

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ СПУТНИКОВ САТУРНА В ПУЛКОВЕ В 1994 – 1998 ГГ.

Т. П. Киселева, О. А. Калининченко.

Приводятся результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна: Энцелад, Тэфия, Диона, Рея, Титан, Япет – на 26-дюймовом рефракторе Пулковской обсерватории в 1994 - 1998 гг с целью определения их точных относительных координат. Всего получено 292 взаимных положений пар спутников. Произведено сравнение наблюдений с теорией движения спутников, получены выводы относительно точности наблюдений и теории. Внешняя точность наблюдений оказалась равной 0.12", внутренняя точность наблюдений равна в среднем 0.06". Ошибки теории на превышают 0.1"

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (проект N96-02-17186), а также федеральной программы "Астрономия" (проект N 1.9.2.2.).

1. Введение

В 1994 г в Пулковской обсерватории на 26-дюймовом рефракторе были возобновлены наблюдения спутников Сатурна, начатые еще в 1973 году, прерванные в 1981 году из-за ухода планеты в южное полушарие неба. Наблюдения первого периода (1973-1981) проводились исключительно фотографическим методом и имели целью определение относительных координат спутников, как планетоцентрических, так и взаимных ("спутник-спутник") [1], [2]. 26-дюймовый рефрактор, имеющий фокусное расстояние 10.4 м и диаметр объектива 65 см, оказался очень эффективным инструментом для высокоточных астрометрических измерений внутри систем спутников больших планет [3]. До 1994 г в качестве приемника излучения применялись высокочувствительные фотопластинки фирмы Kodak 103-aD и ORWO NP-27. При наблюдениях использовались стеклянные светофильтры для ослабления блеска планеты. Однако, как показал опыт [4], положения Сатурна на фотографиях 26-дюймового рефрактора всегда содержат систематическую ошибку по склонению около 0.3" – 0.4", обусловленную спецификой фотографических изображений этой планеты

(с кольцами) на длиннофокусном астрографе. Наиболее точными оказались относительные взаимные координаты спутников.

2. Наблюдения

В настоящее время на 26-дюймовом рефракторе проводятся как фотографические, так и ПЗС наблюдения спутников Сатурна и других планет. Иногда в одни и те же ночи совмещают оба вида наблюдений. При фотографических наблюдениях используются пластинки ORWO NP-27. На каждой пластинке получают по 5 – 6 изображений системы спутников со смещением инструмента под, а также два следасистемы спутников – к западу и к востоку от цепочки изображений. Следы получаются для ориентировки системы осей пластинки по отношению к небесной системе координат в методе “след-масштаб” [5], принятом для астрометрической редукиции наблюдений на 26-дюймовом рефракторе. Экспозиции при наблюдениях – 2 минуты.

3. Обработка наблюдений

Обработка фотографических наблюдений производилась в соответствии с методикой, разработанной в Пулковке для относительных наблюдений с длиннофокусными телескопами [3], [5]. При этом используется метод “след-масштаб”, не требующий координат опорных звезд для астрометрической редукиции. Масштаб телескопа известен с высокой точностью из специальных определений:

$$M_0 = 19''.8078 \pm 0''.0004 \text{ в } 1 \text{ мм.}$$

Угол ориентировки измеренных на пластинке расстояний между спутниками относительно осей экваториальной системы координат определяется по двум следам. Производится учет дифференциальной рефракции. В результате определяются взаимные расстояния между спутниками и позиционные углы α и θ , а также проекции расстояний на оси тангенциальных координат: $X = \Delta\alpha \cdot \cos\delta$, $Y = \Delta\delta$, средние результаты по пластинкам и внутренние ошибки измерений одного изображения по сходимости результатов в серии изображений на пластинке.

4. Результаты фотографических наблюдений

В результате обработки фотографических наблюдений 1994 - 1998 гг получено 292 относительных положения спутников, вычисленные по 1470 парам изображений спутников на 92 фотопластинках. Эти результаты

представлены в таблице 1, в которой на моменты наблюдений по всемирному времени приводятся разности координат в парах спутников на эпоху даты, а также соответствующие $O - C$ по X и Y .

Таблица 1. Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна. Эпоха даты.

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
1994 08 09.007930	4-5	- 78.24"	- 3.75"	+0.19"	-0.06"
	4-6	+167.74	- 24.11	-0.02	+0.02
	5-6	+245.98	- 20.36	-0.21	+0.08
1994 08 29.993720	4-5	+139.90	- 14.35	-0.20	+0.20
	4-6	- 66.04	- 9.07	+0.11	-0.18
1994 09 08.851360	4-6	+135.88	- 4.36	0.00	+0.12
1994 09 29.857220	5-6	-115.84	- 19.51	+0.11	-0.07
1995 08 27.986920	4-5	-103.50	+ 8.51	+0.15	+0.09
	4-6	+110.26	- 8.36	-0.18	+0.20
	2-4	+ 92.54	- 0.50	-0.05	+0.30
	5-8	+424.99	- 1.65	+0.13	-0.02
1995 08 30.871300	4-5	+ 39.82	- 3.15	+0.15	+0.02
	4-6	- 71.23	+ 4.41	+0.11	+0.02
	5-6	-111.05	+ 7.56	-0.04	0.00
1995 08 30.891390	4-5	+ 41.80	- 3.28	+0.04	+0.03
	4-6	+ 70.81	+ 4.48	+0.17	+0.09
	5-6	-112.61	+ 7.76	+0.13	+0.06
1995 09 02.93138	3-5	- 17.86	+ 3.75	-0.19	+0.04
	3-8	+552.51	+ 50.09	+0.13	-0.05
	5-6	-149.58	+ 9.94	+0.11	+0.26
	6-8	+719.95	+ 36.40	+0.21	-0.35
1995 09 02.954060	3-5	- 12.71	+ 3.30	-0.28	-0.01
	3-6	-164.93	+ 13.30	-0.14	+0.08
	3-8	+555.85	+ 49.98	+0.15	-0.11
	5-6	-152.22	+ 10.00	+0.14	+0.09
	6-8	+720.78	+ 36.68	+0.29	-0.19
1995 09 16.928390	2-4	- 71.21	+ 5.27	+0.18	+0.01
	2-6	-146.36	+ 8.87	+0.13	+0.07
	4-6	- 75.15	+ 3.60	-0.05	+0.06
	2-4	- 71.17	+ 5.41	+0.22	-0.02

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
	2-6	- 145.85	+ 8.90	+0.25	+0.05
1995 09 17.963290	4-6	- 74.15	+ 3.49	+0.03	+0.07
	5-6	-251.45	+ 18.33	+0.19	-0.17
1995 09 18.913280	2-4	+ 90.07	- 8.25	-0.24	+0.13
	2-5	+ 60.26	- 7.06	-0.16	+0.08
	2-6	-156.41	+11.35	-0.30	+0.11
	4-5	- 29.81	+ 1.19	+0.08	-0.05
	4-6	-246.48	+19.60	-0.06	-0.02
1995 09 18.935630	2-4	+ 88.18	- 8.30	-0.23	+0.07
	2-6	-157.07	+11.27	-0.05	+0.01
	4-6	-245.25	+19.57	+0.18	-0.06
1995 09 19.897100	4-5	- 18.75	+ 1.62	+0.02	-0.02
	4-6	-136.93	+11.83	+0.02	-0.11
	5-6	-118.18	+10.21	0.00	-0.09
1995 09 19.921800	3-4	- 31.28	+ 3.69	+0.18	-0.08
	3-5	- 50.16	+ 5.28	+0.18	-0.12
	3-6	-166.68	+ 15.39	+0.17	-0.15
	4-5	- 18.88	+ 1.59	0.00	-0.04
	4-6	-135.40	+ 11.70	-0.01	-0.07
	5-6	-116.52	+ 10.11	-0.01	-0.03
1995 09 21.910560	3-4	+ 64.15	- 5.25	-0.16	+0.02
	3-5	+ 94.98	- 5.28	-0.09	-0.01
	3-6	- 73.13	+ 11.06	-0.14	+0.05
	4-5	+ 30.83	- 0.03	+0.07	-0.03
	4-6	-137.28	+ 16.31	+0.02	+0.03
	5-6	-168.11	+ 16.34	-0.05	+0.06
1995 09 21.934900	3-5	+ 99.18	- 5.63	-0.04	-0.10
	5-6	-168.59	+ 16.38	-0.10	-0.03
	3-6	- 69.41	+ 10.75	-0.14	+0.07
1995 09 22.849800	2-3	+ 66.37	- 3.31	-0.15	+0.11
	2-4	- 30.36	+ 3.52	+0.05	+0.14
	2-5	+103.50	- 9.45	-0.08	+0.08
	2-6	- 16.78	+ 6.52	-0.10	+0.04
	2-8	+224.80	+ 85.88	-0.46	-0.08
	3-4	- 96.73	+ 6.83	+0.20	+0.03
	3-5	+ 37.13	- 6.14	+0.07	-0.03
	3-6	- 83.15	+ 9.83	+0.05	-0.07

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$	
	3-8	+158.43	+ 89.19	-0.31	-0.19	
1995 09 22.873520	4-5	+133.86	- 12.97	-0.13	-0.06	
	4-6	+ 13.58	+ 3.00	-0.15	-0.10	
	4-8	+255.16	+ 82.36	-0.51	-0.22	
	5-6	- 120.28	+ 15.97	-0.02	-0.04	
	5-8	+121.30	+ 95.33	-0.38	-0.16	
	6-8	+241.58	+ 79.36	-0.36	-0.12	
	2-3	+ 71.09	- 4.13	-0.05	-0.19	
	2-4	- 27.34	+ 3.16	+0.15	+0.03	
	2-5	+104.56	- 9.89	-0.10	-0.13	
	2-6	- 12.54	+ 5.93	-0.04	-0.16	
	2-8	+226.22	+ 85.23	-0.45	-0.32	
	3-4	- 98.43	+ 7.29	+0.20	+0.22	
	3-5	+ 33.47	- 5.76	-0.05	+0.06	
	3-6	- 83.63	+ 10.06	+0.01	+0.03	
	3-8	+155.13	+ 89.36	-0.40	-0.13	
1995 10 04.859690	4-5	+131.90	- 13.05	-0.25	-0.16	
	4-6	+ 14.80	+ 2.77	-0.19	-0.19	
	4-8	+253.56	+ 82.07	-0.60	-0.35	
	5-6	-117.10	+ 15.82	+0.06	-0.03	
	5-8	+121.66	+ 95.12	-0.35	-0.16	
	6-8	+238.76	+ 79.30	-0.41	-0.16	
	1995 10 05.887450	4-6	-243.22	+ 17.99	+0.19	+0.21
	1995 10 15.809080	5-6	-271.54	+ 23.76	+0.11	+0.14
	3-4	- 37.80	- 6.27	+0.08	+0.19	
	3-6	+ 61.11	- 10.17	-0.03	+0.26	
1995 10 15.830550	4-6	+ 98.91	- 3.90	-0.11	+0.07	
	3-4	+ 10.06	+ 0.73	+0.14	+0.37	
	3-5	- 37.48	- 2.32	+0.26	+0.42	
	3-6	+ 61.16	- 10.04	+0.10	+0.27	
	4-5	- 47.54	- 3.05	+0.12	+0.05	
1995 10 21.856350	4-6	+ 51.10	- 10.77	-0.04	-0.10	
	5-6	+ 98.64	- 7.72	-0.16	-0.15	
	2-4	+ 76.04	- 8.78	+0.18	+0.15	
	2-5	- 48.28	+ 4.15	+0.02	+0.03	
	2-6	-151.19	+ 13.69	-0.03	+0.05	
	4-5	-124.32	+ 12.93	-0.16	-0.12	

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$	
	4-6	-227.98	+ 22.47	-0.21	-0.10	
1995 10 21.878950	5-6	-103.66	+ 9.54	-0.05	+0.02	
	2-4	+ 72.20	- 8.72	-0.05	+0.10	
	2-5	- 49.83	+ 4.30	+0.11	+0.08	
	2-6	-153.12	+ 13.70	+0.08	+0.03	
	4-5	-122.03	+ 13.02	+0.16	-0.02	
1995 10 22.820120	4-6	-225.32	+ 22.42	+0.13	-0.07	
	5-6	-103.29	+ 9.40	-0.03	-0.05	
	4-5	+ 41.43	+ 0.48	-0.06	+0.28	
	4-6	- 96.90	+ 12.56	-0.18	-0.03	
	5-6	-138.33	+ 12.08	-0.12	-0.31	
1995 10 22.841160	4-6	- 95.53	+ 12.44	-0.13	+0.02	
1995 11 05.785080	2-4	- 15.81	+ 2.81	+0.02	+0.36	
	2-3	+ 56.49	- 6.66	+0.07	+0.12	
	2-5	+ 64.80	- 2.45	-0.11	+0.18	
	2-6	-151.72	+ 11.43	0.00	+0.21	
	2-8	+ 73.04	- 56.35	-0.27	+0.11	
	4-3	+ 72.30	- 9.47	+0.05	-0.24	
	4-5	+ 80.61	- 5.26	-0.13	-0.18	
	4-6	-135.91	+ 8.62	-0.02	-0.15	
	4-8	+ 88.85	- 59.16	-0.29	-0.25	
	3-5	+ 8.31	+ 4.21	-0.18	+0.06	
	3-6	-208.21	+ 18.09	-0.07	+0.09	
	3-8	+ 16.55	- 49.69	-0.34	-0.01	
	5-6	-216.52	+ 13.88	+0.11	+0.03	
	5-8	+ 8.24	- 53.90	-0.16	-0.07	
	6-8	+224.76	- 67.78	-0.27	-0.10	
	1995 11 08.768430	4-5	- 50.35	+ 1.68	-0.04	-0.17
		4-6	- 68.74	+ 10.26	-0.14	-0.11
5-6		- 18.39	+ 8.58	-0.10	+0.06	
1995 11 08.792090	4-5	- 53.46	+ 2.14	+0.03	-0.04	
	4-6	- 69.98	+ 10.41	-0.08	-0.05	
	4-8	+186.79	- 38.74	-0.13	-0.14	
	5-6	- 16.52	+ 8.27	-0.11	-0.01	
	5-8	+240.25	- 40.88	-0.16	-0.10	
	6-8	+256.77	- 49.15	-0.05	-0.09	
	3-4	- 2.98	- 1.99	-0.01	-0.01	
1996 08 13.968240	3-4	- 2.98	- 1.99	-0.01	-0.01	

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
	3-6	+170.03	+ 5.94	-0.11	+0.01
1996 08 20.015595	3-8	- 23.00	+ 84.68	+0.12	+0.03
	4-6	+173.01	+ 7.93	-0.10	+0.02
	4-8	- 20.02	+ 86.67	+0.13	+0.04
	6-8	-193.03	+ 78.74	+0.23	+0.02
	4-5	-108.95	+ 8.52	+0.18	-0.07
1996 08 20.994096	4-6	-228.78	+ 16.50	+0.19	+0.04
	5-6	-119.83	+ 7.98	+0.01	+0.11
1996 08 23.946638	5-6	-195.97	+ 10.99	+0.06	-0.02
	3-5	-113.32	+ 13.12	+0.12	+0.29
1996 08 26.904963	3-6	- 40.01	- 14.66	-0.07	+0.18
	5-6	+ 73.31	- 27.78	-0.19	-0.11
	3-4	+ 6.15	+ 3.19	-0.18	+0.16
	3-5	+115.37	- 4.14	-0.11	-0.14
	3-6	+219.99	- 21.95	-0.17	-0.14
1996 08 30.971940	4-5	+109.22	- 7.33	+0.07	-0.30
	4-6	+213.84	- 25.14	+0.01	-0.30
	5-6	+104.62	- 17.81	-0.06	0.00
	3-5	+119.98	- 6.30	-0.07	-0.23
	3-6	+ 99.16	+ 13.08	-0.10	-0.14
1966 08 30.989577	5-6	- 20.82	+ 19.42	-0.03	+0.09
	3-5	+118.15	- 5.79	-0.09	-0.19
	3-6	+ 95.86	+ 13.45	-0.22	-0.19
1996 08 31.986292	5-6	- 22.29	+ 19.24	-0.13	0.00
	5-6	- 32.16	+ 12.05	+0.11	+0.14
1996 09 04.948488	5-6	-268.45	+ 10.09	+0.10	-0.01
1996 10 14.948844	2-3	- 13.85	+ 3.49	+0.06	+0.13
	3-5	+126.51	- 11.21	-0.13	+0.25
	5-6	+110.50	- 3.06	-0.05	+0.09
	2-3	- 15.30	+ 3.54	+0.08	+0.06
	2-5	+111.90	- 7.63	-0.11	+0.25
1996 10 14.958135	3-5	+127.20	- 11.17	-0.19	+0.19
	5-6	+110.28	- 2.93	+0.10	+0.23
	3-4	+ 27.91	+ 12.09	-0.01	+0.10
	3-5	- 32.29	+ 10.16	+0.07	+0.01
	3-6	+ 47.40	+ 36.90	-0.10	-0.02
1997 09 03.036573	4-5	- 60.20	- 1.93	+0.07	-0.09

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
	4-6	+ 19.49	+ 24.81	-0.09	-0.12
1997 09 03.053945	5-6	+ 79.69	+ 26.75	-0.16	-0.03
	8-6	-473.85	-129.56	+0.14	+0.09
	3-4	+ 24.64	+ 12.38	-0.14	-0.12
	3-5	- 33.98	+ 10.25	+0.01	-0.11
	3-6	+ 45.20	+ 37.46	-0.08	-0.07
	4-5	- 58.62	- 2.13	+0.15	+0.01
	4-6	+ 20.56	+ 25.08	+0.06	+0.05
1997 09 20.976957	5-6	+ 79.18	+ 27.21	-0.09	+0.04
	8-6	-474.93	-129.35	+0.01	+0.34
	5-6	- 71.91	+ 18.32	+0.02	-0.12
	2-5	- 35.28	+ 8.30	-0.06	-0.11
	3-4	- 8.21	- 11.01	+0.04	-0.12
	8-6	+ 98.49	- 23.72	-0.01	-0.29
	3-4	+ 7.51	+ 12.26	-0.02	+0.03
1997 10 27.856998	3-5	- 36.30	- 1.16	+0.04	-0.02
	3-6	- 40.09	- 25.74	+0.04	-0.04
	4-5	- 43.81	- 13.42	+0.06	-0.05
	4-6	- 47.59	- 37.99	+0.06	-0.07
	5-6	- 3.78	- 24.58	0.00	-0.02
	8-4	-167.04	+ 99.98	+0.54	+0.14
	3-6	- 30.88	- 37.64	-0.08	-0.01
1997 10 28.892133 28.892118	5-6	- 32.51	- 18.08	-0.03	+0.05
	8-6	-181.26	+ 43.81	+0.41	-0.15
1997 11 18.795379	4-5	- 40.97	- 0.14	+0.19	-0.04
	4-6	+211.40	- 5.16	+0.12	-0.02
1997 11 19.851064	5-6	+252.46	- 5.02	-0.07	+0.02
	8-6	-333.51	-147.43	+0.15	-0.37
	5-6	+164.21	+ 26.43	-0.06	+0.11
	8-6	-361.41	-138.53	-0.02	+0.09
1997 11 19.875592	3-5	- 49.77	- 1.94	-0.12	+0.17
	3-6	+110.44	+ 25.10	-0.15	+0.28
	5-6	+160.21	+ 27.05	-0.03	+0.11
	8-6	-362.27	-138.48	+0.04	-0.03
1997 12 18.790535	3-4	- 57.41	+ 7.07	-0.06	+0.02
	3-5	+ 35.93	- 0.01	-0.07	-0.09
	3-6	+138.30	- 19.78	-0.09	-0.11

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
	4-5	+ 93.34	- 7.07	-0.01	-0.11
1997 12 20.718549	4-6	+195.71	- 26.85	-0.03	-0.13
	5-6	+102.37	- 19.78	-0.02	-0.02
	3-4	+ 26.50	- 4.97	-0.19	0.00
	3-5	-110.06	+ 0.49	+0.06	-0.15
	3-6	+133.81	+ 0.88	-0.09	-0.19
	4-5	-136.56	+ 5.47	+0.25	-0.15
1997 12 29.684060	4-6	+107.31	+ 5.85	+0.10	-0.19
	5-6	+243.87	+ 0.38	-0.15	-0.04
	1-3	+ 59.83	- 8.78	-0.19	-0.05
	1-4	+ 11.80	+ 7.56	-0.22	+0.12
	1-5	- 51.08	+ 3.13	-0.14	-0.08
	1-6	- 96.85	-17.95	-0.12	-0.08
	3-4	- 48.03	+16.34	-0.03	+0.17
	3-5	-110.90	+11.91	+0.05	-0.03
	3-6	-156.68	- 9.17	+0.07	-0.03
	4-5	- 62.88	- 4.43	+0.08	-0.20
	4-6	-108.65	-25.51	+0.10	-0.20
	5-6	- 45.78	-21.08	+0.02	0.00
1997 12 29.711011	5-6	- 44.32	-20.81	-0.06	+0.06
29.711011	1-6	- 95.10	-17.43	-0.30	+0.08
29.711878	4-6	-103.72	-25.61	+0.14	+0.14
29.711878	3-4	- 54.12	+16.02	-0.07	-0.02
29.711878	3-6	-157.84	- 9.60	+0.07	+0.12
1998 02 13.667479	4-5	- 83.14	-12.37	+0.06	-0.08
	4-6	-216.55	+ 0.53	+0.20	-0.23
	5-6	-133.41	+12.90	+0.14	-0.15
	8-4	-219.57	-140.35	+0.09	-0.24
	8-5	-302.72	-152.72	+0.15	-0.32
1998 09 02.046602	2-6	+147.75	+10.67	-0.14	+0.06
	3-6	+208.97	- 4.31	-0.14	0.00
	4-6	+189.00	- 8.79	-0.17	-0.05
	5-6	+102.69	+13.51	-0.03	-0.03
	8-6	+536.89	+208.37	-0.20	+0.11
1998 09 06.987616	2-6	- 85.75	+49.80	+0.28	-0.13
	3-6	-163.50	+50.10	-0.12	-0.13
	4-6	-173.77	+39.10	+0.25	-0.14

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
1998 09 06.987616	5-6	- 194.75	+ 35.98	+0.26	- 0.09
1998 09 14.007258	3-6	+ 56.12	- 43.23	- 0.13	- 0.02
	4-6	+ 75.30	- 43.54	- 0.14	- 0.04
	5-6	+ 94.04	- 39.22	- 0.18	- 0.03
1998 09 25.913128	2-6	- 169.20	- 17.63	+0.14	+0.01
	3-6	- 248.05	- 7.64	+0.21	+0.22
	4-6	- 261.42	- 7.48	+0.26	+0.08
	5-6	- 193.49	- 34.75	+0.13	+0.21
1998 10 06.925332	2-6	+ 56.51	+ 47.99	- 0.17	+0.03
	3-6	+ 1.00	+ 66.26	- 0.01	+0.03
	4-6	- 41.51	+ 53.14	+0.11	- 0.07
	5-6	+ 46.82	+ 75.34	+0.01	- 0.11
1998 11 10.803692	2-6	- 216.17	+ 32.67	+0.11	+0.24
	3-6	- 169.84	+ 12.96	+0.02	+0.24
	4-6	- 187.81	+ 41.81	+0.05	+0.06
	5-6	- 105.74	+ 14.16	- 0.08	- 0.10
	8-6	+ 376.93	+196.42	+0.09	+0.06
1998 11 10.826522	2-6	- 219.26	+ 31.42	+0.09	+0.19
	3-6	- 167.10	+ 12.69	+0.07	- 0.13
	4-6	- 191.83	+ 41.60	+0.10	+0.23
	5-6	- 105.34	+ 14.40	-0.02	+0.11
	8-6	+ 375.96	+195.87	+0.16	- 0.29
1998 11 16.866191	3-6	+ 103.26	- 50.32	- 0.14	+0.06
	4-6	- 6.26	+ 46.10	- 0.04	+0.04
	5-6	+ 42.82	- 27.59	- 0.07	+0.03
1998 11 17.805459	2-6	+ 80.97	- 42.28	- 0.08	0.00
	3-6	+ 71.79	- 42.14	- 0.06	+0.05
	4-6	+ 146.42	- 57.41	- 0.04	+0.07
	5-6	+ 34.35	- 37.59	+0.03	+0.04
	8-6	+530.06	+157.24	0.00	-0.20
1998 11 20.820893	1-5	- 20.99	- 17.04	- 0.09	+0.11
	3-5	- 13.56	- 9.24	- 0.01	+0.09
	4-5	+ 3.14	- 25.27	+0.06	- 0.02
1998 12 22.766443	2-6	+211.91	+ 11.54	- 0.14	- 0.33
	3-6	+220.79	+ 12.46	+0.13	- 0.21
	4-6	+126.74	+ 4.37	+0.11	- 0.26
	5-6	+189.36	+ 31.17	+0.03	- 0.32

Дата и момент наблюдений (UT)	NN сп.	$X=\Delta\alpha\cos\delta$	$Y=\Delta\delta$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
1999 01 08.677711	8-6	- 321.35	-153.87	- 0.02	- 0.06
	3-6	+176.93	+ 25.40	- 0.30	+0.22
	5-6	+210.81	+ 20.74	- 0.15	+0.11

Наличие нескольких изображений системы спутников на пластинках (5 - 6) позволяет оценить внутреннюю точность наблюдений. Внутренние ошибки характеризуют точность, с которой измеряются расстояния между спутниками на фотографических пластинках. Они зависят от качества изображений, рефракционных аномалий в течение наблюдений и ошибок измерений. Эти ошибки не зависят от ошибок теории движения и астрометрической редукиции. В таблице 2 приводятся значения этих ошибок.

Таблица 2. Внутренние ошибки наблюдений.

Вид ошибки	E_X	E_Y	N
С.к.о. одной экспозиции	0.120''	0.130''	1220
С.к.о. среднего места	0.054	0.058	244

5. Сравнение наблюдений с теорией движения и оценки точности

Наблюденные взаимные координаты спутников Сатурна сравнивались с эфемеридными, вычисленными по программе Н. В. Емельянова (ГАИШ), в которой использована теория движения спутников Сатурна Харпера и Тэйлора [6]. (O-C) для каждого наблюдения (среднего места) приведены в таблице 1. (O-C) включают в себя как ошибки наблюдений, так и ошибки теории. Ошибки наблюдений, в свою очередь, состоят из внутренних ошибок (табл.2) и ошибок астрометрической редукиции (в нашем случае это, в основном, ошибки ориентировки). В нижеследующей таблице 3 приводятся средние значения (O-C) по всем наблюдениям и их дисперсии, или внешние ошибки наблюдений.

Таблица 3. Средние (O-C) и внешние ошибки наблюдений.

Средние $(O-C)_X, (O-C)_Y$	- 0.015'' ± 8	- 0.001'' ± 8
Внешние ошибки σ_X, σ_Y	+ 0.120''	+ 0.120''

На основе разностей О-С для всего ряда фотографических наблюдений оказалось возможным оценить отдельно ошибки наблюдений и ошибки теории. Материалом для этих вычислений послужили пары пластинок с изображениями спутников, снятые почти в каждую ночь наблюдений. Моменты наблюдений в этих парах разные, но достаточно близкие, чтобы считать ошибки теории одинаковыми внутри данной ночи. Разности О-С для таких пар пластинок свободны от ошибок теории и зависят только от ошибок наблюдений. В таблице 4 приведены оценки точности наблюдений и теории.

Таблица 4. Оценка точности наблюдений и теории движения спутников.

Внешние ошибки: σ_x, σ_y	0.120''	0.120''
Ошибки наблюдений: $\epsilon_{Ox}, \epsilon_{Oy}$	0.074	0.086
Ошибки теории: $\epsilon_{Cx}, \epsilon_{Cy}$	0.094	0.084

Заключение

Данные таблиц 2,3,4 позволяют сделать вывод о высокой точности фотографических относительных положений спутников Сатурна.

Литература

1. Т. П. Киселева, Г. В. Панова, О. А. Калиниченко. Позиционные фотографические наблюдения Сатурна и его спутников в 1971-1974 гг. в Пулковке. //Известия ГАО в Пулковке, 1977, N 195, с.49-66.
2. С. В. Толбин. Результаты позиционных фотографических наблюдений системы Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в Пулковке в 1976 г. //Известия ГАО в Пулковке, 1983, N 205, с.57-64.
3. Т. P. Kisseleva. The Results of Photographic Observations of Galilean Satellites with 26-inch Refractor at Pulkovo. //Dynamics, Ephemerides and Atrometry of the Solar System. 1996, IAU, Printed in Netherlands, S.Ferraz, Mello et.all (eds.), p.427-430.
4. Т. П. Киселева, А. А. Киселев, Е. В. Хруцкая, И. С. Измайлов, О. А. Калиниченко. Результаты фотографических и ПЗС-наблюдений системы спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в Пулковке в 1995 г. //Известия ГАО в Пулковке, 1996, N 210, с.76-94.
5. А. А. Киселев. Теоретические основания фотографической астрометрии. //Москва, Наука, 1989, 260с.
6. Harper D. and Taylor D. B. //Astronomy and Astrophysics, 1993, v.268. N 1, p.326.

THE RESULTS OF PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF THE
SATURNIAN SATELLITES AT PULKOVO IN 1994-1997.

T.P.Kisseleva, O.A.Kalinichenko.

The results of photographic observations of the Saturnian satellites with 26-inch Refractor at Pulkovo in 1994-1997 are given. Table 1 comprises 244 mutual positions of the satellites 2-6 and 8. The observations are featured by high internal and external accuracy. The mean square errors of relative positions determined by inner agreement do not exceed $0.06''$; the external errors are equal to $0.12''$.