

УДК 521.2;521.6

РЕЗУЛЬТАТЫ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА В ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В 1986–2005 гг.

© 2008 г. Т. П. Киселева, А. А. Киселев, О. А. Калиниченко,
Т. А. Васильева, М. Л. Ховричева

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 08.11.2007 г.

Приводятся результаты фотографических наблюдений на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории галилеевых спутников Юпитера в 1986–2005 гг. Определены координаты спутников относительно Юпитера и взаимные расстояния между спутниками. Для наблюдений и редукции использовался метод “след–масштаб”, не требующий опорных звезд для астрометрической редукции измерений. В иовицентрических координатах спутников учтен эффект фазы Юпитера. Выполнено сравнение наблюдений с современной теорией движения галилеевых спутников. Исследованы систематические ошибки наблюдений, зависящие от метода наблюдений. Внутренняя точность наблюдений в случайном отношении характеризуется величинами $0.041''$ по X и Y . Внешняя точность относительных координат галилеевых спутников, определенная на основе сравнения наблюдений с современными эфемеридами, оказалась равной $0.165'', 0.213''$ для иовицентрических координат и $0.134'', 0.170''$ для координат вида “спутник – спутник”. Наибольшая точность относительных координат спутников достигается при малых расстояниях между спутниками, меньших $100''$ – соответствующие величины среднеквадратических ошибок одного наблюдения по внешней сходимости равны $0.050'', 0.070''$. Выполнено сравнение результатов фотографических наблюдений с результатами первых ПЗС-наблюдений на 26-дюймовом рефракторе спутников Юпитера в 2004 г.

PACS: 95.10.Jc, 96.30.L-

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения галилеевых спутников Юпитера на 26-дюймовом рефракторе являются частью пулковской программы наблюдений тел Солнечной системы, начатой еще в начале XX века на фотографических инструментах Пулковской обсерватории (Киселева, Хруцкая, 2007).

В 2005 г. закончились фотографические наблюдения спутников Юпитера, которые продолжались на 26-дюймовом рефракторе с 1976 г. в периоды видимости планетной системы в Пулкове. Результаты первой части наблюдательного материала (1976–1981 гг.) были опубликованы ранее в работе Т.П. Киселевой (1996). Результаты обработки наблюдательного материала 1986–2005 гг. представлены в данной работе. С 2003 г. для наблюдений системы галилеевых спутников стала применяться ПЗС-матрица ST-6, что позволило нам принять успешное участие в наблюдениях взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера в рамках международной программы РНЕМУ-2003 (Izmailov и др., 2004).

Целью астрометрических наблюдений системы галилеевых спутников Юпитера является получение высокоточных относительных координат спутников – иовицентрических и координат вида “спутник минус спутник”, необходимых для

исследования динамики системы спутников Юпитера. В настоящее время и в дальнейшем программа астрометрических наблюдений галилеевых спутников будет продолжена с использованием ПЗС-матрицы.

НАБЛЮДЕНИЯ И РЕДУКЦИЯ

В 1986–2005 гг. в Пулкове можно было наблюдать систему Юпитера в периоды 13 противостояний. Всего было получено 96 фотопластинок, содержащих свыше 600 изображений системы галилеевых спутников. В 2002–2003 гг. проводились фотометрические наблюдения взаимных явлений с помощью ПЗС-матрицы в соответствии с международной программой РНЕМУ-2003. В табл. 1 приведено распределение наблюдений внутри всего периода наблюдений.

Методика фотографических наблюдений спутников планет на 26-дюймовом рефракторе ($D/F = 650/10413$) частично отражена в публикации результатов первой части наблюдательного материала (Киселева, 1996). Однако напомним основные особенности этой методики. Ввиду малости поля 26-дюймового рефрактора ($30' \times 30'$) применялся метод “след–масштаб” (Пэску, 1980) с ориентировкой по суточным следам спутников.

Таблица 1. Распределение наблюдений галилеевых спутников внутри периода 1986–2005 гг.

Период наблюдений (год, месяц, день)	Момент противо- стояния	Число пласти- нок	Зенитные расстоя- ния, град
1986 10 17–1987 01 08	1986 09 10	13	72
1987 09 30–1988 01 29	1987 10 15	16	52
1988 10 05–1989 02 13	1988 11 20	10	42
1989 12 05–1990 04 10	1989 12 25	8	38
1990 12 16–1991 03 26	1991 01 28	9	40
1992 03 07–1992 03 31	1992 03 01	6	50
1993 04 10–1993 04 27	1993 04 01	5	62
1998 09 02–1999 01 08	1998 09 15	5	65
1999 08 19–1999 11 18	1999 10 23	5	50
2000 09 29–2001 02 16	2000 11 28	3	40
2001 12 08–2002 04 04	2001 12 28	9	37
2004 03 04–2004 04 16	2004 03 04	4	52
2005 03 29–2005 04 01	2005 04 01	3	64

При наблюдениях использовались, в основном, фотопластинки WO-3 – высококонтрастные, малочувствительные, позволяющие получать хорошо измеримые изображения самого Юпитера, причем диаметр изображения практически всегда равен эфемеридному, т.е. отсутствует фотографическая иррадиация изображения планеты. Яркость изображений галилеевых спутников (4–5-й зв. величины) и яркость протяженного изображения диска Юпитера за время экспозиции в 1 мин примерно одинакова в смысле оптической плотности изображений. Таким образом сведено к минимуму уравнение яркости между изображениями планеты и спутников. На каждой фотопластинке получали от 6 до 10 изображений системы спутников Юпитера с экспозициями в 1 мин и по два следа спутников – к востоку и к западу от основной цепочки изображений – в виде двух изображений на одном сугочном следе с остановкой часового механизма. Редукция измеренных координат выполнялась по двум следам независимо, а затем результаты усреднялись. Опорные звезды на фотопластинках при таком методе, как правило, отсутствуют. В кассете 26-дюймового рефрактора непосредственно перед фотопластинкой помещен стеклянный желтый фильтр ЖС-18, который вместе с фотовизуальным объективом обеспечивает хорошие изображения в спектральном интервале 5300–5800 Å. При измерениях пластиинка в измерительном приборе Аскорекорд ориентировалась по экватору Юпитера. Центр изображения Юпитера определялся как среднее из измерений четырех точек на лимбе в точках концов экваториального и полярного диаметров. Астрометрическая редукция выполнялась также методом

“след-масштаб” с учетом дифференциальной рефракции и движения спутника за время производства ориентирующего следа. Формулы метода следующие (Киселев, 1971; 1989).

$$\xi = M_0[1 + \beta(1 + k_1^2)]x + (2\beta k_1 k_2 \pm \gamma)M_0 y,$$

$$\eta = M_0[1 + \beta(1 + k_1^2)]y \mp \gamma M_0 x, \quad (1)$$

$$\gamma = \sin \delta \operatorname{tg} \frac{t}{2} \approx \frac{l}{2f} \operatorname{tg} \delta.$$

Здесь ξ, η – тангенциальные координаты спутников относительно планеты на момент наблюдений; x, y – измеренные координаты спутников относительно планеты, ориентированные по следу с учетом движения системы за время экспозиции следа; M_0 – геометрический масштаб 26-дюймового рефрактора; β – коэффициент рефракции, зависящий от температуры, давления и зенитного расстояния; k_1, k_2 – тангенциальные координаты зенита на момент наблюдений; γ – угол между хордой и касательной несимметричного следа; t – угловая длина следа, l – линейная длина следа, f – фокусное расстояние телескопа.

В результате обработки вычислялись топоцентрические сферические координаты спутников относительно Юпитера и взаимные расстояния между спутниками $X = \Delta \alpha \cos \delta$, $Y = \Delta \delta$ (относительно истинных экватора и равноденствия эпохи даты) по формулам перехода от тангенциальных координат к сферическим. Окончательные результаты с одной пластиинки представляют собой средние по всех изображениям на пластиинке.

Результаты наблюдений представлены в табл. 2 и 3: ивицентрические координаты спутников (табл. 2) и взаимные расстояния между спутниками (табл. 3) на момент наблюдений UTC относительно истинных экватора и равноденствия на эпоху даты наблюдений. В этих таблицах моменты наблюдений приводятся с точностью до 0.1 секунды времени, поскольку результаты наблюдений являются средними из 6–10 отдельных изображений системы галилеевых спутников (экспозиций) на каждой пластиинке, различающихся между собой по времени наблюдений лишь в пределах нескольких минут. Относительные координаты спутников приводятся с точностью до 0.001", поскольку имеются в виду дальнейшие статистические исследования результатов многолетних рядов наблюдений спутников. Там же приводятся $(O-C)_{X, Y}$ – результаты сравнения наблюдений с эфемеридами, вычисленными с помощью средств вычисления эфемерид (Емельянов и др., 2006), доступных в Интернете по адресу: <http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/servicer.htm>. Эфемериды получены на основе теории движения L.1.1, разработанной в Институте небесной механики и вычисления эфемерид (IMCCE) в Париже (Lainey и др., 2004).

Таблица 2. Иовицентрические координаты галилеевых спутников с учетом фазы Юпитера относительно истинных экватора и равноденствия на эпоху даты

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos\delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
15126	1	1986 10 17.859248	-24.863	-16.134	-0.013	-0.138
15126	2	1986 10 17.859248	189.617	86.938	0.066	-0.212
15126	3	1986 10 17.859248	109.434	40.564	0.029	-0.204
15126	4	1986 10 17.859248	561.363	259.934	0.082	-0.439
15144	4	1986 10 18.822046	547.013	246.421	0.000	-0.243
15150	1	1986 10 19.852124	-105.507	-51.592	-0.046	-0.353
15150	2	1986 10 19.852124	-144.716	-63.675	-0.042	-0.344
15161	2	1986 10 25.732265	-29.519	-20.746	-0.161	-0.082
15161	3	1986 10 25.732265	-90.938	-51.035	-0.298	-0.074
15161	4	1986 10 25.732265	-530.186	-248.312	-0.347	0.371
15172	1	1986 11 13.712292	-113.451	-53.590	-0.003	-0.316
15172	2	1986 11 13.712292	-133.842	-58.901	-0.180	-0.346
15172	3	1986 11 13.712292	282.834	132.275	-0.168	-0.275
15172	4	1986 11 13.712292	-440.029	-192.939	-0.116	-0.362
15176	1	1986 11 15.739394	-91.601	-40.127	0.012	-0.269
15176	2	1986 11 15.739394	68.194	26.136	-0.064	-0.303
15176	3	1986 11 15.739394	31.249	5.541	-0.045	-0.282
15177	1	1986 11 15.751090	-88.811	-38.453	-0.260	-0.132
15177	2	1986 11 15.751090	64.607	24.608	-0.059	-0.093
15177	3	1986 11 15.751090	28.155	4.166	-0.119	-0.262
15191	3	1986 12 07.657453	-72.598	-41.340	0.011	-0.303
15191	2	1986 12 07.657453	-109.102	-56.382	-0.040	-0.372
15191	1	1986 12 07.657453	107.839	50.001	-0.122	-0.241
15192	3	1986 12 07.669432	-75.442	-42.560	-0.058	-0.265
15192	2	1986 12 07.669432	-111.936	-57.578	-0.084	-0.325
15192	1	1986 12 07.669432	107.951	50.083	-0.165	-0.081
15236	1	1986 12 31.681352	-93.150	-42.819	-0.084	-0.413
15236	2	1986 12 31.681352	119.101	53.517	-0.264	-0.040
15236	3	1986 12 31.681352	-159.242	-69.035	-0.083	-0.464
15244	1	1987 01 03.612806	21.401	6.678	-0.242	-0.190
15256	1	1987 01 06.662568	91.538	44.105	-0.035	-0.215
15256	2	1987 01 06.662568	42.374	25.497	0.032	-0.234
15256	3	1987 01 06.662568	-246.949	-117.261	0.109	-0.347
15268	1	1987 01 08.632809	93.177	42.727	-0.171	-0.140
15268	2	1987 01 08.632809	-93.023	-49.515	-0.087	-0.414
15268	4	1987 01 08.632809	392.580	190.298	-0.342	0.097
15675	1	1987 09 30.966848	119.731	53.093	0.045	-0.171
15675	2	1987 09 30.966848	209.217	90.711	0.037	-0.283
15675	4	1987 09 30.966848	-115.938	-10.802	0.003	-0.076
15692	4	1987 10 01.933676	103.223	79.308	0.166	-0.221
15692	3	1987 10 01.933676	224.597	108.557	0.112	-0.173
15692	1	1987 10 01.933676	-133.085	-56.359	0.125	0.082
15729	1	1987 10 03.935206	-106.720	-38.678	0.133	0.098
15729	2	1987 10 03.935206	67.559	43.162	0.191	-0.078

Таблица 2. Продолжение

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
15729	3	1987 10 03.935206	210.386	70.305	0.043	-0.327
15729	4	1987 10 03.935206	483.809	221.260	0.194	-0.566
15786	1	1987 10 12.926586	-49.605	-12.196	0.221	0.417
15786	2	1987 10 12.926586	-103.912	-57.334	0.071	0.441
15786	3	1987 10 12.926586	-283.969	-130.577	0.094	0.481
15804	2	1987 10 13.900614	-164.401	-59.572	-0.035	0.098
15804	3	1987 10 13.900614	-331.585	-133.597	-0.095	0.276
15804	4	1987 10 13.900614	-601.566	-251.748	-0.126	0.563
15822	1	1987 10 29.880299	-26.758	-19.917	-0.105	-0.062
15822	2	1987 10 29.880299	164.325	60.883	-0..046	-0.220
15822	3	1987 10 29.880299	65.432	48.066	-0.070	-0.003
15822	4	1987 10 29.880299	-577.790	-255.250	-0.049	0.237
15829	1	1987 10 30.792112	37.559	24.218	0.062	-0.039
15829	3	1987 10 30.792112	285.449	133.040	0.087	-0.298
15829	2	1987 10 30.792112	-143.856	-73.283	0.038	0.161
15862	1	1987 12 17.722011	94.405	45.382	-0.046	-0.302
15862	2	1987 12 17.722011	135.494	68.921	0.002	-0.261
15862	3	1987 12 17.722011	-223.974	-87.719	-0.113	-0.183
15862	4	1987 12 17.722011	-419.699	-202.332	-0.090	-0.268
15869	3	1987 12 31.693244	-262.006	-108.962	0.042	-0.328
15870	3	1987 12 31.704844	-260.630	-108.317	0.169	-0.372
15879	2	1988 01 23.686711	-28.585	-23.003	-0.122	-0.104
15879	4	1988 01 23.686711	-372.108	-144.585	-0.154	-0.123
15880	2	1988 01 23.702071	-33.063	-25.022	-0.094	-0.184
15880	4	1988 01 23.702071	-370.349	-143.888	-0.085	-0.269
15904	1	1988 01 25.630632	76.590	36.823	-0.093	-0.151
15904	2	1988 01 25.630632	74.549	42.048	-0.109	-0.095
15904	3	1988 01 25.630632	255.303	106.307	-0.294	0.149
15904	4	1988 01 25.630632	-83.448	-11.109	-0.295	0.045
15929	4	1988 01 26.652149	95.881	65.387	0.295	0.205
15929	1	1988 01 26.652149	-101.425	-45.147	-0.490	-0.149
15968	2	1988 01 28.673967	-70.113	-20.495	-0.338	0.060
15968	1	1988 01 28.673967	-85.276	-33.103	-0.292	0.010
15968	3	1988 01 28.673967	-260.123	-114.309	-0.186	-0.150
15981	3	1988 01 29.647236	-205.807	-80.110	-0.070	-0.237
15981	1	1988 01 29.647236	61.566	21.593	-0.083	-0.131
15981	2	1988 01 29.647236	157.623	71.436	-0.111	-0.078
15981	4	1988 01 29.647236	451.987	198.656	-0.073	0.047
16341	1	1988 10 06.112185	-102.632	-13.458	0.207	-0.101
16341	2	1988 10 06.112185	-138.636	-34.736	0.187	-0.170
16341	3	1988 10 06.112185	-334.284	-60.811	0.278	-0.288
16341	4	1988 10 06.112185	352.711	88.604	0.015	0.145
16364	1	1988 10 13.879154	134.302	23.869	0.182	-0.319
16364	2	1988 10 13.879154	-199.379	-30.546	0.166	0.048
16364	4	1988 10 13.879154	-235.877	-73.223	0.157	0.041

Таблица 2. Продолжение

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
16425	1	1988 10 30.991926	-61.912	-4.639	0.130	-0.125
16425	2	1988 10 30.991926	-157.562	-40.220	0.169	-0.206
16425	4	198 810 30.991926	-344.990	-95.277	0.281	-0.339
16425	3	1988 10 30.991926	350.012	70.430	-0.024	0.087
16436	1	1989 01 09.708652	-63.161	-9.522	-0.215	-0.246
16436	2	1989 01 09.708652	-76.709	-31.118	-0.151	-0.273
16436	3	1989 01 09.708652	245.139	72.917	-0.298	0.185
16439	1	1989 01 24.691951	77.901	14.163	-0.121	-0.035
16439	3	1989 01 24.691951	308.718	79.804	-0.232	0.237
16439	2	1989 01 24.691951	-189.383	-44.381	-0.051	-0.356
16448	1	1989 01 27.730430	74.552	23.743	-0.109	-0.001
16448	2	1989 01 27.730430	-146.137	-43.966	-0.049	-0.267
16448	4	1989 01 27.730430	-210.177	-26.880	-0.073	-0.336
16448	3	1989 01 27.730430	-255.265	-73.354	-0.033	-0.327
16451	2	1989 02 02.709368	173.529	37.088	0.167	-0.307
16451	4	1989 02 02.709368	518.104	119.965	0.103	-0.135
16456	1	1989 02 09.709906	41.598	4.264	-0.129	-0.073
16456	3	1989 02 09.709906	60.708	0.213	-0.100	-0.145
16456	2	1989 02 09.709906	181.044	40.964	-0.099	0.007
16456	4	1989 02 09.709906	-500.551	-129.169	0.005	-0.462
16480	2	1989 02 10.702453	-77.586	-29.073	-0.117	-0.205
16480	3	1989 02 10.702453	-181.997	-56.865	-0.144	-0.333
16480	4	1989 02 10.702453	-511.094	-121.860	-0.132	-0.598
16497	2	1989 02 13.735717	86.920	10.958	-0.019	-0.044
16497	1	1989 02 13.735717	-112.699	-28.816	-0.055	-0.172
16497	4	1989 02 13.735717	-149.086	-11.855	-0.056	-0.300
16878	2	1989 12 05.977263	67.037	-14.508	0.016	-0.057
16878	3	1989 12 05.977263	316.500	-20.184	-0.010	0.071
16878	4	1989 12 05.977263	-102.824	-12.207	0.038	-0.129
16928	1	1990 01 12.889378	-58.047	7.083	-0.301	-0.132
16928	2	1990 01 12.889378	172.427	-3.503	-0.121	-0.086
16928	4	1990 01 12.889378	-560.266	31.659	-0.072	-0.349
16945	2	1990 01 22.850452	-64.996	10.700	-0.002	-0.178
16945	1	1990 01 22.850452	-55.306	-2.836	-0.065	-0.214
16945	3	1990 01 22.850452	-218.727	16.240	0.023	-0.082
16945	4	1990 01 22.850452	320.646	-28.611	-0.037	-0.226
16970	1	1990 02 22.809714	51.347	2.979	0.063	-0.045
16970	2	1990 02 22.809714	-172.732	0.998	0.049	0.002
16970	3	1990 02 22.809714	312.190	-3.543	-0.049	-0.053
16977	1	1990 02 23.769667	-81.207	-1.814	-0.085	-0.086
16977	2	1990 02 23.769667	-68.037	9.065	-0.100	-0.070
16977	3	1990 02 23.769667	248.439	-11.237	-0.179	-0.106
16977	4	1990 02 23.769667	491.981	-18.868	-0.136	-0.114
16991	1	1990 03 11.800122	-104.858	0.492	-0.218	-0.021
16991	2	1990 03 11.800122	56.830	-8.746	-0.193	-0.066

Таблица 2. Продолжение

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
16991	3	1990 03 11.800122	-171.050	-5.138	-0.198	-0.067
16991	4	1990 03 11.800122	516.092	-16.561	-0.288	-0.359
17075	2	1990 04 03.749362	-90.268	9.294	-0.129	-0.403
17075	1	1990 04 03.749362	-83.867	0.531	-0.149	-0.305
17075	3	1990 04 03.749362	-267.304	11.826	-0.154	-0.347
17114	2	1990 04 10.745848	-116.262	10.487	-0.234	-0.280
17114	1	1990 04 10.745848	-57.648	-0.667	-0.234	-0.233
17114	3	1990 04 10.745848	-271.349	12.495	-0.279	-0.260
17114	4	1990 04 10.745848	229.569	2.247	-0.259	-0.389
17426	1	1990 12 16.020435	80.931	-27.793	0.158	-0.029
17426	4	1990 12 16.020435	-296.016	100.584	0.191	-0.155
17477	2	1991 01 14.976398	109.288	-36.313	-0.046	-0.032
17477	1	1991 01 14.976398	114.211	-36.924	0.038	0.003
17477	3	1991 01 14.976398	-310.227	97.145	0.126	-0.020
17477	4	1991 01 14.976398	-549.690	173.007	0.104	-0.120
17531	1	1991 02 11.924633	94.355	-27.457	0.080	-0.001
17531	2	1991 02 11.924633	198.012	-60.587	-0.104	-0.061
17531	3	1991 02 11.924633	-221.485	62.566	0.039	-0.004
17531	4	1991 02 11.924633	365.368	-109.973	-0.168	-0.116
17550	2	1991 02 28.886748	87.626	-24.855	-0.123	-0.201
17550	1	1991 02 28.886748	-124.379	35.114	-0.114	-0.127
17550	4	1991 02 28.886748	295.049	-86.383	-0.105	-0.259
17571	1	1991 03 01.840397	124.263	-35.544	-0.222	-0.049
17571	2	1991 03 01.840397	168.755	-49.864	-0.204	-0.015
17571	3	1991 03 01.840397	227.108	-61.459	-0.184	-0.029
17571	4	1991 03 01.840397	106.108	-33.407	-0.241	-0.054
17589	4	1991 03 02.822316	-101.795	24.926	-0.168	-0.035
17589	2	1991 03 02.822316	-130.266	36.974	-0.163	0.000
17589	3	1991 03 02.822316	315.699	-88.580	-0.177	-0.015
17589	1	1991 03 02.822316	-113.566	32.570	-0.185	-0.019
17607	1	1991 03 03.820785	82.602	-24.232	-0.234	-0.019
17607	2	1991 03 03.820785	-118.186	35.073	-0.239	-0.021
17607	3	1991 03 03.820785	178.421	-52.491	-0.224	-0.076
17607	4	1991 03 03.820785	-297.760	80.014	-0.223	-0.074
17644	1	1991 03 16.863160	-121.191	33.387	-0.132	-0.263
17644	2	1991 03 16.863160	-81.706	22.110	-0.062	-0.038
17644	3	1991 03 16.863160	303.950	-83.051	-0.211	-0.347
17644	4	1991 03 16.863160	389.771	-109.941	-0.149	-0.345
17650	1	1991 03 26.781600	88.125	-25.007	0.158	-0.066
17650	2	1991 03 26.781600	140.885	-40.721	0.124	-0.100
17650	3	1991 03 26.781600	-201.267	51.995	-0.205	-0.106
17650	4	1991 03 26.781600	-95.010	29.386	-0.298	-0.078
18124	3	1992 03 07.905751	66.911	-37.726	0.024	-0.246
18124	4	1992 03 07.905751	-470.681	217.691	0.122	-0.101
18132	1	1992 03 10.904687	106.121	-49.730	0.008	-0.270

Таблица 2. Продолжение

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
18132	2	1992 03 10.904687	-147.201	62.096	0.043	-0.234
18132	3	1992 03 10.904687	82.467	-29.940	-0.007	-0.259
18132	4	1992 03 10.904687	-428.549	181.641	0.019	-0.231
18156	1	1992 03 16.850975	-27.259	15.616	-0.132	0.058
18156	2	1992 03 16.850975	-44.693	26.998	-0.085	0.024
18156	3	1992 03 16.850975	293.003	-128.941	-0.205	0.025
18156	4	1992 03 16.850975	513.757	-232.492	-0.241	-0.005
18174	1	1992 03 17.874490	78.796	-38.060	-0.088	-0.111
18174	2	1992 03 17.874490	-169.098	72.975	-0.129	-0.206
18174	3	1992 03 17.874490	123.828	-48.701	-0.099	-0.133
18174	4	1992 03 17.874490	528.593	-233.011	-0.134	0.106
18183	1	1992 03 19.868878	118.540	-53.303	-0.136	-0.073
18183	2	1992 03 19.868878	120.323	-48.937	-0.101	0.011
18183	3	1992 03 19.868878	-293.596	132.183	-0.078	0.029
18183	4	1992 03 19.868878	340.169	-139.579	-0.120	0.001
18202	2	1992 03 31.869526	-183.908	81.380	-0.108	-0.039
18202	3	1992 03 31.869526	184.532	-76.408	-0.115	-0.190
18202	4	1992 03 31.869526	337.980	-159.410	-0.275	-0.125
18792	1	1993 04 10.932048	-41.687	12.907	-0.248	0.006
18792	2	1993 04 10.932048	177.825	-79.117	-0.335	-0.106
18792	3	1993 04 10.932048	-295.369	140.818	-0.133	0.046
18792	4	1993 04 10.932048	12.975	22.935	-0.204	0.081
18801	1	1993 04 15.948495	-115.139	52.107	-0.234	-0.343
18801	2	1993 04 15.948495	-182.334	87.434	-0.255	-0.444
18801	3	1993 04 15.948495	131.547	-47.965	-0.164	-0.154
18810	1	1993 04 16.917798	104.090	-45.772	-0.218	-0.100
18810	3	1993 04 16.917798	-114.771	67.847	-0.217	-0.233
18810	4	1993 04 16.917798	-411.390	173.004	-0.337	-0.382
18819	1	1993 04 20.875062	-45.898	27.537	-0.133	0.009
18819	2	1993 04 20.875062	106.165	-59.228	-0.075	0.069
18819	3	1993 04 20.875062	197.438	-104.034	-0.060	0.088
18819	4	1993 04 20.875062	285.984	-156.963	-0.124	0.037
18856	2	1993 04 27.859999	73.754	-45.608	-0.162	-0.375
18856	3	1993 04 27.859999	163.839	-89.881	-0.174	-0.388
18856	4	1993 04 27.859999	-50.938	50.729	-0.104	-0.279
20713	2	1998 09 02.009797	-123.438	-66.335	0.137	-0.294
20713	3	1998 09 02.009797	-231.819	-121.172	0.195	-0.298
20713	1	1998 09 02.009797	49.333	29.137	-0.002	-0.109
20730	1	1998 09 13.946340	-122.677	-56.185	-0.122	-0.221
20730	2	1998 09 13.946340	-39.978	-8.528	-0.108	-0.172
20730	3	1998 09 13.946340	322.794	149.828	-0.217	-0.113
20730	4	1998 09 13.946340	-564.560	-258.784	-0.146	-0.322
20740	1	1998 10 03.864749	62.519	34.141	0.101	-0.499
20740	2	1998 10 03.864749	-104.038	-56.828	-0.187	-0.124
20761	2	1998 11 20.748863	82.024	44.780	-0.312	-0.260

Таблица 2. Продолжение

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
20761	1	1998 11 20.748863	94.432	46.955	-0.303	-0.243
20770	1	1998 12 22.702764	100.970	48.493	0.363	-0.250
20770	3	1998 12 22.702764	265.285	125.846	-0.041	-0.195
20900	1	1999 08 25.037039	-123.272	-46.099	0.220	-0.171
20900	2	1999 08 25.037039	37.422	25.053	0.134	-0.240
20900	3	1999 08 25.037039	164.545	45.348	0.098	-0.243
20900	4	1999 08 25.037039	425.412	136.394	0.021	-0.370
20911	1	1999 09 02.000435	125.401	46.446	-0.021	-0.160
20911	2	1999 09 02.000435	201.347	72.370	-0.029	-0.223
20911	3	1999 09 02.000435	-50.837	-39.464	-0.066	-0.163
20911	4	1999 09 02.000435	-475.831	-159.792	-0.112	0.086
20925	1	1999 09 06.,996357	63.523	31.111	0.194	-0.087
20925	2	1999 09 06.996357	-180.762	-72.560	0.266	-0.154
20925	3	1999 09 06.996357	320.229	124.862	0.084	-0.128
20925	4	1999 09 06.996357	440.738	187.353	0.107	-0.468
20948	1	1999 10 23.866530	-74.715	-37.200	-0.013	0.271
20948	2	1999 10 23.866530	-135.200	-42.301	0.056	0.266
20948	3	1999 10 23.866530	-334.629	-129.262	0.009	0.262
20948	4	1999 10 23.866530	-146.997	-21.256	0.028	0.257
20952	1	1999 11 18.840457	128.638	51.363	-0.177	-0.108
20952	2	1999 11 18.,840457	205.780	86.387	-0.180	-0.125
20952	3	1999 11 18.,840457	146.493	42.473	-0.172	-0.175
20952	4	1999 11 18.840457	-87.595	-71.895	-0.214	-0.122
21081	1	2000 09 29.055386	110.713	11.241	0.290	-0.207
21081	2	2000 09 29.055386	-159.398	-15.971	0.493	-0.210
21081	3	2000 09 29.055386	244.904	21.993	0.116	-0.227
21081	4	2000 09 29.055386	555.974	67.469	0.219	-0.241
21094	1	2000 10 20.962826	-133.311	-20.309	0.256	-0.016
21094	2	2000 10 20.962826	38.458	15.362	0.267	-0.161
21094	3	2000 10 20.962826	150.499	4.189	0.271	-0.215
21094	4	2000 10 20.962826	-366.355	-77.390	0.289	0.072
21101	1	2000 11 17.931372	-33.449	-13.227	0.110	-0.060
21101	2	2000 11 17.931372	-117.062	-10.075	0.149	-0.110
21101	3	2000 11 17.931371	296.112	38.249	0.087	-0.020
21101	4	2000 11 17.931371	616.229	92.680	0.020	0.019
21255	4	2001 12 09.024899	542.934	-75.363	-0.123	-0.338
21255	3	2001 12 09.024899	333.508	-38.181	-0.113	-0.297
21255	2	2001 12 09.024899	-42.674	-0.600	-0.250	-0.107
21255	1	2001 12 09.024899	-122.170	13.089	-0.417	-0.086
21260	1	2001 12 18.024941	-136.613	16.117	0.073	-0.130
21260	3	2001 12 18.024941	58.326	-18.731	0.051	-0.228
21260	2	2001 12 18.024941	97.231	-5.910	0.070	-0.180
21260	4	2001 12 18.024941	-442.799	62.635	0.189	-0.129
21269	2	2002 02 22.767915	-131.326	11..567	-0.285	0.336
21269	3	2002 02 22.767915	-289.548	21.818	-0.278	0.407

Таблица 2. Окончание

№ астероида	№ спутника	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
21269	4	2002 02 22.767915	-362.673	34.236	-0.342	0.333
21276	1	2002 02 26.792436	-122.335	8.138	-0.217	-0.0039
21276	3	2002 02 26.792436	212.435	-20.319	-0.294	-0.089
21276	4	2002 02 26.792436	403.526	-12.886	-0.224	-0.041
21284	2	2002 03 12.777303	-50.314	7.264	0.216	-0.183
21284	3	2002 03 12.777303	258.750	-20.737	-0.228	-0.077
21284	1	2002 03 12.777303	-111.090	5.430	-0.164	-0.009
21297	1	2002 03 19.804196	-98.852	4.188	-0.126	-0.220
21297	2	2002 03 19.804196	-73.819	8.444	-0.148	-0.167
21297	3	2002 03 19.804196	269.227	-20.589	-0.106	0.216
21297	4	2002 03 19.804196	351.353	-32.856	-0.019	0.499
21304	1	2002 03 30.807129	-79.818	8.008	-0.118	-0.046
21304	3	2002 03 30.807129	-227.061	21.018	-0.143	-0.159
21304	4	2002 03 30.807129	136.451	3.901	-0.160	0.039
21310	1	2002 04 02.831099	-57.149	1.058	-0.184	-0.211
21310	2	2002 04 02.831099	-120.089	11.077	-0.150	-0.316
21310	3	2002 04 02.831099	278.935	-21.291	-0.185	0.038
21310	4	2002 04 02.831099	492.857	-33.245	-0.113	0.212
21318	1	2002 04 04.835200	-108.915	7.261	-0.288	-0.153
21318	2	2002 04 04.835200	65.296	-8.507	-0.244	0.041
21318	3	2002 04 04.835200	-95.774	-1.780	-0.278	-0.144
21318	4	2002 04 04.835200	419.671	-38.049	-0.181	0.492
21571	2	2004 03 04.903348	116.264	-48.853	-0.009	-0.390
21571	1	2004 03 04.903348	119.335	-55.879	0.099	-0.439
21571	3	2004 03 04.903348	296.150	-139.707	0.128	-0.352
21571	4	2004 03 04.903348	320.598	-162.447	0.041	-0.380
21586	1	2004 03 11.942273	117.668	-54.983	0.018	-0.038
21586	2	2004 03 11.942273	130.107	-54.995	0.006	-0.056
21586	3	2004 03 11.942273	289.393	-136.517	-0.049	-0.058
21586	4	2004 03 11.942273	-91.036	59.281	-0.020	-0.087
21611	2	2004 04 08.808953	182.583	-81.618	0.026	0.186
21611	3	2004 04 08.808953	182.016	-88.900	-0.017	0.151
21611	4	2004 04 08.808953	493.518	-226.278	0.274	0.440
21620	2	2004 04 16.775253	24.419	-6.419	-0.168	0.007
21620	3	2004 04 16.775253	281.289	-129.039	-0.123	-0.053
21620	4	2004 04 16.775253	-462.950	213.574	-0.164	0.141
21762	1	2005 03 29.944639	-84.476	43.166	-0.045	-0.309
21762	2	2005 03 29.944639	144.925	-71.86	-0.012	-0.283
21762	3	2005 03 29.944639	-242.126	120.864	-0.010	-0.286
21762	4	2005 03 29.944639	344.395	-131.930	0.036	-0.252
21773	1	2005 03 31.994485	-115.108	50.565	0.055	-0.231
21773	2	2005 03 31.994485	-187.062	86.352	-0.113	-0.225
21773	3	2005 03 31.994485	-119.330	38.215	-0.107	-0.134
21773	4	2005 03 31.994485	-40.677	48.985	-0.064	-0.167
21780	1	2005 04 01.937770	107.965	-46.638	-0.082	-0.432
21780	3	2005 04 01.937770	123.251	-72.887	0.080	-0.457
21780	4	2005 04 01.937770	-224.748	129.058	-0.092	-0.392

Таблица 3. Относительные координаты галилеевых спутников Юпитера вида “спутник – спутник” ($S_i - S_j$) относительно истинных экватора и равноденствия на эпоху даты

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
2	1	1986 10 17.859248	214.480	103.072	0.070	-0.086
3	1	1986 10 17.859248	134.297	56.698	0.036	-0.040
3	2	1986 10 17.859248	-80.180	-46.374	0.043	0.019
2	1	1986 10 18.822046	-150.318	-80.900	0.124	-0.044
3	1	1986 10 18.822046	-210.853	-110.101	0.066	0.034
3	2	1986 10 18.822046	-60.535	-29.201	-0.061	0.078
3	2	1986 10 25.732265	-61.317	-30.291	-0.035	0.006
2	1	1986 11 13.712292	-20.390	-5.313	-0.176	-0.031
2	1	1986 11 15.739394	159.796	66.281	-0.070	-0.015
3	1	1986 11 15.739394	122.850	45.688	-0.054	0.007
3	2	1986 11 15.739394	-36.946	-20.593	0.018	0.023
2	1	1986 11 15.751090	153.413	63.063	0.199	0.040
3	1	1986 11 15.751090	116.960	42.622	0.138	-0.128
3	2	1986 11 15.751090	-36.453	-20.441	-0.059	-0.168
2	1	1986 12 07.657453	-216.940	-106.383	0.089	-0.130
3	1	1986 12 07.657453	-180.483	-91.339	0.093	-0.060
3	2	1986 12 07.657453	36.502	15.044	0.051	0.070
2	1	1986 12 07.669432	-219.886	-107.661	0.089	-0.243
3	1	1986 12 07.669432	-183.395	-92.641	0.111	-0.182
3	2	1986 12 07.669432	36.491	15.020	0.024	0.061
2	1	1986 12 31.681352	212.391	96.096	-0.035	0.132
3	1	1986 12 31.681352	-0.086	-26.177	0.005	-0.012
2	1	1986 12 31.711199	202.147	90.846	-0.126	0.240
3	1	1986 12 31.711199	-65.228	-26.095	0.046	-0.097
2	1	1987 01 05.646221	-92.660	-42.211	0.008	-0.089
3	1	1987 01 05.646221	-60.978	-32.394	0.020	-0.078
3	2	1987 01 05.646221	31.682	9.817	0.012	0.010
2	1	1987 01 06.662568	-49.164	-18.608	0.057	-0.011
3	2	1987 01 06.662568	-289.323	-142.758	0.100	-0.151
2	1	1987 01 08.632809	-186.132	-92.224	0.155	-0.256
2	1	1987 10 03.935206	174.280	81.838	0.053	-0.179
3	2	1987 10 03.935206	142.818	27.173	-0.152	-0.219
4	3	1987 10 03.935206	273.354	151.001	0.095	-0.182
3	2	1987 10 13.900614	-167.209	-73.996	-0.077	0.207
4	3	1987 10 13.900614	-269.981	-118.151	-0.031	0.286
2	1	1987 10 29.880299	191.076	80.810	0.049	-0.147
3	1	1987 10 29.880299	92.188	67.985	0.032	0.061
3	1	1987 10 30.792112	247.868	108.848	0.006	-0.233
2	1	1987 10 30.792112	-181.420	-97.494	-0.031	0.207
2	1	1987 12 17.722011	41.086	23.542	0.046	0.044
4	3	1987 12 17.722011	-195.760	-114.579	-0.002	-0.050
4	2	1988 01 23.686711	-343.523	-121.582	0.205	0.023

Таблица 3. Продолжение

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
4	2	1988 01 23.702071	-337.266	-118.891	0.246	-0.047
2	1	1988 01 25.630632	-2.042	5.199	-0.017	0.029
3	1	1988 01 25.630632	178.697	69.476	-0.213	0.292
4	1	1988 01 25.630632	-160.037	-47.960	-0.204	0.168
3	2	1988 01 25.630632	180.738	64.278	-0.196	0.263
4	2	1988 01 25.630632	-157.996	-53.158	-0.189	0.139
3	2	1988 01 26.652149	-29.312	-19.116	-0.082	-0.000
2	1	1988 01 26.652149	229.209	93.948	-0.277	-0.192
1	2	1988 01 28.673967	-15.164	-12.608	0.045	-0.049
3	2	1988 01 28.673967	-190.029	-93.794	0.135	-0.190
3	1	1988 01 28.673967	-174.865	-81.186	0.091	-0.140
1	3	1988 01 29.647236	267.382	101.689	-0.018	0.092
2	1	1988 01 29.647236	96.050	49.849	-0.033	0.058
2	1	1988 10 06.112185	-36.011	-21.271	-0.026	-0.061
3	1	1988 10 06.112185	-231.685	-47.263	0.043	-0.096
3	2	1988 10 06.112185	-195.674	-25.992	0.077	-0.034
4	2	1988 10 13.879154	-36.518	-42.663	-0.027	0.006
3	2	1988 10 13.879154	-94.472	-13.345	-0.050	0.183
3	4	1988 10 13.879154	-57.954	29.318	-0.018	0.177
2	1	1988 10 30.991926	-95.661	-35.562	0.028	-0.062
4	2	1988 10 30.991926	-187.475	-54.974	0.078	-0.049
2	1	1989 01 09.708652	-13.551	-21.593	0.061	-0.023
3	1	1989 01 24.691951	230.817	65.641	-0.111	0.273
2	1	1989 01 24.691951	-267.284	-58.545	0.070	-0.321
2	1	1989 01 27.730430	-220.696	-67.697	0.044	-0.254
4	2	1989 01 27.730430	-64.039	17.105	-0.018	-0.049
3	2	1989 01 27.730430	-109.148	-29.352	0.003	-0.023
3	4	1989 01 27.730430	-45.109	-46.457	0.020	0.026
3	1	1989 02 09.709906	19.109	-4.050	0.028	-0.071
2	1	1989 02 09.709906	139.434	36.725	0.018	0.105
2	3	1989 02 09.709906	120.324	40.775	-0.011	0.177
3	2	1989 02 10.702453	-104.424	-27.770	-0.035	-0.106
4	2	1989 12 05.977263	-169.865	2.307	0.023	-0.066
2	1	1990 01 12.889378	230.474	-10.558	0.184	0.074
1	2	1990 01 22.850452	9.689	-13.497	-0.064	0.002
3	2	1990 01 22.850452	-153.725	5.626	0.027	0.181
3	1	1990 01 22.850452	-163.414	19.123	0.096	0.178
2	1	1990 02 22.809714	-224.079	-1.953	-0.015	0.075
3	1	1990 02 22.809714	260.845	-6.422	-0.109	0.091
2	1	1990 02 23.769667	13.171	10.877	-0.013	0.013
4	3	1990 02 23.769667	243.555	-7.441	0.050	0.182
2	1	1990 03 11.800122	161.688	-9.245	0.024	-0.051
3	1	1990 03 11.800122	-66.194	-5.611	0.017	-0.027

Таблица 3. Продолжение

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
3	2	1990 03 11.800122	-227.882	3.634	-0.003	0.024
1	2	1990 04 03.749362	6.399	-8.764	-0.021	0.097
3	2	1990 04 03.749362	-177.031	2.599	-0.023	0.123
3	1	1990 04 03.749362	-183.430	11.363	0.001	0.026
1	2	1990 04 10.745848	58.612	-11.143	0.042	0.033
3	2	1990 04 10.745848	-155.082	2.099	0.000	0.086
3	1	1990 04 10.745848	-213.694	13.242	-0.037	0.053
1	2	1991 01 14.976398	4.924	-0.611	0.085	0.035
4	3	1991 01 14.976398	-239.359	76.027	0.044	0.064
2	1	1991 02 11.924633	103.673	-33.105	-0.013	-0.034
4	2	1991 02 11.924633	167.404	-49.306	-0.032	0.024
1	2	1991 02 28.886748	-212.001	59.975	0.022	0.080
4	2	1991 02 28.886748	207.463	-61.459	0.049	0.011
2	1	1991 03 01.840397	44.499	-14.309	0.022	0.045
3	1	1991 03 01.840397	102.861	-25.884	0.047	0.051
4	1	1991 03 01.840397	-18.156	2.133	-0.019	-0.009
3	2	1991 03 01.840397	58.362	-11.575	0.023	0.005
4	2	1991 03 01.840397	-62.655	16.442	-0.040	-0.054
4	3	1991 03 01.840397	-121.017	28.017	-0.061	-0.060
2	4	1991 03 02.822316	-28.467	12.054	0.007	0.041
1	4	1991 03 02.822316	-11.769	7.646	-0.015	0.017
1	2	1991 03 02.822316	16.698	-4.408	-0.022	-0.024
2	1	1991 03 03.820785	-200.786	59.311	0.005	0.004
3	1	1991 03 03.820785	95.830	-28.237	0.016	-0.035
4	2	1991 03 03.820785	-179.539	45.006	0.039	0.011
2	1	1991 03 26.781600	52.766	-15.703	-0.029	-0.022
4	3	1991 03 26.781600	106.244	-22.597	-0.095	0.040
3	1	1992 03 10.904687	-23.656	19.788	-0.017	0.009
2	1	1992 03 16.850975	-17.433	11.383	0.047	-0.032
4	3	1992 03 16.850975	220.767	-103.596	-0.047	-0.075
3	1	1992 03 17.874490	45.034	-10.637	-0.010	-0.018
2	1	1992 03 19.868878	1.782	4.366	0.034	0.084
4	1	1992 03 19.868878	221.664	-86.232	0.041	0.119
4	2	1992 03 19.868878	219.882	-90.598	0.007	0.034
4	3	1992 03 31.869526	153.484	-82.966	-0.135	0.100
2	1	1993 04 15.948495	-67.196	35.326	-0.021	-0.101
3	1	1993 04 16.917798	-218.861	113.618	-0.000	-0.133
2	1	1993 04 20.875062	152.062	-86.766	0.056	0.059
3	2	1993 04 20.875062	91.272	-44.807	0.015	0.018
4	2	1993 04 20.875062	179.815	-97.739	-0.051	-0.035
4	3	1993 04 20.875062	88.543	-52.930	-0.066	-0.051
3	2	1998 09 02.009797	-108.381	-54.837	0.055	-0.004
3	1	1998 09 02.009797	-281.152	-50.309	0.200	-0.189

Таблица 3. Продолжение

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
2	1	1998 09 02.009797	-172.771	-95.472	0.141	-0.185
4	3	1998 09 13.946340	-887.354	-408.612	0.116	-0.208
4	2	1998 09 13.946340	-524.582	-250.256	-0.039	-0.149
4	1	1998 09 13.946340	-441.883	-202.599	-0.032	-0.100
3	2	1998 09 13.946340	362.772	158.356	-0.107	0.059
3	1	1998 09 13.946340	445.471	206.013	-0.085	0.108
2	1	1998 09 13.946340	82.699	47.657	0.015	0.049
4	3	1998 11 20.748864	-78.305	-24.145	0.009	-0.197
2	1	1998 11 20.748864	-12.408	-2.175	-0.008	-0.017
3	2	1999 01 08.701670	-32.817	-27.241	-0.021	-0.107
3	1	1999 01 08.701670	-71.990	-42.340	0.054	-0.185
2	1	1999 01 08.701670	-39.173	-15.099	0.076	-0.078
4	3	1999 08 19.000998	130.926	99.697	0.027	-0.169
4	2	1999 08 19.000998	-168.822	-23.913	0.072	-0.027
4	1	1999 08 19.000998	-96.117	1.105	0.070	-0.092
3	2	1999 08 19.000998	-299.748	-123.610	0.028	0.142
3	1	1999 08 19.000998	-227.043	-98.592	0.029	0.077
2	1	1999 08 19.000998	72.705	25.018	-0.006	-0.064
4	3	1999 08 25.037040	260.867	91.046	-0.065	-0.127
4	2	1999 08 25.037040	387.990	111.341	-0.103	-0.130
4	1	1999 08 25.037040	548.684	182.493	-0.224	-0.199
3	2	1999 08 25.037040	127.123	20.295	-0.032	-0.002
3	1	1999 08 25.037040	287.817	91.447	-0.135	-0.071
2	1	1999 08 25.037040	160.694	71.152	-0.093	-0.068
4	3	1999 09 02.000436	-424.994	-120.328	-0.029	0.249
4	2	1999 09 02.000436	-677.178	-232.162	-0.132	0.309
4	1	1999 09 02.000436	-601.232	-206.238	-0.119	0.246
3	2	1999 09 02.000436	-252.184	-111.834	-0.055	0.059
3	1	1999 09 02.000436	-176.238	-85.910	-0.053	-0.003
2	1	1999 09 02.000436	75.946	25.924	-0.004	-0.062
4	3	1999 09 06.996358	120.509	62.491	0.037	-0.339
4	2	1999 09 06.996358	621.500	259.913	-0.205	-0.313
4	1	1999 09 06.996358	377.215	156.242	-0.075	-0.380
3	2	1999 09 06.996358	500.991	197.422	-0.219	0.025
3	1	1999 09 06.996358	256.706	93.751	-0.101	-0.041
2	1	1999 09 06.996358	-244.285	-103.671	0.065	-0.067
4	3	1999 10 23.866530	187.632	108.006	-0.002	-0.005
4	2	1999 10 23.866530	-11.797	21.045	-0.027	-0.009
4	1	1999 10 23.866530	-72.282	15.944	0.043	-0.014
3	2	1999 10 23.866530	-199.429	-86.961	-0.039	-0.004
3	1	1999 10 23.866530	-259.914	-92.062	0.031	-0.009
2	1	1999 10 23.866530	-60.485	-5.101	0.071	-0.004
4	3	1999 11 18.840458	-234.088	-114.368	-0.049	0.052

Таблица 3. Продолжение

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
4	2	1999 11 18.840458	-293.377	-158.282	-0.056	0.003
4	1	1999 11 18.840458	-216.233	-123.258	-0.045	-0.013
3	2	1999 11 18.840458	-59.287	-43.914	0.003	-0.049
3	1	1999 11 18.840458	17.855	-8.890	0.005	-0.066
2	1	1999 11 18.840458	77.142	35.024	0.000	-0.016
4	3	2000 09 29.055386	311.070	45.476	0.116	-0.013
4	2	2000 09 29.055386	715.372	83.440	-0.294	-0.031
4	1	2000 09 29.055386	445.261	56.228	-0.060	-0.033
3	2	2000 09 29.055386	404.302	37.964	-0.389	-0.017
3	1	2000 09 29.055386	134.192	10.752	-0.170	-0.020
2	1	2000 09 29.055386	-270.111	-27.212	0.197	-0.002
4	3	2000 10 20.962826	-516.854	-81.780	0.013	0.087
4	2	2000 10 20.962826	-404.813	-92.752	0.012	0.229
4	1	2000 10 20.962826	-233.044	-57.081	0.037	0.076
3	2	2000 10 20.962826	112.041	-11.173	0.009	-0.059
3	1	2000 10 20.962826	283.810	24.498	-0.000	-0.211
2	1	2000 10 20.962826	171.769	35.671	-0.002	-0.152
4	3	2000 11 17.931372	320.110	54.431	-0.044	0.040
4	2	2000 11 17.931372	733.291	102.755	-0.142	0.129
4	1	2000 11 17.931372	649.678	105.907	-0.105	0.080
3	2	2000 11 17.931372	413.174	48.324	-0.069	0.089
3	1	2000 11 17.931372	329.561	51.476	-0.030	0.040
2	1	2000 11 17.931372	-83.613	3.152	0.041	-0.049
4	3	2001 12 09.024899	209.426	-37.182	-0.045	-0.041
4	2	2001 12 09.024899	585.608	-74.763	-0.021	-0.247
4	1	2001 12 09.024899	665.104	-88.452	0.245	-0.287
3	2	2001 12 09.024899	376.182	-37.581	0.008	-0.206
3	1	2001 12 09.024899	455.678	-51.270	0.269	-0.246
2	1	2001 12 09.024899	79.496	-13.689	0.250	-0.040
4	3	2001 12 18.024941	-501.125	81.366	0.157	0.099
4	2	2001 12 18.024941	-540.030	68.545	0.126	0.051
4	1	2001 12 18.024941	-306.186	46.518	0.106	0.001
3	2	2001 12 18.024941	-38.905	-12.821	-0.018	-0.047
3	1	2001 12 18.024941	194.939	-34.848	-0.015	-0.097
2	1	2001 12 18.024941	233.844	-22.027	0.004	-0.050
4	3	2002 02 22.767916	-73.125	12.418	-0.067	-0.074
4	2	2002 02 22.767916	-231.347	22.669	-0.080	-0.009
3	2	2002 02 22.767916	-158.222	10.251	-0.014	0.065
4	3	2002 02 26.792437	191.041	7.433	0.011	0.048
4	3	2002 03 19.804196	82.126	-12.267	0.082	0.283
2	1	2002 03 19.804196	25.033	4.256	-0.022	0.052
4	3	2002 03 30.807129	363.512	-17.117	-0.001	0.198
4	1	2002 03 30.807129	216.269	-4.107	-0.038	0.085

Таблица 3. Окончание

S_i	S_j	Дата и момент наблюдений (UTC)	$X'' = \Delta\alpha \cos \delta$	$Y'' = \Delta\delta$	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$
			(Топоцентрические, сферические)			
3	1	2002 03 30.807129	-147.243	13.010	-0.027	-0.112
4	3	2002 04 02.831099	213.922	-11.954	0.062	0.173
4	2	2002 04 02.831099	612.946	-44.322	0.051	0.529
4	1	2002 04 02.831099	550.006	-34.303	0.072	0.423
3	2	2002 04 02.831099	399.024	-32.368	-0.025	0.355
3	1	2002 04 02.831099	336.084	-22.349	0.000	0.249
2	1	2002 04 02.831099	-62.940	10.019	0.034	-0.105
3	2	2002 04 04.835200	-161.070	6.727	-0.030	-0.185
3	1	2002 04 04.835200	13.141	-9.041	0.010	0.009
2	1	2002 04 04.835200	174.211	-15.768	0.046	0.194
4	3	2004 03 04.903349	24.448	-22.740	-0.086	-0.027
4	2	2004 03 04.903349	204.334	-113.594	0.045	0.010
4	1	2004 03 04.903349	201.263	-106.568	-0.065	0.059
3	2	2004 03 04.903349	179.886	-90.854	0.138	0.037
3	1	2004 03 04.903349	176.815	-83.828	0.028	0.086
2	1	2004 03 04.903349	-3.071	7.026	-0.109	0.048
4	2	2004 03 11.942274	-221.143	114.276	-0.019	-0.030
4	1	2004 03 11.942274	-208.704	114.264	-0.031	-0.049
3	2	2004 03 11.942274	159.286	-81.522	-0.062	-0.002
3	1	2004 03 11.942274	171.725	-81.534	-0.074	-0.020
2	1	2004 03 11.942274	12.439	0.012	-0.012	0.005
4	3	2004 04 08.808954	311.502	-137.378	0.269	0.288
4	2	2004 04 08.808954	310.935	-144.660	0.228	0.253
3	2	2004 04 08.808954	-0.567	-7.282	-0.043	-0.035
4	3	2004 04 16.775253	-744.239	342.613	0.035	0.195
4	2	2004 04 16.775253	-487.369	219.993	0.006	0.134
3	2	2004 04 16.775253	256.870	-122.620	0.044	-0.061
4	3	2005 03 29.944640	586.521	-252.794	0.021	0.033
4	2	2005 03 29.944640	199.470	-60.070	0.054	0.029
4	1	2005 03 29.944640	428.871	-175.096	0.076	0.039
3	2	2005 03 29.944640	-387.051	192.724	-0.007	-0.003
3	1	2005 03 29.944640	-157.650	77.698	0.038	0.005
2	1	2005 03 29.944640	229.401	-115.026	0.030	0.009
4	3	2005 03 31.994485	78.653	10.770	0.042	-0.033
4	2	2005 03 31.994485	146.385	-37.367	0.044	0.057
4	1	2005 03 31.994485	74.431	-1.580	-0.060	0.016
3	2	2005 03 31.994485	67.732	-48.137	0.003	0.090
3	1	2005 03 31.994485	-4.222	-12.350	-0.101	0.050
2	1	2005 03 31.994485	-71.954	35.787	-0.106	-0.040
4	3	2005 04 01.937770	-347.999	201.945	-0.181	0.064
4	1	2005 04 01.937770	-332.713	175.696	-0.015	0.040
3	1	2005 04 01.937770	15.286	-26.249	0.163	-0.024

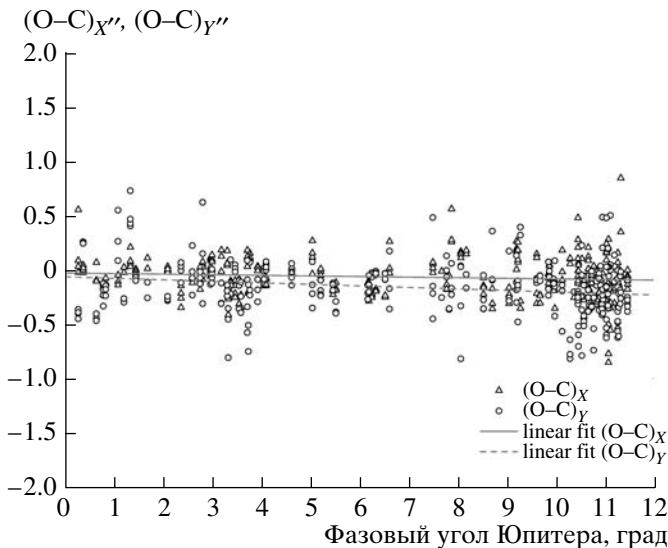


Рис. 1. Зависимость $(O-C)_X, Y$ для иовицентрических координат галилеевых спутников от фазового угла Юпитера в градусах.

УЧЕТ ЭФФЕКТА ФАЗЫ ЮПИТЕРА

В иовицентрических координатах спутников учтена поправка за фазу Юпитера. Проблеме учета фазы в планетоцентрических наблюдениях спутников планет было посвящено специальное исследование, выполненное на основе анализа рядов наблюдений спутников Юпитера на 26-дюймовом рефракторе (Киселева, 1987; 1996). Было показано, что при наличии длительных рядов наблюдений, охватывающих полный диапазон изменения фазовых углов, можно выявить закон для определения фазовых поправок. Эта задача была решена путем решения систем уравнений по двум координатам X и Y раздельно, в которых $(O-C)_X$ и $(O-C)_Y$ представлялись зависящими от фазовых поправок, а также поправок масштаба и ориентировки. Коэффициенты фазы для геометрического закона и ортотропного получились различными: 0.5 – для ортотропного и 3.5 – для геометрического закона. Коэффициент фазы 3.5 для геометрического закона хорошо согласуется с результатами исследования Pascu, приведенными в его работе о наблюдениях спутников планет и об учете фазы в планетоцентрических координатах спутников (Pascu, 1994). В нашей ра-

боте фазовые поправки вычислялись по формуле для ортотропного закона отражения от поверхности планеты (Бронникова, Киселев, 1973) с коэффициентом $K = 0.5$.

$$\Delta\alpha_\phi \cos\delta = K \frac{3}{16} r \pi \sin Q \frac{\sin\phi(1 + \cos\phi)}{(\pi - \phi)\cos\phi + \sin\phi}, \quad (2)$$

$$\Delta\delta_\phi = K \frac{3}{16} r \pi \cos Q \frac{\sin\phi(1 + \cos\phi)}{(\pi - \phi)\cos\phi + \sin\phi}.$$

Здесь ϕ – фазовый угол Юпитера, Q – позиционный угол точки наименьшей освещенности на лимбе Юпитера, r – видимый радиус Юпитера, $K = 0.5$ (для 26-дюймового рефрактора). Поправки за фазу были учтены в иовицентрических координатах спутников.

Для проверки правильности учета фазы все $(O-C)$ были исследованы в зависимости от фазовых углов Юпитера. Результаты исследования отражены на рис. 1 (по оси абсцисс отложены фазовые углы Юпитера в градусах (максимальный угол равен 12°), по оси ординат $(O-C)_X$ и $(O-C)_Y$ в секундах дуги). Как видно из рисунка, остаточная ошибка фазы не выявляется на фоне других ошибок наблюдений.

СРАВНЕНИЕ С ТЕОРИЕЙ И АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты наблюдений сравнивались с современными теориями движения спутников Юпитера: V. Lainey – L.1.1, J.H. Lieske – E5, J.-E. Arlot – G5 (Lainey и др., 2004; Lieske, 1998; Arlot, 1982) с помощью средств вычисления эфемерид (Емельянов и др., 2006). Вычислялись разности между наблюденными и теоретическими координатами галилеевых спутников $(O-C)_X$ и $(O-C)_Y$. Анализ этих разностей позволяет сделать оценку точности наблюдений и эфемерид. Следует отметить, что расхождение в представлении наблюдений тремя вышеупомянутыми теориями очень невелико. Таблица 4 иллюстрирует это расхождение. В ней для 4-го спутника (Каллисто) представлены следующие значения: средние $(O-C)_X$ и $(O-C)_Y$ и среднеквадратические ошибки одного наблюдения – σ_X , σ_Y .

Как видно из таблицы, различия в представлении незначительны (в пределах точности наблюдений), потому для анализа мы брали всегда одну из этих теорий, а именно первую – L.1.1.

Анализ $(O-C)_X$, $(O-C)_Y$ за весь период наблюдений (1986–2005 гг.) дает возможность определить среднеквадратические ошибки одного наблюдения (среднего по всем изображениям системы спутников на пластинке) для каждого спутника, представляющие собой внешние ошибки относительных положений спутников в представляемом ряде наблюдений. В табл. 5 представлены средние значения $(O-C)_X$ и $(O-C)_Y$ и внешние среднеквадратические ошибки для каждого спутника.

Таблица 4. Сравнение результатов анализа $(O-C)$ для 4-го спутника по трем теориям движения

Теория	$(O-C)_X''$	$(O-C)_Y''$	σ_X''	σ_Y''
V. Lainey 1.1	-0.071	-0.100	0.186	0.260
J.H. Lieske E5	-0.067	-0.098	0.186	0.261
J.-E. Arlot G5	-0.065	-0.096	0.189	0.261

Таблица 5. Средние $(O-C)_{X,Y}$ и среднеквадратические ошибки одного наблюдения галилеевых спутников: иовицентрических и разностей “спутник – спутник”

Вид координат	$(O-C)_{X''}$	$(O-C)_{Y''}$	$\sigma_{X''}$	$\sigma_{Y''}$	N
1 Ио – Юпитер	-0.067	-0.148	± 0.168	± 0.202	80
2 Европа–Юпитер	-0.063	-0.131	0.168	0.197	82
3 Ганимед–Юпитер	-0.057	-0.123	0.150	0.210	78
4 Каллисто–Юпитер	-0.067	-0.098	0.186	0.260	70
Средние	-0.063	-0.125	0.165	0.213	310
“спутник – Юпитер”	± 0.009	± 0.012			
Средние	0.003	0.006	0.134	0.170	256
спутник – спутник”	± 0.008	± 0.011			

квадратические ошибки одного иовицентрического положения для каждого спутника (σ_x , σ_y).

Поскольку при определении центров протяженных изображений Юпитера на фотографиях могут возникать ошибки вследствие искажений эффектами фазы, неоднородной яркости, атмосферных флуктуаций и других эффектов, влияющих на точность иовицентрических координат спутников, кроме иовицентрических координат спутников были вычислены взаимные относительные координаты спутников вида “спутник минус спутник” (табл. 3), которые заведомо свободны от ошибок определения центра планеты. Средние значения $(O-C)$ для этого вида относительных координат и среднеквадратические ошибки (по всему наблюдательному периоду (1986–2005 гг.) приведены в последней строке табл. 5.

Данные табл. 5 характеризуют внешнюю точность полученных результатов. Эти величины: систематические – $(O-C)_{X,Y}$ и случайные (дисперсия) – σ_x , σ_y – зависят как от внутренних ошибок наблюдений (личные ошибки измерителей, качество изображений, неточность определения центра изображения Юпитера), так и от внешних факторов – от сезонов, зенитного расстояния, состояния атмосферы, ошибок редукции и наконец, ошибок теории. Достаточно длительные ряды наблюдений позволяют исследовать большую часть этих параметров.

Сравнение величин средних $(O-C)_{X,Y}$ (табл. 5) для иовицентрических координат и координат вида “спутник – спутник” показывает наличие в иовицентрических координатах систематической ошибки (-0.063° по X и -0.125° по Y), обусловленной особенностями изображения протяженного объекта (Юпитера), искаженного рефракцией при больших зенитных расстояниях. Это подтверждается ростом среднего $(O-C)_Y$ от -0.09° до -0.29° при изменении зенитных расстояний от 40° до 72°.

Не исключается также возможность влияния ошибки теории движения системы спутников в пределах до 0.1°.

Разности координат вида “спутник – спутник” свободны от ошибок определения центра Юпитера, так же, как и от ошибок фазы.

Основными параметрами астрометрической редукции в методе “след–масштаб” являются масштаб и ориентировка фотографий. Метод не требует опорных звезд на фотопластинках, которые, вследствие малой чувствительности фотопластинок WO-3 на пластинках отсутствуют. Масштаб фотографий определялся независимо, методом масштабных пар (Киселев, 1964), его значение регулярно контролировалось при обработке наблюдений двойных звезд. Значение масштаба, равное 19''.8074 ± 0''.0004, было проверено нами путем исследования зависимости $(O-C)_X$ от расстояний между спутниками в координатах “спутник – спутник”. Результаты показали отсутствие заметного систематического хода $(O-C)_X$, однако выявилось увеличение случайной ошибки в $(O-C)_X$ с увеличением расстояния между спутниками.

Ориентировка фотографии определяется по снимкам следов спутников. Требования к ориентировке в методе “след–масштаб” при наблюдениях спутников весьма высокие вследствие больших расстояний между ними. Так, если исходить из точности наблюдений в 0.1° и при максимальных расстояниях между спутниками в 1000'', необходимо знать угол ориентировки с точностью до 10'' (0°.003). Тогда систематическая ошибка результата из-за неточности ориентировки не превысит 0''.05. Как показало исследование $(O-C)_Y$ для разностей координат “спутник – спутник” в зависимости от расстояния между спутниками, реальная ошибка ориентировки не превышает расчетную величину. Кроме того, в реальных наблюдениях расстояния между спутниками редко превышают 500''. Однако налицо увеличение случайной ошибки наблюдений для больших рассто-

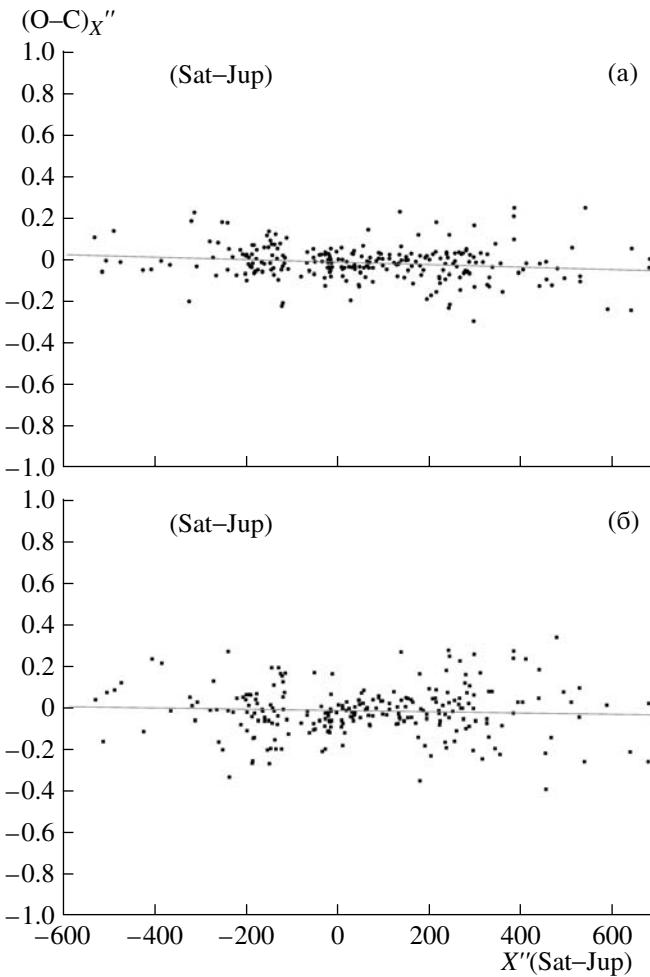


Рис. 2. (а): зависимость $(O-C)_X$ для иовицентрических координат галилеевых спутников от положения спутников в видимой иовицентрической орбите, т.е. от расстояний спутников от Юпитера по координате X в секундах дуги. Характеризует зависимость результатов наблюдений от ошибки геометрического масштаба 26-дюймового рефрактора. (б): зависимость $(O-C)_Y$ для иовицентрических координат галилеевых спутников от положения спутников в видимой иовицентрической орбите, т.е. от расстояний спутников от Юпитера по координате X в секундах дуги. Характеризует зависимость результатов от ошибок ориентировки астрофотографий.

яний между спутниками, как и в случае масштаба. В этом случае увеличение ошибки наблюдений вследствие ошибок редукции следует отнести за счет влияния аномалий рефракции при определении ориентировки по двум следам.

Для выявления ошибок редукции было проведено исследование распределения $(O-C)_X$, $(O-C)_Y$ в зависимости от положения спутников в видимой иовицентрической орбите (для иовицентрических координат), а также от величины расстояния между спутниками – для координат вида “спутник – спутник”. Результаты исследования представлены на рис. 2а, 2б и 3а, 3б, где отражена зависи-

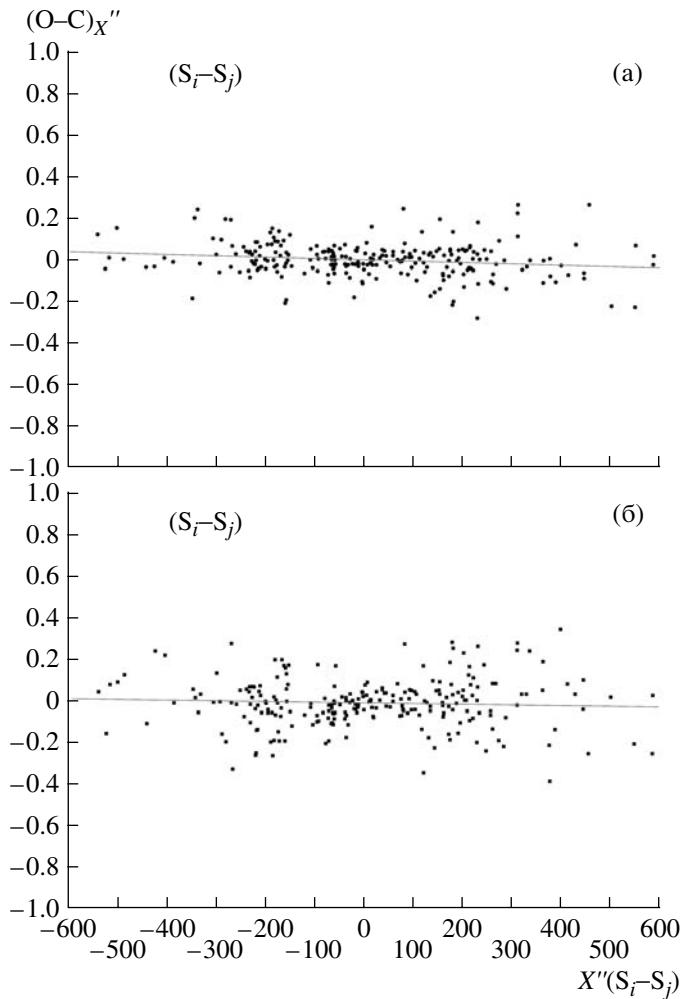


Рис. 3. (а): зависимость $(O-C)_X$ для координат галилеевых спутников вида “спутник – спутник” от расстояния между спутниками по координате X в секундах дуги. Характеризует зависимость результатов наблюдений от ошибки геометрического масштаба 26-дюймового рефрактора. (б): зависимость $(O-C)_Y$ для координат галилеевых спутников вида “спутник – спутник” от расстояния между спутниками по координате X в секундах дуги. Характеризует зависимость результатов наблюдений от ошибок ориентировки астрофотографий.

мость $(O-C)_X$, $(O-C)_Y$ от положения спутников в видимой иовицентрической орбите (для иовицентрических координат), а также от величины расстояния между спутниками по координате X – для координат вида “спутник – спутник”. Распределение $(O-C)_{X,Y}$ для обоих видов координат свидетельствует об отсутствии в наблюдениях заметных систематических ошибок масштаба и ориентировки. Разброс точек на графиках обусловлен большими различиями в атмосферных условиях наблюдений тел Солнечной системы в Пулкове, вызывающих увеличение случайных ошибок на-

блодений при больших расстояниях между объектами системы спутников Юпитера.

Наиболее точные результаты в случайному отношении метод "след-масштаб" дает для небольших расстояний между спутниками, не превышающих 100". В табл. 6 приводятся значения среднеквадратических ошибок в координатах вида "спутник – спутник" в зависимости от расстояния между спутниками (внешняя точность, полученная из сравнения с эфемеридой).

Внутренние ошибки наблюдений оценивались по сходимости результатов на каждой пластинке с несколькими экспозициями. Оценка делалась для иовицентрических координат по всем спутникам. Среднеквадратическая ошибка иовицентрического расстояния для одного изображения системы спутников оказалась равной $\pm 0''.095$, $\pm 0''.100$ по X и Y соответственно. Таким образом, внутренняя ошибка одного иовицентрического положения, среднего по пластинке (табл. 2), равна $0''.041$.

В 2004 г. на 26-дюймовом рефракторе проводились астрометрические ПЗС-наблюдения спутников Юпитера. Малые размеры поля ПЗС-матрицы ST-6 ($172'' \times 120''$), использовавшейся на рефракторе до 2007 г., позволяли наблюдать лишь тесные пары спутников (не более $120''$). Весной 2004 г. с 5 марта по 7 мая были получены 16 наблюдений пар галилеевых спутников (Киселева и др., 2004). По сравнению с теорией была получена оценка внутренней и внешней точности ПЗС-наблюдений. Величины среднеквадратических ошибок одного наблюдения, среднего по сериям ПЗС-кадров (от 28 до 100 кадров в каждой серии) приведены в последней строке табл. 6. Внутренние ошибки наблюдений, полученные по сходимости результатов внутри серии, оказались равными $0.016''$ по X и $0.017''$ по Y . Как видно из табл. 6, фотографические наблюдения для малых расстояний по точности приближаются к ПЗС-наблюдениям. Однако ПЗС-наблюдения пока (вследствие малых размеров матриц) не позволяют наблюдать широкие пары спутников, а также не позволяют определять координаты спутников относительно планеты.

Таким образом, из анализа точности относительных положений галилеевых спутников, полученных на 26-дюймовом рефракторе за весь период наблюдений, можно сделать вывод о том, что наибольшая доля случайных ошибок наблюдений обусловлена рефракционными аномалиями в Пулкове, специфическими для северного неба и малой высоты над горизонтом объектов наблюдений, учесть которые при обработке наблюдений не представляется возможным.

Таблица 6. Зависимость среднеквадратической ошибки результатов наблюдений вида "спутник – спутник" от расстояний между спутниками

Расстояния между спутниками, угл. с	σ_X , угл. с	σ_Y , угл. с
0–100	± 0.050	± 0.070
0–250	0.077	0.110
0–600	0.134	0.170
ПЗС: 0–50	0.027	0.030

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Фотографические наблюдения галилеевых спутников на 26-дюймовом рефракторе в период 1986–2005 гг. позволили получить ряды относительных положений спутников двух видов: иовицентрические и взаимные относительные координаты "спутник – спутник" с точностью порядка $0.1''$ – $0.2''$. Взаимные относительные координаты являются более точными по сравнению с иовицентрическими координатами, так как они свободны от ошибок, связанных с неточностью определения центра протяженного изображения диска планеты. Наибольшая точность положений ($0.05''$ – $0.07''$) достигается при измерении пар близких спутников, с расстояниями, меньшими 100''. Сравнение фотографических наблюдений с результатами ПЗС-наблюдений показывает их близкую точность для тесных пар спутников.

2. Сравнение 20-летних рядов фотографических наблюдений на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове галилеевых спутников с эфемеридами подтвердило высокую точность современных теорий в пределах точности наблюдений.

3. Систематические ошибки редукции (масштаб и ориентировка) при фотографических наблюдениях практически отсутствуют. Учет влияния эффекта фазы Юпитера также следует считать удовлетворительным. Однако обнаруживается систематическая ошибка по Y , равная $-0.12''$, в иовицентрических координатах спутников. По-видимому, эта ошибка объясняется неточностью определения центра протяженного изображения Юпитера, искаженного рефракцией при больших зенитных расстояниях.

4. В дальнейшем программа наблюдений спутников Юпитера будет продолжена с применением новой ПЗС-матрицы большего размера и большей чувствительности (FLT-PROLINE, 3056×2056 пиксел, 36 мм \times 36 мм).

Работа выполнялась при финансовой поддержке грантов РФФИ, №№ 04-02-16157 и 07-02-00235.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бронникова Н.М., Киселев А.А. Фотографические наблюдения Венеры в Пулкове на 26-дюймовом рефракторе // Изв. ГАО. 1973. № 191. С. 148–163.*
- Емельянов Н.В., Арло Ж.-Ю., Варфоломеев М.И. и др. Создание теорий движения, эфемерид и баз данных для естественных спутников планет // Космич. исслед. 2006. Т. 44. № 2. С. 136–145.*
- Киселев А.А. Определение масштаба 26-дюймового рефрактора Пулковской обсерватории // Изв. ГАО. 1964. № 174. С. 49–57.*
- Киселев А.А. Об ориентировке астрофотографий при наблюдениях и измерениях // Изв. ГАО. 1971. № 187. С. 49–56.*
- Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии. М.: Наука, 1989. 260 с.*
- Киселева Т.П. Определение точных относительных координат галилеевых спутников Юпитера с помощью 26-дюймового рефрактора Пулковской обсерватории // Изв. ГАО. 1987. № 204. С. 57–64.*
- Киселева Т.П. Астрометрические наблюдения галилеевых спутников Юпитера в Пулкове на 26-дюймовом рефракторе // Изв. ГАО. 1996. № 210. С. 11–43.*
- Киселева Т.П., Измайлова И.С., Ховричев М.Ю., Хруцкая Е.В. Результаты ПЗС-наблюдений спутников Юпитера и Сатурна в 2004 г. на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове // Изв. ГАО. 2004. № 217. С. 292–296.*
- Kiseleva T.P., Kiselev A.A. Astrometric observations of Venus at Pulkovo Observatory // Izv. GAO. 1973. No. 191. P. 148–163.*
- Emelyanov N.V., Arlo J.-Y., Varfolomeev M.I. et al. Creation of theories of motion, ephemerides and databases for natural satellites of planets // Kosmich. issled. 2006. V. 44. No. 2. P. 136–145.*
- Kiselev A.A. Determination of the scale of the 26-inch refractor of the Pulkovo Observatory // Izv. GAO. 1964. No. 174. P. 49–57.*
- Kiselev A.A. Theoretical foundations of photographic astrometry. Moscow: Nauka, 1989. 260 p.*
- Kiseleva T.P. Determination of relative coordinates of Galilean satellites of Jupiter with the 26-inch refractor of the Pulkovo Observatory // Izv. GAO. 1987. No. 204. P. 57–64.*
- Kiseleva T.P. Astrometric observations of Galilean satellites of Jupiter at Pulkovo Observatory // Izv. GAO. 1996. No. 210. P. 11–43.*
- Kiseleva T.P., Izmailova I.S., Khovrichev M.Yu., Kiseleva T.P., Khruetskaya E.V. Results of CCD-observations of Galilean satellites of Jupiter during their mutual occultations and eclipses in 2004 at Pulkovo Observatory // JOURNESS-2003, "Astrometry, Geodynamics and Solar System Dynamics: From Milliarcseconds to Microarcseconds". St. Petersburg, 2004. P. 269–274.*
- Lainey V., Vienne A., Duriez L. New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion // Astron. and Astrophys. 2004. V. 420. P. 1171–1183.*
- Lieske J.H. Galilean satellites ephemerides E5 // Astron. and Astrophys. Suppl. 1998. V. 129. P. 205–217.*
- Pascu D. An appraisal of the USNO program for photographic astrometry of bright planetary satellites // Galactic and Solar System Optical Astrometry / Eds Morrison L.V., Gilmore G.F. Cambridge Univ. Press, 1994. P. 304–311.*

Results of Astrometric Observations of Jupiter's Galilean Satellites at the Pulkovo Observatory from 1986 to 2005

T. P. Kiseleva, A. A. Kiselev, O. A. Kalinichenko, N. A. Vasiliyeva, M. L. Khovricheva

Central (Pulkovo) Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract—The results of photographic observations of Jupiter's Galilean satellites made with the 26-inch refractor at the Pulkovo Observatory from 1986 to 2005 are given. Satellite coordinates with respect to Jupiter and the mutual distances between the satellites have been determined. A scale-trial technique that does not require reference stars for the astrometric reduction of measurements has been used. The effect of the Jupiter phase has been taken into account in the jovicentric coordinates. The observation results have been compared with a modern theory of the Galilean satellites' motions. Systematic observation errors depending on the observation technique have been studied. The intrinsic observation accuracy in the random quotient is characterized by the values $0.041''$ over X and Y . The external accuracy of the relative Galilean satellite coordinates determined by comparing the observations with modern ephemerides turned out to be equal to $0.165''$, $0.213''$ for the Jovicentric coordinates and $0.134''$, $0.170''$ for the "satellite–satellite" coordinates. The highest accuracy of the relative satellite coordinates is reached at small distances between the satellites which are less than $100''$: the corresponding mean-square errors of one observation are equal in to the external convergence to $0.050''$, $0.070''$. The results of photographic observations have been compared with the first CCD observations of the Jupiter satellites made in 2004 with the 26-inch refractor.