

УДК 521.9-13

Е. М. Ижакевич, С. В. Калтыгина, И. В. Ледовская, С. В. Шатохина

Позиционные фотографические наблюдения внешних спутников Юпитера в 1987—1989 гг.

Приводятся координаты внешних спутников Юпитера JVI, JVII, JVIII по 28 наблюдениям, выполненными сотрудниками ГАО АН Украины, а также значения $O-C$. Редукция наблюдений выполнена на основе каталогов AGK3, PPM и CMC. Вычисленные положения спутников попарно сравнивались между собой: разности положений PPM—CMC оказались систематически значимыми, а PPM—AGK3 — незначимыми.

ПОЗИЦІЙНІ ФОТОГРАФІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗОВНІШНІХ СУПУТНИКІВ ЮПІТЕРА У 1987—1989 рр., Іжакевич О. М., Калтыгіна С. В., Ледовська І. В., Шатохіна С. В. — Подаються координати зовнішніх супутників Юпітера JVI, JVII, JVIII за 28 спостереженнями, виконаними співробітниками ГАО АН України, а також значення $O - C$. Редукцію спостережень проведено на базі каталогів AGK3, PPM і CMC. Обчислені положення попарно порівнювалися між собою: різниці положень PPM—CMC виявились систематично значущими, а PPM—AGK3 — незначущими.

POSITIONAL PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF JUPITER'S EXTERNAL SATELLITES IN THE YEARS 1987—1989, by Izhakevich E. M., Kaltygina S. V., Ledovskaya I. V., Shatohkina S. V. — Twenty eight photographic astrometric observations of Jupiter's external satellites (JVI, JVII, JVIII) were carried out with various telescopes in the years 1987—1989. Residuals derived from the comparison between observed and computed positions of the satellites are given. The positions of satellites have been computed on the basis of various catalogues (AGK3, PPM, CMC). There are found systematic difference positions PPM—CMC. Differences PPM—AGK3 are insignificant.

Введение. Внешние спутники Юпитера представляют собой довольно слабые ($15-20^m$) объекты Солнечной системы. Их открытие связано с развитием фотографической астрономии и созданием мощных рефракторов в конце XIX — начале XX ст. На этот период приходится основное количество наблюдений внешних спутников Юпитера. В последние десятилетия в связи с подготовкой космических полетов и необходимостью уточнения теорий движения планет, снова возрос интерес к этим объектам.

Настоящая работа представляет результаты обработки фотографических наблюдений JVI, JVII и JVIII спутников Юпитера, проведенных на разных телескопах в 1987—1989 гг.

Наблюдения и их обработка. В 1987—1989 гг. сотрудниками Главной Астрономической обсерватории АН Украины выполнены фотографические наблюдения трех внешних спутников Юпитера: JVI (Гималия, 14.8^m), JVII (Элара, 16.4^m), JVIII (Пасифая, 17.7^m). Для наблюдений использовались двойной широкоугольный астрограф (ДША) в Голосеево ($D = 40$ см, $F = 2$ м) и 60-см рефлектор Цейса Ц-600 ($D = 60$ см, $F = 7.5$ м) на горе Майданак (Узбекистан), двойной астрограф Цейса (ДАЦ) ($D = 40$ см, $F = 3$ м) в г. Китаб (Узбекистан). Применялись пластинки ORWO ZU-21. Гидрирование велось по методу Меткофа. Для ослабления яркости Юпитера при наблюдениях на ДША использовался нейтральный фильтр. Часть результатов фотографических наблюдений JVI приведена в [1].

Первоначально все редукции были выполнены с использованием каталога AGK3(1950.0). Однако ошибки звездных положений этого каталога для эпохи наблюдений могут достигать $0.4''$. Поэтому было решено провести новую редукцию с использованием современных каталогов: PPM [3] и CMC [4], а затем сравнить полученные результаты.

Весь наблюдательный материал был заново обработан в системе FK4 с каталогом PPM(1950.0). Меридианный каталог CMC(2000.0) использовался только для наблюдений в сентябре—октябре 1988 г. Особое внимание было уделено выбору моделей редукции как для широкоугольных снимков, так и для снимков Ц-600 с малым полем ($28' \times 28'$).

Приняв за основу уравнения связи с членами до третьего порядка между измеренными и идеальными координатами [1], мы воспользовались программой по реализации метода Эйхгорна — Вильямс при оценке значимости членов редуцированных моделей, составленной Л. К. Пакуляк [2]. Как оказалось, такая оценка увереннее осуществляется по звездам каталогов PPM и СМС, чем по АГКЗ, так как ошибки определения постоянных пластинки значительно меньше для каталогов PPM и СМС.

Обработка широкоугольных снимков была выполнена по редуцированной формуле с кубическим (дисторсионным) членом, поскольку он оказался значимым независимо от периода наблюдений и применяемого каталога. При редукации пластинок, полученных на Ц-600,

Таблица 1. Сопоставление результатов редукации широкоугольных снимков по разным каталогам

Период наблюдений	Телескоп	\bar{n}	Координата	$\bar{\sigma}$			\bar{z}		
				АГКЗ	PPM	СМС	АГКЗ	PPM	СМС
Сентябрь 1987 — январь 1988	ДША	47	X	0.66"	0.45"	—	0.36"	0.23"	—
Сентябрь 1988 — октябрь 1988	ДАЦ (FK4)	26	X	0.48	0.36	—	0.61	0.46	—
Сентябрь 1988 — октябрь 1988	ДАЦ (FK5)	20	X	—	0.43	0.41	—	0.30	0.29
Сентябрь 1988 — октябрь 1988	ДАЦ (FK5)	20	Y	—	0.37	0.37	—	0.22	0.26
Ноябрь 1989 — декабрь 1989	ДША	27	X	0.66	0.64	—	0.41	0.36	—
			Y	0.50	0.49	—	0.27	0.26	—

Таблица 2. Топоцентрические положения внешних спутников Юпитера

Дата, UTC	$\alpha_{1950.0}$	$\delta_{1950.0}$	$(O - C)_\alpha$	$(O - C)_\delta$	Экспозиция, мин	Телескоп	Наблюдатель
JV I							
1987 09 23.080157 ^d	1 ^h 46 ^m 12.141 ^s	09°54'56.69"	-1.40"	+1.92"	20	ДША	ЕИ
10 13.855550	1 35 10.046	08 52 32.22	+0.87	+0.15	5	Ц-600	СМ, ИЛ
10 13.919479	1 35 07.654	08 52 18.72	-0.47	+0.09	5	Ц-600	СМ, ИЛ
10 14.903508	1 34 32.875	08 48 52.27	+0.70	+0.88	10	Ц-600	СМ
10 17.955626	1 32 44.043	08 37 59.12	+0.09	+0.51	25	ДША	ЕИ
10 17.982636	1 32 43.069	08 37 53.37	+0.20	+0.70	30	ДША	ЕИ
10 24.811301	1 28 39.332	08 13 02.56	+0.27	+0.59	10	Ц-600	ИЛ, СШ
10 27.912913	1 26 50.399	08 01 42.70	-0.12	+0.41	35	ДША	ЕИ
10 30.823393	1 25 10.356	07 51 11.25	+1.03	+0.37	10	Ц-600	СШ
10 31.811926	1 24 36.844	07 47 38.28	-0.48	-0.06	10	Ц-600	ИЛ, СШ
1988 01 15.702904	1 16 08.786	06 31 24.06	+2.77	-1.44	30	ДША	ЕИ
01 15.702968	1 16 08.721	06 31 25.32	+1.81	-0.19	30	ДША	ЕИ
09 17.974690	4 13 15.158	19 56 26.28	+0.13	-3.01	25	ДАЦ	СШ
09 17.999275	4 13 15.287	19 56 24.94	+1.49	-3.37	30	ДАЦ	СШ
09 21.936897	4 13 16.981	19 53 34.86	+0.44	-3.81	10	Ц-600	СШ, ИЛ
09 21.947818	4 13 16.986	19 53 34.38	+0.78	-3.79	10	Ц-600	СШ, ИЛ
10 07.963328	4 11 22.523	19 38 37.82	+0.54	-1.90	8.5	Ц-600	ИЛ, ЕИ
10 09.825040	4 10 57.350	19 36 38.12	+0.37	-2.21	10	Ц-600	ИЛ, ЕС
10 10.982953	4 10 40.394	19 35 23.61	+0.56	-1.80	30	Ц-600	ЕС, ЕИ
10 14.899879	4 09 37.121	19 31 07.04	+0.52	-1.63	10	Ц-600	ЕИ, ИЛ
1989 11 29.888139	6 42 14.601	23 21 40.98	+0.00	-2.00	12	Ц-600	ИЛ, ЕИ
11 30.880801	6 41 47.528	23 21 52.39	+0.00	-1.94	13	Ц-600	ЕИ, ИЛ
JV II							
1987 10 29.822543	1 28 32.914	07 48 18.05	+6.82	+5.35	30	Ц-600	ИЛ, СШ
10 31.830304	1 27 20.251	07 42 49.32	+6.82	+5.07	30	Ц-600	ИЛ, СШ
1989 11 29.920220	6 40 07.250	22 59 57.02	-3.92	+3.22	30	Ц-600	ИЛ, ЕИ
11 30.906427	6 39 46.091	23 01 03.47	-3.48	+2.89	34	Ц-600	ЕИ, ИЛ
JV III							
1989 11 30.941397	6 39 24.466	23 17 36.40	-11.28	+1.38	43	Ц-600	ЕИ, ИЛ
12 07.786099	6 36 30.834	23 24 16.52	-10.50	+1.92	32	Ц-600	ЕИ, ИЛ

Примечание. ЕИ — Е. М. Ижакевич, ИЛ — И. В. Ледовская, СМ — С. П. Майор, ЕС — С. М. Середя, СШ — С. В. Шатохина.

коэффициент дисторсии определяется очень неуверенно и поэтому он был исключен из редуционной формулы.

Квадратичные члены в формулах редукции, как правило, значимы для пластинок ДША и ДАЦ; для пластинок Ц-600 каждому периоду наблюдений характерна своя модель редуции. Так, для первой серии наблюдений (сентябрь 1987 г.—январь 1988 г.) квадратичные члены значимы в основном по координате X . Для сентября—октября 1988 г. они значимы и по X , и по Y . Для ноября—декабря 1989 г. — незначимы по обеим координатам.

Для редуции наблюдений на Ц-600 применялся метод двухступенчатой привязки, который заключается в следующем. С помощью широкоугольных пластинок ДША и ДАЦ определяются координаты слабых звезд промежуточной опорной системы, отсутствующие в упомянутых выше каталогах. Проведено несколько серий измерений широкоугольных пластинок. Для каждого периода наблюдений на Ц-600 получено несколько каталогов звезд вторичной опорной системы. Сводный каталог звезд промежуточной опорной системы был составлен с учетом весов. Веса P_i выбирались как числа, обратно пропорциональные средней квадратичной ошибке единицы веса $P_i = 1/\sigma_i^2$. За единицу веса принимался вес i -й координаты с минимальной СКО единицы веса σ_{\min} :

$$P_{\max} = 1/\sigma_{\min}^2;$$

$$\bar{P}_i = P_i/P_{\max}.$$

Значения средневзвешенных координат $\bar{\alpha}$ и $\bar{\delta}$ определяются по формулам

$$\bar{\alpha} = \Sigma \alpha_i \bar{P}_i / \Sigma \bar{P}_i,$$

$$\bar{\delta} = \Sigma \delta_i \bar{P}_i / \Sigma \bar{P}_i.$$

Средняя квадратичная ошибка определения каждой координаты равна:

$$\varepsilon = \sigma_{\min} / \left(\Sigma \bar{P}_i \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Сопоставление результатов редуции широкоугольных снимков по разным каталогам приведено в табл. 1. Здесь \bar{n} — среднее число звезд первичной опорной системы, участвовавших в создании вторичной опорной системы; $\bar{\sigma}$ — среднее значение СКО единицы веса, полученное по нескольким сериям обработки; $\bar{\varepsilon}$ — СКО положений звезд этой промежуточной опорной системы. Для сентября—октября 1988 г. данные приведены дважды, так как первый раз обработка была выполнена в системе FK4 по каталогам AGK3 и PPM(1950.0), а второй раз — в системе FK5 с практически новым набором опорных звезд из каталогов PPM(2000.0) и СМС(2000.0).

Результаты обработки всех наблюдений на основе каталога PPM (1950.0) представлены в табл. 2, где даны топоцентрические координаты спутников, моменты наблюдений УТС, уклонения от эфемериды $O - C$, продолжительность экспозиции T . Эфемеридные положения спутников вычислены сотрудниками Томского университета Л. Е. Быковой и В. А. Юргой в системе В1950.0.

Так как мы не располагали эфемеридой спутников J2000.0, то для оценки полученного результата в системе каталога СМС(2000.0) произвели попарное сравнение результатов редуций, выполненных по каталогам СМС(2000.0) и PPM(2000.0). В табл. 3 приведены $\Delta\bar{\alpha}$ и $\Delta\bar{\delta}$ — средние значения разностей координат «PPM—СМС» и соответствующие отклонения от

Таблица 3. Сравнение результатов обработки, выполненной по разным каталогам

Каталоги	n	$\Delta\bar{\alpha}$	$\bar{\sigma}_{\alpha}$	$\Delta\bar{\delta}$	$\bar{\sigma}_{\delta}$
PPM—СМС (2000.0)	7	+0.16"	0.02"	+0.05"	0.00"
PPM—AGK3 (1950.0)	7	-0.11	0.12	+0.28	0.33
PPM—AGK3 (1950.0)	28	+0.05	0.33	+0.06	0.34

среднего. По выборке из семи наблюдений оказалось, что эти величины значимо отличаются от нуля согласно t -критерию при 5 % уровне значимости.

При аналогичном сравнении результатов, полученных с помощью каталогов PPM(1950.0) и AGK3(1950.0), такого систематического различия не обнаружено ни по выборке из семи наблюдений, ни по всей выборке из 28 наблюдений. Это вполне объяснимо: каталоги AGK3 и PPM принципиально не отличаются друг от друга. Уточненные собственные движения в

Таблица 4. Средние квадратичные отклонения S наблюдений от эфемериды и средние квадратичные ошибки σ единицы веса

Телескоп	Количество наблюдений	PPM		PPM		AGK3	
		S_α	S_δ	σ_α	σ_δ	σ_α	σ_δ
JVI (сентябрь 1987 г. — январь 1988 г.)							
ДША	6	1.47"	1.06"	0.45"	0.43"	0.66"	0.65"
Ц-600	6	0.69	0.46	0.34	0.28	0.54	0.38
JVI (сентябрь — октябрь 1988 г.)							
ДАЦ	2	1.06	3.20	0.36	0.32	0.48	0.63
Ц-600	6	0.55	2.68	0.31	0.21	0.39	0.19
JVI (ноябрь — декабрь 1989 г.)							
Ц-600	2	0.00	1.97	0.29	0.26	0.31	0.16
JVII (сентябрь 1987 г. — январь 1988 г.)							
Ц-600	2	6.82	5.22	0.50	0.35	0.76	0.37
JVII (ноябрь — декабрь 1989 г.)							
Ц-600	2	3.71	3.06	0.24	0.26	0.24	0.17
JVIII (ноябрь — декабрь 1989 г.)							
Ц-600	2	10.90	1.67	0.26	0.15	0.25	0.14

каталоге PPM уменьшают случайные ошибки системы. Поэтому при обработке по PPM действительно уменьшаются СКО единицы веса, хотя значения $O - C$ существенно не изменяются.

Каталог СМС — каталог другого типа, и вполне закономерны те систематические различия, которые были обнаружены.

В табл. 4 даны некоторые оценки точности выполненной обработки в системе каталога PPM. Здесь S — средние квадратичные отклонения ($O - C$); по периодам наблюдений и инструментам, σ_α и σ_δ — СКО единицы веса при использовании каталога PPM, а также каталога AGK3 (для сравнения). Как видно, наблюдения спутника JVI, выполненные с помощью телескопа Ц-600, лучше согласуются с эфемеридой, чем наблюдения на ДША и ДАЦ. Значительные $O - C$ для спутников JVII и JVIII свидетельствуют не столько о плохом качестве наблюдений, как о низкой точности эфемерид.

Заключение. Результаты выполненной работы позволяют сделать следующие выводы. Ряды наблюдений внешних спутников Юпитера можно успешно расширить, привлекая к наблюдениям, кроме широкоугольных рефракторов, и рефлекторы типа Ц-600. При этом, приступая к обработке наблюдений, полученных с помощью рефлектора, необходимо для каждого периода наблюдений индивидуально решить вопрос о выборе редуцированной модели. Замена опорного каталога AGK3 на PPM позволяет получить более надежные и точные результаты. Меридианный каталог СМС дает ту же точность редукации, что и каталог PPM. В то же время из-за неравномерного распределения звезд этого каталога по небу не всегда представляется возможным его применение в подобных работах.

1. Ижакевич Е. М., Калтыгина С. В., Майор С. П., Шатохина С. В. Позиционные наблюдения VI спутника Юпитера в ГАО АН УССР в 1987—1989 гг. // Кинематика и физика небес. тел.—1991.—7, № 2.—С. 98—100.
2. Пакуляк Л. К. Применение статистического критерия Эйхгорна — Вильямс для подбора оптимальной модели редукации пластинок широкоугольного астрографа // Кинематика и физика небес. тел.—1989.—5, № 2.—С. 23—28.
3. Roser S., Bastian U. PPM — Positions and proper motions of 181731 stars north of -2.5 degrees declination for equinox and epoch J2000.0 — Heidelberg. Astron. Rechen. Inst., 1989.—27 p.
4. Carlsberg Meridian Catalogue. — La Palma, 1989.—№ 4.—773 p.