185624E-09
1990 UO	1,16745624260701E-09
1996 TC1	1,16335473556893E-09
1997 UF9	1,15634064997950E-09
1995 LG	1,1271777656566E-09
1999 VO11	1,11442008148613E-09
1999 VO6	1,09715059456491E-09
1998 QQ	1,05906948586216E-09
Hephaistos	1,05843476562896E-09
1998 DV20	1,04781544881770E-09
1999 GR6	1,02150096459738E-09
1999 TY2	1,00908682099453E-09
1982 TA	9,76166138154592E-10
1990 MU	9,68356736797421E-10
Sisyphus	9,55006848510827E-10
1990 BG	9,54916284445494E-10
1999 AN10	9,46363207370652E-10
1999 UZ5	9,27716271373017E-10
1998 VD31	9,21222735520844E-10
Epona	8,93509921970266E-10
1993 PB	8,89212584537257E-10
1999 GJ4	8,84602283501811E-10
1995 SA	8,77969252426917E-10
1998 UO1	8,65948924730169E-10
1998 XZ4	8,54557590079192E-10
1999 CW8	8,46017086740219E-10
1999 TW16	8,38434786720519E-10
1999 HA2	8,37730000220015E-10
1998 KH	8,35859081358977E-10
1998 WL4	8,24129194717040E-10
1994 NE	8,23738189922366E-10
1983 VA	8,05077956035242E-10
1994 RB	8,04795692159978E-10
1995 UO5	7,96294104439218E-10
1999 XA143	7,72167564588869E-10
1996 FS1	7,58209995604059E-10
1991 WA	7,51621804109503E-10
1999 TF5	7,49373245483189E-10
1991 AM	7,46504858860428E-10
1999 YC	7,41005054326803E-10
1991 LH	7,37928687207972E-10
Cadmus	7,27006431750291E-10
Orthos	7,00270028802509E-10

Имя	Вероятность
1998 QS52	6,99494374806367E-10
1999 WC2	6,83285773255617E-10
1993 UC	6,53598794785251E-10
Midas	6,46313794136712E-10
1998 QA62	6,22628383086104E-10
1996 JA1	6,15037715144956E-10
1998 MT24	6,09460599612040E-10
1973 NA	6,05631995573260E-10
1998 FH74	5,90335773839020E-10
1995 OO	5,87482104160057E-10

Имя	Вероятность
1981 VA	5,62014234325769E-10
1974 MA	5,54189334059282E-10
1979 XB	4,76726549546894E-10
1999 OW3	4,56376866531969E-10
1997 MS	4,49179959703297E-10
1984 QY1	4,43462016588752E-10
1998 SO10	3,69266677973637E-10
1998 KO3	2,91977987343126E-10
1999 XS35	6,06004865122219E-11

Таблица 2

Минимальные расстояния между орбитами ААА–астероидов и орбитой Земли, а. е.

Имя	Расстояние
<i>Группа Атона</i>	
1994 WR12	0,002056903
1998 HE3	0,00383689
1996 XZ12	0,00610318
Hathor	0,007269719
1998 SZ27	0,008167726
1998 ST27	0,009548685
1998 SD9	0,009795676
1994 GL	0,012158283
1995 CR	0,013226665
Khufu	0,013879723
1989 UQ	0,013907147
1993 VD	0,016774967
1997 NC1	0,017488291
1996 BG1	0,026601326
1954 XA	0,031216001
1998 HD14	0,03282461
1993 DA	0,033867373
1992 FE	0,033963546
1994 XL1	0,035896459
1998 VF32	0,036565829
1998 XN17	0,056158585
1992 BF	0,062376032
Cruithne	0,071802115
1998 TU3	0,073108153
1998 UP1	0,084283108
1998 RO1	0,091452839
1997 AC11	0,103128896
1998 SD15	0,111224033
1998 XE12	0,111257728
Sekhmet	0,112299036
Aten	0,112369247
1997 MW1	0,11343543
1998 XB	0,114336226
1990 VA	0,121473726
Ra-Shalom	0,149667137
1998 VR	0,152146049
1989 VA	0,155649014
1998 DG16	0,187716285
1998 SO	0,199997385
1997 UH9	0,22380625
Amun	0,250126369

Имя	Расстояние
1994 TF2	0,254025898
1998 SV4	0,335941323
<i>Группа Аполлона</i>	
1993 VB	0,0000400942
1997 XR2	0,000312641
1994 GV	0,000315057
1999 JU3	0,000333573
1998 SC15	0,000418756
1994 PC1	0,000496653
1994 XM1	0,000657193
1991 BA	0,000727134
1994 ES1	0,00075471
1999 AN10	0,000869708
1999 RM45	0,000957464
1997 XF11	0,001118209
1995 CS	0,001293955
1997 TC25	0,001321584
1999 VP11	0,001323019
1998 MZ	0,001376834
1997 UA11	0,001393467
1993 KH	0,001483208
1998 FW4	0,001518707
Oljato	0,001772134
1993 KA2	0,001875028
1999 DB7	0,001877513
1997 GL3	0,001911367
1998 OX4	0,001938047
1999 MM	0,002004188
1998 SS49	0,00222038
1995 FF	0,002302681
1996 RG3	0,002360237
1998 KY26	0,002616486
1999 XL136	0,002617592
1998 VD35	0,002670805
2000 AG6	0,002842679
1999 RQ36	0,002861877
1994 VH8	0,002883
1996 JA1	0,002944102
1999 JT6	0,003028484
Nereus	0,003083321
Asclepius	0,00318402
Midas	0,003313772

Имя	Расстояние
1996 SK	0,003399986
1998 QA1	0,003419445
1998 KM3	0,003456295
1998 SY14	0,003503554
1998 DV9	0,003533115
1994 GK	0,003559688
1998 HH49	0,003566931
1995 UB	0,003740159
1999 SF10	0,003883785
1993 KA	0,003902325
1991 VG	0,004094568
1993 UA	0,004254386
1991 TU	0,004305138
1993 HP1	0,004415189
1996 AJ1	0,004724975
1998 KJ9	0,004735813
1937 UB	0,004841387
1999 CQ2	0,005091428
1993 TZ	0,005364898
1986 JK	0,00536946
1993 EA	0,005382643
1999 AQ10	0,005397584
1999 MN	0,005974507
1997 US2	0,006015944
1989 UP	0,006015958
1999 VX25	0,006031675
Toutatis	0,006157966
1988 TA	0,006468708
1999 FA	0,006625338
1988 XB	0,006672814
1991 VA	0,007133063
1999 FR5	0,007191763
1999 YR14	0,007211513
1997 CD17	0,007280775
2000 AA6	0,007305258
1997 TZ16	0,007912586
1999 XS35	0,008318015
1998 QK28	0,00834591
1999 HC1	0,008580555
1998 XN2	0,008740668
1999 FQ10	0,009299205
1990 OS	0,009636734
1999 SH10	0,009698028
1998 DX11	0,010285094
1999 XK136	0,010354069
1997 WQ23	0,010469976
Aristaeus	0,010756196
1998 SH2	0,010811007
1997 QK1	0,010891962
1996 JG	0,011355625
1998 QP	0,011740955
1998 QS52	0,011853737
1998 SH36	0,012052608
1990 UA	0,012148757
1995 SA	0,012156426
1996 TC1	0,012180333
1998 SF36	0,012214091

Имя	Расстояние
Adonis	0,012234547
1990 HA	0,012298621
1998 EE3	0,01244491
1994 CN2	0,012527618
1998 HJ3	0,012677923
1998 FH12	0,012801535
1999 KW4	0,013378091
Orpheus	0,013812174
1999 NB5	0,014070717
1999 TV16	0,014121285
1994 UG	0,014150532
1999 SO5	0,014189711
1997 BR	0,014231028
1999 UR	0,014552338
1998 BT13	0,014568576
1998 ML14	0,014621892
1998 WB2	0,01487442
1998 BR26	0,014928382
1997 XE10	0,01497844
1999 RR28	0,015055451
1995 YR1	0,015081546
1998 MV5	0,015096365
1999 VK12	0,015420299
1998 UM1	0,015691174
1998 WD31	0,015749724
1999 FN19	0,015795385
1998 HM1	0,01580566
1978 CA	0,015838545
1994 NE	0,015988373
2000 AB6	0,016050129
Dionysus	0,016146633
1999 NW2	0,016412705
1992 JD	0,01645733
1994 CC	0,016576125
1989 VB	0,017028137
1990 MF	0,017315464
1997 UR	0,017556437
1997 GD32	0,017853189
1991 AQ	0,018270072
1998 QC1	0,018303451
1998 KN3	0,018307913
1998 CS1	0,018558394
1999 GS6	0,018726539
1979 XB	0,018851842
1986 PA	0,018977292
1998 SL36	0,019913031
1999 VV25	0,019922046
1994 XD	0,019988622
Castalia	0,020016539
1991 BN	0,02015519
1990 SM	0,020160938
1989 JA	0,020248716
1991 JW	0,020527218
1999 CF9	0,020660674
1999 GK4	0,021447722
1990 UN	0,021504079
Phaethon	0,021513741

Имя	Расстояние
1998 SU4	0,021542033
1996 VB3	0,021690838
1996 EN	0,02169651
1996 TD9	0,022051411
1999 TT16	0,022125
1998 FG2	0,022132699
1992 YD3	0,022334831
1994 PM	0,022399472
1996 GQ	0,022485968
1991 CS	0,022510278
1998 WZ1	0,022531442
1999 JE1	0,022892936
1999 TN13	0,022953343
1992 UY4	0,023196315
1998 BB10	0,023454074
2000 AF6	0,023535317
1999 CG9	0,023569684
1983 LC	0,02374823
1998 QA62	0,023767213
1991 GO	0,023840461
1996 AP1	0,023890132
1999 NC43	0,024091974
1999 LX1	0,024152853
1988 EG	0,024422689
1999 DJ4	0,02463467
1999 TY2	0,024914242
1996 FT1	0,024995825
1999 BJ8	0,025201952
Apollo	0,025253821
1993 FA1	0,025268617
1998 BY7	0,025356028
Ptah	0,025404028
1999 SL5	0,025465776
1991 VH	0,025925339
1999 GL4	0,026320928
Minos	0,026524296
1999 RJ33	0,026966915
1991 EE	0,027149242
1999 SG10	0,027311504
1998 VO	0,027494854
Pan	0,027800494
1990 MU	0,028198545
1999 LK1	0,028310987
1996 FG3	0,02849356
1998 OH	0,028915672
1999 YD	0,028968007
1999 JM8	0,029282469
1998 VD32	0,030002391
1997 YM9	0,03017566
1994 EU	0,030179651
1999 JV6	0,030713927
Geographos	0,030730534
1999 TO13	0,030820234
1994 EK	0,030833603
1998 HT31	0,030909296
1991 TT	0,031052442
1999 LT1	0,031222779

Имя	Расстояние
1994 CJ1	0,031226453
Cuno	0,031855178
1998 US18	0,032317437
1998 XD12	0,032358217
1999 XM141	0,032425255
Golevka	0,03244875
1996 BT	0,032737343
1998 WT	0,03329511
1989 UR	0,033866727
1996 EO	0,034109594
1998 SJ70	0,034239191
1998 WZ6	0,035114659
Icarus	0,035154433
1999 VF22	0,035178824
1999 FR19	0,035599081
1998 UT18	0,035750205
1982 XB	0,036691261
1997 BQ	0,037133472
1999 JZ10	0,037550006
1992 DU	0,037858941
1991 DG	0,037954202
1994 RB	0,038372873
1999 RK33	0,038773426
1991 RB	0,039241536
1989 DA	0,039825602
1996 GT	0,040067097
1998 OK1	0,040070999
1998 FL3	0,040638864
1950 DA	0,04090081
1999 XA143	0,04107219
1998 VS	0,041212669
1996 AW1	0,041597354
1994 RC	0,041807135
1998 HL1	0,041809965
1999 YG3	0,04186619
1994 FA	0,042132736
1999 VW25	0,043371036
Tantalus	0,043878488
1991 XA	0,044183111
1990 UQ	0,044285518
1999 TF5	0,044658697
1998 HL3	0,045076553
1999 RD32	0,045235871
1998 SA15	0,046098206
Mithra	0,046210666
1992 SK	0,046481581
1998 YM4	0,046484607
2000 AC6	0,046756659
1991 VK	0,047193862
1993 BX3	0,047771456
1999 SM5	0,047855237
1999 VT25	0,048032113
Wilson-Harrington	0,048097219
1999 JD6	0,048496714
1997 VG6	0,048594881
1999 VR6	0,048663383
1999 LS7	0,049582215

Имя	Расстояние
1998 FF14	0,049599608
1995 EK1	0,050123671
Togo	0,0502896
1998 VN	0,050780255
1997 WB21	0,050933756
1995 DV1	0,053879173
1999 XN141	0,053983958
1990 SP	0,05432453
1998 KD3	0,054678349
1998 ST49	0,055293256
1998 BZ7	0,055531307
1994 CB	0,055694916
1998 UO1	0,055745391
1989 AZ	0,055926572
1999 FN53	0,056212998
1998 YN1	0,056280682
1999 CV8	0,057478902
1999 RA32	0,057650891
1999 LT7	0,058548557
1998 VD31	0,059215831
1996 GD1	0,059418138
1999 FJ21	0,059540292
1998 KU2	0,059783313
1993 VW	0,061224641
Heracles	0,061256345
1998 EP4	0,061514366
1999 AM10	0,061589284
1999 OR3	0,06168369
1998 LE	0,061761242
1999 SJ10	0,061958905
1999 CU3	0,062103682
1999 WC2	0,062870835
1993 QA	0,063261142
1994 CK1	0,063565237
1994 XG	0,063953664
1999 UM3	0,064200219
1999 LF6	0,064461564
1999 GY5	0,064888215
1998 FR11	0,065577603
1993 PC	0,065884386
1999 TM12	0,066358553
1999 VO11	0,067096934
1996 MO	0,067305588
Bacchus	0,067529852
1999 UZ5	0,06755914
1999 JV3	0,067764725
1993 HC	0,067984796
1990 SS	0,06802345
1998 SU27	0,068322102
1999 AP10	0,068582413
1998 VO33	0,069705656
1998 DV20	0,070365555
1999 FK21	0,0704607
1997 GC32	0,070772614
Zeus	0,07077594
1998 KH	0,070909557
Jason	0,073673872

Имя	Расстояние
1998 QH2	0,07574165
1998 MW5	0,076128747
Camillo	0,077639886
1999 VO6	0,078102027
1991 TF3	0,078481409
Eger	0,078984058
1996 TP6	0,079951329
1993 VA	0,08030459
1998 HK49	0,0808577
1990 TG1	0,081000105
1987 OA	0,081648225
1999 LU7	0,083168708
1998 KO3	0,083266299
1973 NA	0,083355072
1999 LD6	0,083419218
1999 KL1	0,083903272
1992 JB	0,085144935
1982 TA	0,086390376
1998 HL49	0,086635392
1999 RK45	0,087847502
1993 UC	0,088498087
1996 PC1	0,088964764
1997 GK3	0,090146171
1996 FR3	0,093203126
1998 FM5	0,094169425
1999 VP6	0,094432603
1997 CZ3	0,096129654
Cadmus	0,098063778
1993 XN2	0,098407614
1999 LW1	0,099269993
1993 BW2	0,100928476
1992 SY	0,101556339
1996 XX14	0,102880083
Sisyphus	0,102923575
1992 BC	0,103691675
1994 AH2	0,105123019
1998 FL5	0,105270086
Orthos	0,105994166
1999 JA11	0,106282933
1998 XM4	0,106703573
1999 RJ27	0,107878324
1998 FG12	0,108192085
1997 AP10	0,11031389
1991 TB2	0,110936979
1991 BB	0,111270866
1998 QK56	0,112245031
1999 SK10	0,112820385
1999 YK5	0,11483467
1999 TC10	0,115466824
1992 CC1	0,118014761
1992 HF	0,118837368
1999 HA2	0,118955031
1999 CV3	0,119151243
1981 VA	0,11978816
1996 AE2	0,120782613
1999 VS6	0,122042089
1998 VE31	0,122717278

Имя	Расстояние
1999 HP11	0,123541909
Hephaistos	0,123766716
1998 WP7	0,125673125
1998 UY24	0,127843067
1998 YW5	0,131119281
1999 HZ1	0,131403608
1992 QN	0,132678193
1995 FO	0,133477114
1998 GC1	0,134589266
1991 TB1	0,140437795
1998 MT24	0,140687857
1993 GD	0,141431561
1995 DW1	0,141725153
1999 VU	0,144278856
Izhdubar	0,145439173
1997 WU22	0,145635646
1996 FS1	0,146517232
1995 FJ	0,149060885
1999 TW16	0,149951777
1997 EH29	0,151530185
1994 LX	0,154656052
Cerberus	0,156061832
1974 MA	0,158082445
1999 GJ4	0,15853881
1998 XR16	0,161051466
1998 KK17	0,161494448
1983 VA	0,16215502
Epona	0,162595332
1999 FP19	0,164324751
1998 WM	0,168655064
Ubasti	0,169670658
1999 GR6	0,170061389
1999 KV4	0,172554581
Xanthus	0,17283551
1999 HF1	0,173508634
1998 QQ	0,174397813
1984 QY1	0,17518109
1999 ED5	0,176751485
1997 MS	0,17685737
Antinous	0,180133979
1999 TC5	0,185865814
1997 AQ18	0,187153688
Talos	0,189325938

Имя	Расстояние
1999 GT3	0,191774578
1999 CT8	0,192247116
Poseidon	0,193892891
1990 UO	0,195031173
1991 WA	0,195136868
1999 TX2	0,197027302
1996 TY11	0,197545925
1999 FB	0,197951368
1999 JR6	0,210623217
1998 QR52	0,21108632
1999 HD1	0,214646664
1991 CB1	0,219072292
1993 BW3	0,219741622
1998 WL4	0,220279059
1995 LG	0,22183871
1999 VV	0,228692734
1999 CW8	0,231510616
1996 GF17	0,23240857
1998 FH74	0,24048982
1996 XW1	0,242759262
1999 YC	0,244994162
1997 US9	0,249326281
1999 TL12	0,255918907
Daedalus	0,26790343
1992 TB	0,273256043
1990 BG	0,274559377
1992 HE	0,288717502
1995 OO	0,293584359
1998 VP	0,29893518
1998 XZ4	0,300315648
1993 PB	0,372694951
1999 OW3	0,374761334
1995 BL2	0,375304399
1997 UF9	0,378509663
1999 JB	0,384621876
1998 YW3	0,388573854
1991 AM	0,39452902
1995 UO5	0,403520583
1998 XS16	0,406015437
1991 LH	0,423014637
1998 SO10	0,4527005