

УДК: 521.1

*В.А. АВДЮШЕВ, М.А. БАНЬЩИКОВА¹***АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ОРБИТЫ НОВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА²**

В работе исследуется проблема неоднозначного определения орбит для недавно открытых неименованных спутников Юпитера семейства S/2003. Представлены их новые альтернативные орбиты, которые так же, как и ранее полученные другими авторами, хорошо интерпретируют наблюдательный материал.

Введение

Орбитальные параметры небесных тел определяются из астрометрических наблюдений в рамках задачи наименьших квадратов, которая, как правило, сводится к минимизации некоторой целевой функции, выражающей степень близости наблюдаемых и моделируемых положений объекта. В то же время для минимизации целевой функции обычно прибегают к итерационным методам типа Гаусса–Ньютона. Между тем главным образом ввиду того, что решаемая задача нелинейна, она может иметь множество решений, иначе говоря, целевая функция может иметь множество минимумов. Формально в качестве нужного решения представляющего наиболее точные значения орбитальных параметров, выбирают, очевидно, то, которое обеспечивает наименьшее значение целевой функции.

Стоит отметить, что в большинстве случаев (например, при определении астероидных орбит) проблема выбора нужного решения совершенно не возникает: необходимые для итерационного метода начальные приближения, получаемые из предварительного определения орбит, часто настолько точны, что итерационный процесс быстро сходится к нужному решению, доставляющему абсолютный минимум целевой функции.

Тем не менее имеется ряд задач, когда такой формальный выбор решения не является безусловным, поскольку имеются другие альтернативные решения, для которых целевая функция принимает значения, очень близкие к значению абсолютного минимума. Сомнения здесь вызываются, прежде всего, тем обстоятельством, что наблюдения могут содержать ошибки, при которых решение, доставляющее абсолютный минимум целевой функции, т.е. наилучшим образом представляющее наблюдения, вполне возможно будет далеко не самым лучшим с точки зрения прогнозирования движения небесного тела в будущем. В работе [1], например, показано, что проблема неоднозначного определения орбит может иметь место в задачах динамики близких спутников планет при малочисленном составе наблюдений, моменты которых рассредоточены в нескольких группах на достаточно большом интервале времени порядка 10 000 оборотов объекта и более.

Проблема неоднозначного определения орбит может также возникать в иных случаях, а именно когда наблюдения сгруппированы на малом временном интервале и покрывают короткую орбитальную дугу. Очевидно, что такой состав наблюдений имеют почти все новые объекты. Впрочем, возникновение этой проблемы возможно лишь при определенных условиях наблюдения, что хотя и сужает класс проблемных объектов, их, тем не менее, остается еще достаточно много и большая часть из них — это новые далекие спутники больших планет.

В данной работе мы исследуем проблему неоднозначного определения орбит на примере новых неименованных спутников Юпитера семейства S/2003, а также выявляем их альтернативные орбиты, ранее не опубликованные в литературе.

¹ НИИ ПММ ТГУ² Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-02-00359-а.

1. Проблема двужности в предварительном определении орбит

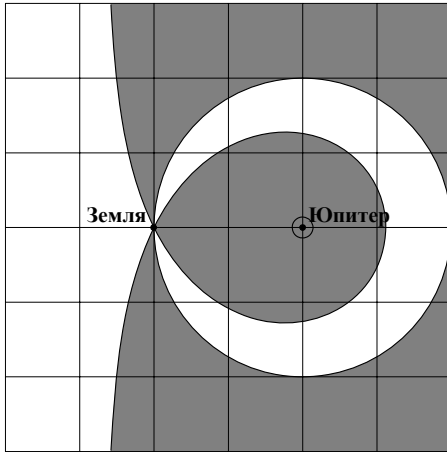


Рис. 1. Область двойных решений (окружностью около Юпитера показана сфера влияния планеты)

Спутники планет, как правило, наблюдаются в угловых координатах и проблема неоднозначного определения орбит для новых далеких спутников фактически связана с известной проблемой, возникающей в предварительном определении орбит по трем угловым положениям, когда при определенных условиях наблюдения существуют два приемлемых решения уравнения Лагранжа восьмой степени относительно расстояния, которые дают две предварительные кеплеровские орбиты [2]. Условия двойных решений выполняются в том случае, если наблюдаемый объект находится в области, указанной серым цветом на рис. 1, где в качестве центрального тела выступает Юпитер. Как видно из рисунка, эта область целиком содержит сферу влияния Юпитера. Поэтому для любого спутника планеты при предварительном определении его орбиты всегда будут существовать два решения, одинаково хорошо представляющие наблюдения. Если неизвестна какая-либо дополнительная информация о геоцентрическом расстоянии до спутника, то оказывается совершенно невозможным выбрать ту орбиту, которая будет соответствовать реальной.

2. Проблема двужности в определении орбит новых спутников

Впрочем, проблема двужности обычно разрешается на этапе уточнения орбиты с привлечением дополнительных наблюдений, которые, как правило, имеются в наличии. При решении обратной задачи с использованием избыточной выборки наблюдений разумным критерием выбора нужного решения, соответствующего реальной орбите, является малость среднеквадратической ошибки: из двух решений необходимо выбирать то, для которого среднеквадратическая ошибка принципиально меньше. Однако, если в обоих случаях среднеквадратические ошибки сравнимы, выбор решения без привлечения какой-либо еще дополнительной информации об орбите оказывается под вопросом. Такая ситуация вполне возможна для объектов, наблюдавшихся на очень короткой дуге, что как раз характерно для новых неименованных спутников Юпитера семейства S/2003, которые мы и рассмотрели на предмет двойных решений.

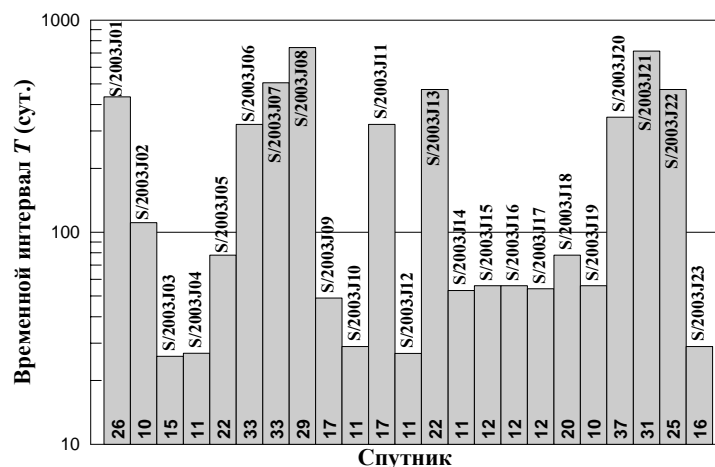


Рис. 2. Временные интервалы наблюдения новых далеких спутников Юпитера открытых в 2003 г. В нижней части графика указано количество наблюдений для каждого из спутников.

Уже предварительно зная периоды спутниковых наблюдений, которые приведены на рис. 2, можно с уверенностью утверждать, что для объектов, которые наблюдались менее 100 суток, должны существовать альтернативные решения, одинаково приемлемые для представления наблюдений.

3. Альтернативные орбиты новых спутников Юпитера

Определение орбит спутников семейства S/2003 выполнялось по имеющимся астрометрическим наблюдениям [3] на основе высокоточного численного моделирования спутникового движения [1] в рамках нелинейной задачи наименьших квадратов. В качестве начальных приближений для каждого спутника бралась пара решений, полученных из предварительного определения орбиты методом Лапласа [2].

В результате только для 12 спутников из 23 были получены пары орбит, элементы которых приведены в табл., в то время как для каждого из оставшихся 11 спутников только одно из двух начальных приближений обеспечивало сходимость итерационного процесса. В таблице a — большая полуось, e — эксцентриситет, i — наклонение, относительно геоэкуатора на эпоху J2000, σ — среднеквадратическая ошибка; звездочкой обозначены альтернативные орбитальные элементы, ранее не публиковавшиеся в литературе. Интересно, что среди 24 орбит в 12 полученных парах 7 альтернативных орбит оказались гиперболическими, т.е. уже 7 объектов могут являться астероидами, временно захваченными Юпитером. Впрочем, из альтернативных решений все же можно принять лишь те, среднеквадратические ошибки которых достаточно малы. Таким образом, в действительности заслуживают внимание только 4 объекта: S/2003 J02, S/2003 J03, S/2003 J04, S/2003 J12, один из которых (S/2003 J03) имеет гиперболическую орбиту.

На рис. 3 в системе геоцентрических угловых координат (α, δ) показаны их возмущенные орбиты относительно Юпитера (с координатами α_j и δ_j). Как видно из рисунка, обе определенные из наблюдений орбиты для каждого спутника касаются в начальную эпоху и одинаково хорошо (с точностью наземных наблюдений) представляют наблюдения (табл.).

Табл. Альтернативные оценки орбитальных элементов

Спутник	a (а.е.)	e	i (°)	σ (")	a^* (а.е.)	e^*	i^* (°)	σ^* (")
S/2003 J02	$1.81 \cdot 10^{-1}$	0.34	174	0.14	$8.04 \cdot 10^{-2}$	0.74	123	0.20
S/2003 J03	$1.29 \cdot 10^{-1}$	0.23	129	0.22	-1.89	1.05	121	0.30
S/2003 J04	$1.23 \cdot 10^{-1}$	0.43	119	0.20	$1.53 \cdot 10^{-1}$	0.27	120	0.17
S/2003 J05	$1.63 \cdot 10^{-1}$	0.21	142	0.25	$-1.31 \cdot 10^{-2}$	12.29	141	1.10
S/2003 J09	$1.58 \cdot 10^{-1}$	0.21	159	0.32	$-1.17 \cdot 10^{-2}$	8.96	164	4.22
S/2003 J12	$1.17 \cdot 10^{-1}$	0.49	146	0.20	$1.92 \cdot 10^{-1}$	0.40	165	0.21
S/2003 J14	$1.68 \cdot 10^{-1}$	0.28	160	0.19	$1.33 \cdot 10^{-1}$	0.08	46	5.45
S/2003 J15	$1.52 \cdot 10^{-1}$	0.13	127	0.24	$-2.35 \cdot 10^{-2}$	4.73	87	3.78
S/2003 J16	$1.38 \cdot 10^{-1}$	0.24	167	0.16	$-3.44 \cdot 10^{-2}$	4.35	149	0.92
S/2003 J17	$1.53 \cdot 10^{-1}$	0.19	161	0.15	$-3.97 \cdot 10^{-1}$	1.26	20	2.21
S/2003 J19	$1.59 \cdot 10^{-1}$	0.30	166	0.20	$-3.64 \cdot 10^{-2}$	1.71	106	1.28
S/2003 J23	$1.56 \cdot 10^{-1}$	0.36	156	0.35	$8.08 \cdot 10^{-2}$	0.42	58	0.85

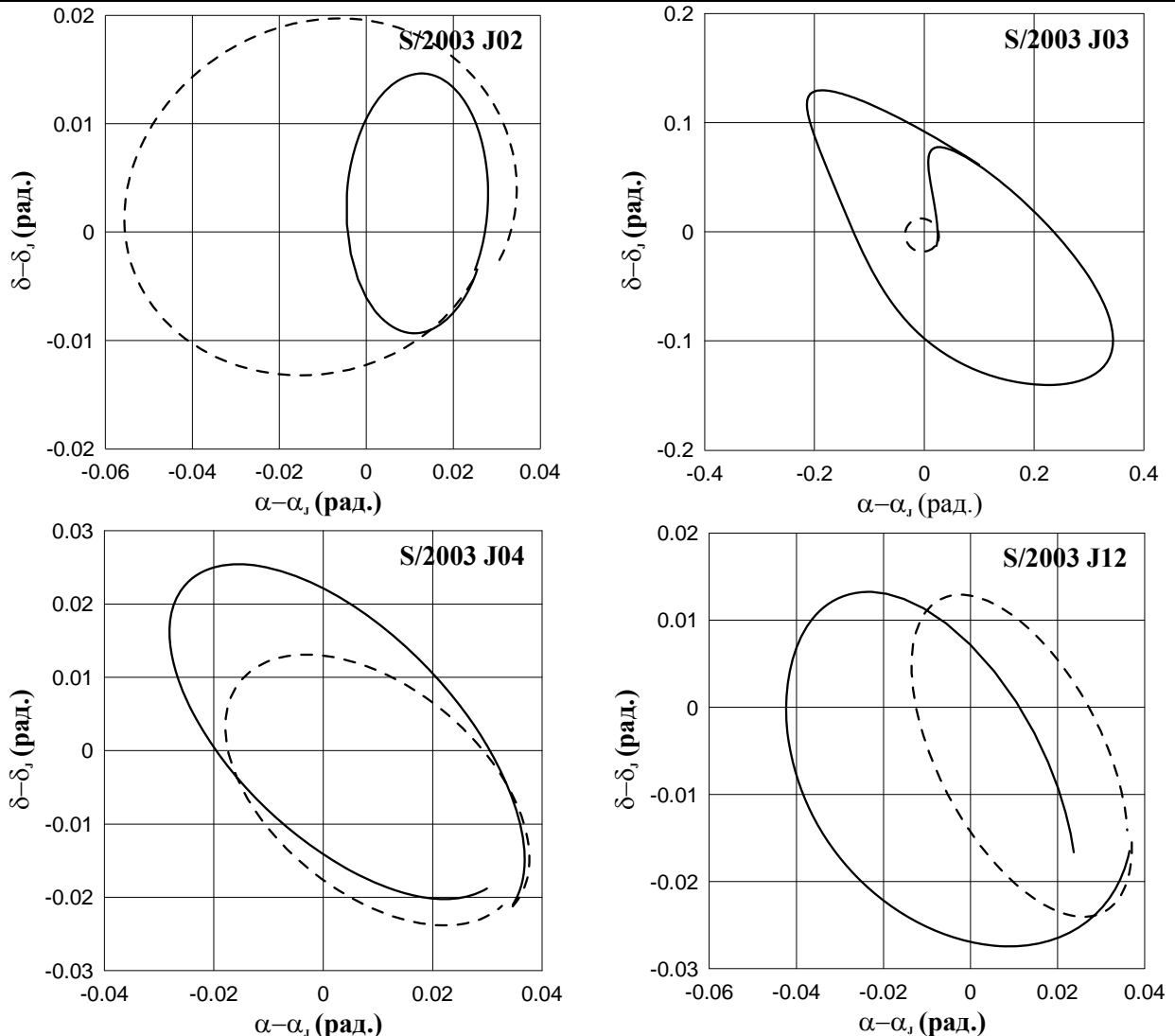


Рис. 3. Альтернативные орбиты спутников S/2003 J02, S/2003 J03, S/2003 J04, S/2003 J12 (пунктиром представлены орбиты, которые были определены ранее другими авторами [4,5,6])

Заключение

Таким образом, в данной работе рассмотрена проблема неоднозначного определения орбит на примере новых неименованных спутников Юпитера семейства S/2003, а также получены их альтернативные орбиты, ранее не опубликованные в литературе. В действительности из альтернативных заслуживают внимание лишь орбиты четырех спутников: S/2003 J02, S/2003 J03, S/2003 J04, S/2003 J12, которые, как и ранее полученные, хорошо представляют спутниковые наблюдения. Поэтому для таких спутников фактически невозможно выбрать из двух орбит ту, которая бы соответствовала реальной орбите спутника, т.е. которая бы адекватно описывала движение спутника. Для разрешения этой проблемы, очевидно, нужны дополнительные наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдюшев В.А., Баньщикова М.А. // Астрон. вестн.— 2008. — Т. 42. — N 4. — С. 317–340.
2. C. V. L. Charlier // Assoc. R.A.S. — 1910. — P. 120–122.
3. Arlot J.E., Emelyanov N.V. // Astron. Astrophys. — 2009. — Vol. 503. — P. 631–638.
4. Sheppard S.S., Jewitt D.C., Kleyna J., Marsden B.G., Jacobson R. // IAU Circ. — 7900. — 1 (2002).
5. Emelyanov N.V. // Astron. Astrophys. — 2005. — Vol. 435. — I. 3. — P. 1173–1179.
6. Авдюшев В.А., Баньщикова М.А. // Астрон. вестн. — 2007. — Т. 41. — N 5. — С. 446–452.