

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СПУТНИКОВ САТУРНА НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ В 2001-2003 гг В ПУЛКОВЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ САТУРНА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЕГО СПУТНИКОВ.

Т.П.Киселева, О.А.Калиниченко, М.А.Можаев.

В работе представлены результаты определения относительных координат 1-6-го и 8-го спутников Сатурна по фотографическим наблюдениям в Пулковке на 26-дюймовом рефракторе в 2001-2003 гг (таблица 1). При наблюдениях применялся метод "след-масштаб". Полученные 190 наблюдений относительных координат спутников характеризуются высокой внутренней и внешней точностями ($\pm 0.065''$ по внутренней сходимости и $\pm 0.12''$ по внешней сходимости с эфемеридами). Наблюдения сравнивались с эфемеридами Лаборатории Реактивного Движения (JPL). По наблюдениям спутников определены 25 точных положений Сатурна без измерения его изображений на фотографиях. Показано, что этот метод дает результаты высокой точности: ошибки положения Сатурна не превосходят $\pm 0.16''$. Положения Сатурна, полученные этим методом, свободны от систематических ошибок, связанных со сложным качеством изображений планеты.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 04-02-16157 и 04-07-90081).

1. Наблюдения.

Продолжается программа позиционных наблюдений спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе с использованием фотографического метода и ПЗС, очередной этап которой был начат в 1994 г. В данной работе представлены результаты фотографических наблюдений 2001-2003 гг, результаты наблюдений 1994-2000 гг опубликованы в работах [1-3].

Наблюдения охватывают период 28 августа 2001 г - 21 марта 2003 г. Всего получено 25 фотографических пластинок, на каждой пластинке - по 6 изображений системы спутников Сатурна 1 - 8-го с экспозициями по 2 минуты, а также по 2 следа (изображения спутников на одной суточной параллели - для редукиции методом "след-масштаб") в соответствии с принятой методикой наблюдений и их обработки, описанной в работах [1 - 5]. В наблюдениях спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе принимали участие следующие научные сотрудники лаборатории астрометрии и звездной астрономии ГАО РАН: Л.Г.Романенко, О.А.Калиниченко, К.Л.Масленников, О.В.Кияева, О.П.Быков, М.А.Можаев.

Измерения фотопластинок производились О.А.Калиниченко на полуавтоматическом измерительном приборе Аскорекорд с записью измеренных координат в память персонального компьютера и последующей оперативной обработкой по программе астрометрической редукиции методом "след-масштаб", составленной О.В.Кияевой. Измерения самой планеты Сатурн не производились ввиду плохого качества ее изображений. В результате редукиции получены взаимные относительные координаты спутников в смысле "спутник - спутник". Напомним, что при редукиции методом "след-масштаб" не используются координаты опорных звезд [4]. Результаты наблюдений сравнивались с двумя эфемеридами: вычисленными по программе Н.В.Емельянова на основе теории движения Харпера и Тэйлора [6], а также по теории, разработанной в JPL [7].

2. Результаты.

В таблице 1 представлены результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна. В первой колонке приведены моменты наблюдений в системе (UTC), во второй - номера спутников в паре ($S_i - S_j$), в третьей и четвертой колонках - разности координат спутников в парах: $\Delta X = X_i - X_j = \Delta\alpha \cos\delta$, $\Delta Y = Y_i - Y_j = \Delta\delta$, в пятой и шестой - (O-C) по X и Y, вычисленные по эфемеридам JPL.

Таблица 1. Список положений спутников Сатурна, полученных по фотографическим наблюдениям в 2001-2003 гг на 26-дюймовом рефракторе в Пулковке (на эпоху даты).

Data	(UTC)	$S_{p_i} - S_{p_j}$		X	Y	(O-C) _x	(O-C) _y
				arcsec		arcsec	
2001-08-28	23:03:57	5	6	-82,150	57,321	-0,008	0,042
2001-08-28	23:03:57	3	6	-122,698	53,124	0,051	-0,024
2001-08-28	23:03:57	4	6	-199,250	20,964	-0,137	0,185
2001-08-28	23:03:57	3	5	-40,548	-4,197	0,059	-0,067
2001-08-28	23:03:57	4	5	-117,100	-36,357	-0,129	0,142
2001-08-28	23:03:57	4	3	-76,552	-32,160	-0,188	0,209
2001-09-01	00:39:28	2	6	-198,233	-52,199	0,105	-0,130
2001-09-01	00:39:28	3	6	-162,494	-70,599	0,004	0,072
2001-09-01	00:39:28	4	6	-171,942	-76,511	-0,044	-0,008
2001-09-01	00:39:28	5	6	-163,355	-86,618	-0,003	0,014
2001-09-01	00:39:28	3	2	35,739	-18,400	-0,101	0,202
2001-09-01	00:39:28	4	2	26,291	-24,312	-0,149	0,122
2001-09-01	00:39:28	5	2	34,878	-34,419	-0,108	0,144
2001-09-01	00:39:28	4	3	-9,448	-5,912	-0,048	-0,080
2001-09-01	00:39:28	5	3	-0,861	-16,019	-0,007	-0,058
2001-09-01	00:39:28	5	4	8,587	-10,107	0,042	0,022
2001-09-01	01:16:33	3	6	-157,756	-71,069	-0,020	0,018
2001-09-01	01:16:33	4	6	-167,601	-77,027	0,005	0,129
2001-09-01	01:16:33	5	6	-159,577	-87,009	-0,023	0,078
2001-09-01	01:16:33	2	6	-197,321	-54,465	0,104	0,100
2001-09-01	01:16:33	4	3	-9,845	-5,958	0,026	0,111
2001-09-01	01:16:33	5	3	-1,821	-15,940	-0,003	0,060
2001-09-01	01:16:33	2	3	-39,565	16,604	0,125	0,082
2001-09-01	01:16:33	5	4	8,024	-9,982	-0,028	-0,051
2001-09-01	01:16:33	2	4	-29,720	22,562	0,099	-0,029
2001-09-01	01:16:33	2	5	-37,744	32,544	0,127	0,022
2001-09-20	02:25:23	2	6	0,005	-72,456	0,081	0,147
2001-09-20	02:25:23	3	6	59,154	-94,728	0,123	0,108
2001-09-20	02:25:23	4	6	10,196	-104,984	0,111	0,185
2001-09-20	02:25:23	5	6	112,343	-81,914	0,142	0,184
2001-09-20	02:25:23	3	2	59,149	-22,272	0,043	-0,039
2001-09-20	02:25:23	4	2	10,191	-32,528	0,031	0,038
2001-09-20	02:25:23	5	2	112,338	-9,458	0,061	0,037
2001-09-20	02:25:23	4	3	-48,958	-10,256	-0,012	0,077
2001-09-20	02:25:23	5	3	53,189	12,814	0,019	0,076
2001-09-20	02:25:23	5	4	102,147	23,070	0,031	-0,001
2001-10-23	00:38:09	4	6	101,292	-92,300	0,048	0,126
2001-10-23	00:38:09	2	6	74,570	-60,626	0,085	0,086
2001-10-23	00:38:09	3	6	97,334	-44,804	0,034	0,145
2001-10-23	00:38:09	5	6	106,620	-26,473	0,051	0,165
2001-10-23	00:38:09	2	4	-26,722	31,674	0,036	-0,040
2001-10-23	00:38:09	3	4	-3,958	47,496	-0,014	0,020
2001-10-23	00:38:09	5	4	5,328	65,827	0,002	0,039
2001-10-23	00:38:09	3	2	22,764	15,822	-0,050	0,060
2001-10-23	00:38:09	5	2	32,050	34,153	-0,034	0,079
2001-10-23	00:38:09	5	3	9,286	18,331	0,016	0,019
2001-12-17	23:16:05	5	6	-202,704	20,279	0,017	-0,052

2001-12-17	23:16:05	2	6	-161,000	71,815	0,126	-0,466
2001-12-17	23:16:05	3	6	-105,652	49,196	0,069	-0,087
2001-12-17	23:16:05	4	6	-123,712	81,695	0,133	-0,199
2001-12-17	23:16:05	2	5	41,704	51,536	0,108	-0,414
2001-12-17	23:16:05	3	5	97,052	28,917	0,052	-0,035
2001-12-17	23:16:05	4	5	78,992	61,416	0,116	-0,147
2001-12-17	23:16:05	4	2	37,288	9,880	0,007	0,267
2001-12-17	23:16:05	4	3	-18,060	32,499	0,064	-0,111
2002-02-01	18:28:01	3	6	-0,280	103,890	0,179	-0,144
2002-02-01	18:28:01	4	6	40,020	72,697	0,062	-0,154
2002-02-01	18:28:01	5	6	13,588	49,566	0,059	-0,170
2002-02-01	18:28:01	4	3	40,300	-31,193	-0,117	-0,009
2002-02-01	18:28:01	5	3	13,868	-54,324	-0,120	-0,026
2002-02-01	18:28:01	5	4	-26,432	-23,131	-0,003	-0,017
2002-02-26	17:45:59	2	6	98,689	-76,750	-0,018	0,180
2002-02-26	17:45:59	3	6	24,105	-64,918	-0,033	0,135
2002-02-26	17:45:59	4	6	121,706	-63,156	-0,031	0,068
2002-02-26	17:45:59	5	6	28,840	-41,864	0,004	0,125
2002-02-26	17:45:59	3	2	-74,584	11,832	-0,014	-0,045
2002-02-26	17:45:59	4	2	23,017	13,594	-0,012	-0,112
2002-02-26	17:45:59	5	2	-69,849	34,886	0,022	-0,055
2002-02-26	17:45:59	4	3	97,601	1,762	0,002	-0,068
2002-02-26	17:45:59	5	3	4,735	23,054	0,037	-0,011
2002-02-26	17:45:59	5	4	-92,866	21,292	0,034	0,057
2002-03-12	17:38:01	5	6	-144,222	-63,941	0,011	-0,033
2002-03-12	17:38:01	3	6	-50,281	-92,458	-0,008	-0,067
2002-03-12	17:38:01	4	6	-41,680	-55,524	-0,038	-0,063
2002-03-12	17:38:01	3	5	93,941	-28,517	-0,019	-0,034
2002-03-12	17:38:01	4	5	102,542	8,417	-0,048	-0,030
2002-03-12	17:38:01	4	3	8,601	36,934	-0,029	0,004
2002-03-12	18:00:20	5	6	-143,817	-64,810	0,184	-0,069
2002-03-12	18:00:20	3	6	-47,219	-91,852	0,196	0,024
2002-03-12	18:00:20	4	6	-42,243	-55,139	0,010	0,019
2002-03-12	18:00:20	5	3	-96,598	27,042	-0,011	-0,093
2002-03-12	18:00:20	5	4	-101,574	-9,671	0,174	-0,087
2002-03-12	18:00:20	4	3	4,976	36,713	-0,185	-0,005
2002-03-19	18:16:46	3	6	74,410	55,664	-0,076	0,096
2002-03-19	18:16:46	4	6	102,050	40,271	-0,011	0,111
2002-03-19	18:16:46	5	6	191,102	63,358	-0,006	0,178
2002-03-19	18:16:46	4	3	27,590	-15,482	0,015	-0,074
2002-03-19	18:16:46	5	3	116,716	7,314	0,094	-0,298
2002-03-19	18:16:46	5	4	89,126	22,796	0,079	-0,224
2002-03-30	18:51:44	3	6	31,188	-57,454	0,094	0,197
2002-03-30	18:51:44	5	6	1,110	-53,112	0,098	0,121
2002-03-30	18:51:44	4	6	62,762	-91,578	0,066	0,187
2002-03-30	18:51:44	5	3	-30,078	4,342	0,004	-0,076
2002-03-30	18:51:44	4	3	31,574	-34,124	-0,028	-0,010
2002-03-30	18:51:44	4	5	61,652	-38,466	-0,031	0,066
2002-04-02	19:06:11	2	6	136,884	10,350	0,340	-0,110
2002-04-02	19:06:11	4	6	200,062	-6,030	0,252	-0,127
2002-04-02	19:06:11	4	2	63,178	-16,380	-0,088	-0,017
2002-04-02	19:06:11	3	2	76,950	3,770	0,087	0,214
2002-04-02	19:06:11	3	4	13,772	20,150	0,175	0,231
2002-12-10	22:41:37	3	6	-27,329	-96,012	-0,070	0,047
2002-12-10	22:41:37	2	6	-18,000	-91,042	-0,062	-0,059
2002-12-10	22:41:37	5	6	75,366	-117,582	-0,168	0,134
2002-12-10	22:41:37	4	6	79,682	-98,055	-0,210	0,021
2002-12-10	22:41:37	2	3	9,329	4,970	0,007	-0,106
2002-12-10	22:41:37	5	3	102,695	-21,570	-0,099	0,087
2002-12-10	22:41:37	4	3	107,011	-2,043	-0,140	-0,027
2002-12-10	22:41:37	5	2	93,366	-26,540	-0,106	0,193

2002-12-10	22:41:37	4	2	97,682	-7,013	-0,147	0,079
2002-12-10	22:41:37	4	5	4,316	19,527	-0,041	-0,114
2002-12-12	21:43:38	2	6	196,941	-49,104	0,019	0,045
2002-12-12	21:43:38	3	6	114,600	-54,943	-0,081	0,037
2002-12-12	21:43:38	4	6	120,574	-67,992	-0,044	0,106
2002-12-12	21:43:38	5	6	141,909	-4,679	-0,086	0,114
2002-12-12	21:43:38	4	1	-9,086	-23,813	-0,098	-0,116
2002-12-12	21:43:38	5	1	12,249	39,500	-0,139	-0,108
2002-12-12	21:43:38	3	2	-82,341	-5,839	-0,100	-0,008
2002-12-12	21:43:38	4	2	-76,367	-18,888	-0,063	0,061
2002-12-12	21:43:38	5	2	-55,032	44,425	-0,105	0,069
2002-12-12	21:43:38	4	3	5,974	-13,049	0,036	0,069
2002-12-12	21:43:38	5	3	27,309	50,264	-0,005	0,078
2003-02-01	19:50:24	5	6	73,074	45,148	0,159	-0,078
2003-02-01	19:50:24	3	6	105,601	57,262	0,183	-0,119
2003-02-01	19:50:24	4	6	149,578	94,724	0,247	-0,125
2003-02-01	19:50:24	2	6	185,148	78,444	0,294	-0,231
2003-02-01	19:50:24	3	5	32,532	12,114	0,029	-0,041
2003-02-01	19:50:24	4	5	76,504	49,576	0,088	-0,047
2003-02-01	19:50:24	2	5	112,074	33,296	0,135	-0,153
2003-02-01	19:50:24	4	3	43,972	37,462	0,059	-0,006
2003-02-01	19:50:24	2	3	79,542	21,182	0,106	-0,112
2003-02-01	19:50:24	2	4	35,570	-16,280	0,047	-0,106
2003-02-04	22:12:49	4	6	-115,906	95,633	-0,122	-0,200
2003-02-04	22:12:49	5	6	-69,993	119,790	-0,106	-0,152
2003-02-04	22:12:49	3	6	-49,932	102,934	-0,006	-0,129
2003-02-04	22:12:49	5	4	45,973	24,157	0,076	0,048
2003-02-04	22:12:49	3	4	65,974	7,301	0,116	0,072
2003-02-04	22:12:49	3	5	20,001	-16,856	0,039	0,023
2003-02-15	17:56:09	3	6	230,282	-6,934	0,096	0,045
2003-02-15	17:56:09	4	6	155,324	21,833	0,086	0,018
2003-02-15	17:56:09	5	6	138,697	-33,508	-0,040	0,020
2003-02-15	17:56:09	4	3	-74,958	28,767	-0,010	-0,027
2003-02-15	17:56:09	5	3	-91,584	-26,574	-0,135	-0,025
2003-02-15	17:56:09	5	4	-16,624	-55,341	-0,123	0,002
2003-02-20	18:03:17	4	6	-30,759	106,559	0,099	0,024
2003-02-20	18:03:17	5	6	-55,274	42,518	0,014	-0,138
2003-02-20	18:03:17	4	3	70,440	38,412	-0,080	0,042
2003-02-20	18:03:17	5	3	45,925	-25,629	-0,165	-0,120
2003-02-20	18:03:17	5	4	-24,515	-64,041	-0,085	-0,162
2003-02-21	17:48:59	2	6	-150,852	46,792	-0,012	0,019
2003-02-21	17:48:59	3	6	-85,952	75,862	0,050	-0,043
2003-02-21	17:48:59	4	6	-183,384	51,402	-0,067	0,017
2003-02-21	17:48:59	5	6	-41,812	60,943	0,047	-0,059
2003-02-21	17:48:59	3	2	64,900	29,070	0,063	-0,062
2003-02-21	17:48:59	4	2	-32,532	4,610	-0,055	-0,002
2003-02-21	17:48:59	5	2	109,040	14,151	0,059	-0,078
2003-02-21	17:48:59	4	3	-97,432	-24,460	-0,118	0,060
2003-02-21	17:48:59	5	3	44,140	-14,919	-0,004	-0,016
2003-02-21	17:48:59	5	4	141,572	9,541	0,114	-0,076
2003-03-02	17:04:01	3	6	184,492	-48,996	0,159	0,029
2003-03-02	17:04:01	4	6	180,366	-56,143	0,136	0,116
2003-03-02	17:04:01	5	6	238,214	-36,234	-0,069	0,057
2003-03-02	17:04:01	4	3	-4,126	-7,147	-0,023	0,087
2003-03-02	17:04:01	5	3	53,722	12,762	-0,228	0,028
2003-03-02	17:04:01	5	4	57,848	19,909	-0,205	-0,059
2003-03-02	17:04:14	3	6	184,384	-49,121	0,026	-0,109
2003-03-02	17:04:14	4	6	180,310	-56,265	0,055	-0,016
2003-03-02	17:04:14	5	6	238,171	-36,382	-0,122	-0,104
2003-03-02	17:04:14	4	3	-4,074	-7,144	0,029	0,093
2003-03-02	17:04:14	5	3	53,787	12,739	-0,148	0,005

2003-03-02	17:04:14	5	4	57,861	19,883	-0,177	-0,089
2003-03-04	19:03:12	2	6	163,116	21,654	-0,148	0,211
2003-03-04	19:03:12	3	6	219,756	34,312	-0,028	0,151
2003-03-04	19:03:12	4	6	123,345	23,278	0,063	0,119
2003-03-04	19:03:12	5	6	104,126	50,685	0,059	0,081
2003-03-04	19:03:12	3	2	56,640	12,658	0,119	-0,060
2003-03-04	19:03:12	4	2	-39,771	1,624	0,211	-0,092
2003-03-04	19:03:12	5	2	-58,990	29,031	0,207	-0,130
2003-03-04	19:03:12	4	3	-96,411	-11,035	0,092	-0,033
2003-03-04	19:03:12	5	3	-115,630	16,372	0,087	-0,071
2003-03-04	19:03:12	5	4	-19,219	27,407	-0,004	-0,038
2003-03-07	17:10:35	4	5	-111,994	-43,330	0,041	0,123
2003-03-07	17:10:35	3	5	-119,950	-23,272	-0,073	0,031
2003-03-07	17:10:35	3	4	-7,956	20,058	-0,114	-0,093
2003-03-21	18:08:50	2	6	168,888	72,365	-0,028	0,055
2003-03-21	18:08:50	3	6	176,372	57,536	0,054	0,098
2003-03-21	18:08:50	4	6	141,820	38,127	-0,028	0,051
2003-03-21	18:08:50	5	6	172,470	98,381	0,019	0,067
2003-03-21	18:08:50	3	2	7,484	-14,829	0,082	0,042
2003-03-21	18:08:50	4	2	-27,068	-34,238	0,000	-0,004
2003-03-21	18:08:50	5	2	3,582	26,016	0,047	0,012
2003-03-21	18:08:50	4	3	-34,552	-19,409	-0,082	-0,046
2003-03-21	18:08:50	5	3	-3,902	40,845	-0,035	-0,031
2003-03-21	18:08:50	5	4	30,650	60,254	0,047	0,015
2001-09-01	00:39:28	8	6	99,868	-104,430	0,029	-0,081
2001-09-01	00:39:28	8	2	298,101	-52,231	-0,076	0,048
2001-09-01	00:39:28	8	3	262,362	-33,831	0,024	-0,153
2001-09-01	00:39:28	8	4	271,810	-27,919	0,073	-0,073
2001-09-01	00:39:28	8	5	263,223	-17,812	0,031	-0,095
2001-09-01	01:16:33	8	6	101,563	-104,563	-0,169	0,072
2001-09-01	01:16:33	8	3	259,319	-33,494	-0,148	0,053
2001-09-01	01:16:33	8	4	269,164	-27,536	-0,174	-0,057
2001-09-01	01:16:33	8	5	261,140	-17,554	-0,146	-0,006
2001-09-01	01:16:33	8	2	298,884	-50,098	-0,273	-0,028
2001-10-23	00:38:09	8	6	-441,304	-172,123	0,114	0,064
2001-10-23	00:38:09	8	4	-542,596	-79,823	0,065	-0,062
2001-10-23	00:38:09	8	2	-515,874	-111,497	0,029	-0,022
2001-10-23	00:38:09	8	3	-538,638	-127,319	0,080	-0,082
2001-10-23	00:38:09	8	5	-547,924	-145,650	0,063	-0,101
2001-12-17	23:16:05	8	6	61,528	253,854	-0,062	-0,008
2001-12-17	23:16:05	8	5	264,232	233,575	-0,079	0,044
2001-12-17	23:16:05	8	2	222,528	182,039	-0,188	0,458
2001-12-17	23:16:05	8	3	167,180	204,658	-0,131	0,079
2001-12-17	23:16:05	8	4	185,240	172,159	-0,195	0,191
2002-03-12	17:38:01	8	6	-115,130	54,210	0,104	-0,047
2002-03-12	17:38:01	8	5	29,092	118,151	0,093	-0,013
2002-03-12	17:38:01	8	3	-64,849	146,668	0,112	0,021
2002-03-12	17:38:01	8	4	-73,450	109,734	0,141	0,016
2002-03-12	18:00:20	8	6	-114,675	53,782	0,154	-0,175
2002-03-12	18:00:20	8	5	29,142	118,592	-0,031	-0,106
2002-03-12	18:00:20	8	3	-67,456	145,634	-0,042	-0,199
2002-03-19	18:16:46	8	6	-181,287	104,871	0,132	0,057
2002-03-19	18:16:46	8	6	-181,287	104,871	0,132	0,057
2002-12-10	22:41:37	8	6	-262,694	-261,410	-0,253	0,274
2002-12-10	22:41:37	8	3	-235,365	-165,398	-0,183	0,227
2002-12-10	22:41:37	8	2	-244,694	-170,368	-0,191	0,333
2002-12-10	22:41:37	8	5	-338,060	-143,828	-0,085	0,140
2002-12-10	22:41:37	8	4	-342,376	-163,355	-0,044	0,254
2002-12-12	21:43:38	8	6	-37,578	-207,596	-0,002	-0,068
2002-12-12	21:43:38	8	1	-167,238	-163,417	-0,055	-0,290
2002-12-12	21:43:38	8	2	-234,519	-158,492	-0,021	-0,113

2002-12-12	21:43:38	8	3	-152,178	-152,653	0,079	-0,105
2002-12-12	21:43:38	8	4	-158,152	-139,604	0,042	-0,174
2002-12-12	21:43:38	8	5	-179,487	-202,917	0,084	-0,182
2003-02-01	19:50:24	8	6	-127,003	126,338	0,191	0,120
2003-02-01	19:50:24	8	5	-200,077	81,190	0,031	0,198
2003-02-01	19:50:24	8	5	-200,077	81,190	0,031	0,198
2003-02-01	19:50:24	8	4	-276,581	31,614	-0,056	0,245
2003-02-01	19:50:24	8	2	-312,151	47,894	-0,103	0,351
2003-02-04	22:12:49	8	6	-458,395	94,555	-0,131	-0,413
2003-02-04	22:12:49	8	4	-342,489	-1,078	-0,009	-0,213
2003-02-04	22:12:49	8	5	-388,462	-25,235	-0,086	-0,261
2003-02-04	22:12:49	8	3	-408,463	-8,379	-0,125	-0,284
2003-02-15	17:56:09	8	6	-353,398	-127,778	0,053	0,047
2003-02-15	17:56:09	8	3	-583,680	-120,844	-0,043	0,002
2003-02-15	17:56:09	8	4	-508,722	-149,611	-0,033	0,030
2003-02-15	17:56:09	8	5	-492,096	-94,270	0,092	0,027
2003-02-20	18:03:17	8	6	-529,077	-84,791	0,052	-0,204
2003-02-20	18:03:17	8	3	-427,878	-152,938	-0,127	-0,186
2003-02-20	18:03:17	8	4	-498,318	-191,350	-0,048	-0,228
2003-02-21	17:48:59	8	6	-570,786	-108,174	-0,104	-0,039
2003-02-21	17:48:59	8	2	-419,934	-154,966	-0,092	-0,058
2003-02-21	17:48:59	8	3	-484,834	-184,030	-0,155	0,009
2003-02-21	17:48:59	8	4	-387,402	-159,576	-0,037	-0,056
2003-02-21	17:48:59	8	5	-528,974	-169,117	-0,151	0,019
2003-03-02	17:04:01	8	6	33,396	-185,689	0,081	0,011
2003-03-02	17:04:01	8	4	-146,970	-129,546	-0,055	-0,106
2003-03-02	17:04:01	8	5	-204,818	-149,455	0,150	-0,046
2003-03-04	19:03:12	8	6	140,337	-98,806	-0,041	0,111
2003-03-04	19:03:12	8	2	-22,779	-120,460	0,107	-0,100
2003-03-04	19:03:12	8	3	-79,419	-133,119	-0,012	-0,041
2003-03-04	19:03:12	8	4	16,992	-122,084	-0,104	-0,008
2003-03-04	19:03:12	8	5	36,211	-149,491	-0,099	0,030
2003-03-07	17:10:35	8	5	14,661	-129,638	-0,004	-0,121
2003-03-07	17:10:35	8	4	126,655	-86,308	-0,046	-0,244
2003-03-07	17:10:35	8	3	134,611	-106,366	0,068	-0,151

3. Сравнение с теориями движений и анализ результатов.

Результаты наблюдений сравнивались с эфемеридами, вычисленными по двум теориям движения спутников Сатурна: Харпера-Тэйлора и JPL. Эфемериды 1-6-го спутников Харпера-Тэйлора и JPL отличаются мало, но результаты наблюдений 8-го спутника существенно ближе к эфемеридам JPL, чем к эфемеридам Харпера-Тэйлора. В таблице 2 приводятся значения $O-C$ для пар спутников, в которых обязательно присутствует 8-й спутник (пары $8-S_j$, где $j = 1, \dots, 6$), вычисленные по теориям Харпера-Тэйлора и JPL. $O-C$ вычислены как средние по всем парам спутников на каждой пластинке. В таблице 2 приводятся: дата и момент наблюдений для каждой пластинки (UTC), число пар спутников, где участвует 8-й спутник (Япет) на данной пластинке и средние по пластинкам $(O-C)_{X,Y}$ по двум теориям.

Таблица 2. Сравнение наблюдений Япета с двумя теориями.

Data (UTC)	n	Harper & Taylor		JPL	
		$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$	$(O-C)_X$	$(O-C)_Y$
		<i>arcsec</i>		<i>arcsec</i>	
2001 09 01.027415	5	-0.528	-0.236	+0.016	-0.071
2001 09 01.053163	5	-0.723	-0.160	-0.182	+0.007
2001 10 23.026501	5	+0.146	+0.017	+0.070	-0.041

2001	12	17.969503	5	+0.161	+0.209	-0.131	+0.076
2002	03	12.734735	4	+0.348	+0.068	+0.112	-0.006
2002	03	12.750236	3	+0.271	-0.094	+0.027	-0.160
2002	03	19.761645	4	+0.384	+0.013	+0.132	+0.057
2002	12	10.945572	5	-0.653	+0.184	-0.151	+0.246
2002	12	12.905310	6	-0.573	-0.232	+0.021	-0.155
2003	02	01.826670	4	+0.252	+0.308	+0.016	+0.228
2003	02	04.925570	4	+0.166	-0.182	-0.087	-0.293
2003	02	15.747327	4	-0.123	+0.021	+0.017	+0.026
2003	02	20.752281	3	-0.385	-0.045	-0.041	-0.206
2003	02	21.742356	5	-0.410	-0.061	-0.108	-0.025
2003	03	02.711134	4	-0.516	-0.084	+0.024	-0.040
2003	03	04.793896	5	-0.615	-0.149	-0.030	-0.002
2003	03	07.715689	3	-0.601	-0.301	+0.006	-0.172

Как видно из таблицы, систематическое различие О-С по двум теориям достигает 0.7". Случайные ошибки наблюдений, вычисленные по сравнению с разными теориями оказались практически одинаковыми.

В таблице 3 приводятся значения внутренних и внешних ошибок одного наблюдения пары спутников. Внутренние ошибки вычислялись по сходимости измерений каждой пары внутри одной пластинки, т. е. по 6 изображениям. Внешние ошибки вычислены по уклонениям наблюдений от эфемериды, т.е. по О-С.

Таблица 3. Внешние и внутренние случайные ошибки наблюдений пар спутников.

Спутники	n (число пар)	Внутренние ошибки		Внешние ошибки	
		S_Y	S_X	σ_{IX}	σ_{IY}
1 - 6	190	$\pm 0.065''$	$\pm 0.065''$	$\pm 0.117''$	$\pm 0.116''$
8	63	0.067	0.063	0.114	0.139

4. Определение координат Сатурна

Метод "след-масштаб" не требует опорных звезд для определения относительных координат спутников. Однако наличие в малом поле телескопа хотя бы одной звезды с координатами высокой точности позволяет определить координаты самой планеты без измерения ее изображений на пластинках. Для этого необходимо, кроме точного положения одной или нескольких звезд на фотографиях, иметь также кронцентрические координаты спутников достаточно высокой точности. Точность координат Сатурна в этом случае будет определяться точностью теории движения спутников, точностью координат звезды в каталоге и точностью измерений. Ошибки теории движения играют главную роль, так как ошибки звезд в современных космических каталогах чрезвычайно малы (не более 100 mas). Ошибки современных теорий движения спутников - не превышают 0.1". Таким образом, можно ожидать точность координат Сатурна порядка 0.1 - 0.2". Такой метод определения координат Сатурна без измерения его изображений на фотографиях имеет существенное преимущество перед обычным прямым методом - по измерениям самой планеты, так как он свободен от ошибок изображения планеты, обусловленных неправильностью формы изображения из-за фазы, колец, неравномерности яркости, а также атмосферными и аппаратными эффектами. Как показал опыт нашей работы по измерениям Сатурна, систематические ошибки его положения могут достигать 0.4"[3].

В этой работе мы представляем результаты определения положений Сатурна по ряду фотографических наблюдений, полученных в 1994-2003 гг. По 25 фотопластинкам получено 25 положений Сатурна, определенных по наблюдениям его спутников с использованием звезд HIPPARCOS или ГУСНО-2 в количестве от 1 до 6 (на разных пластинках). Для определения положения планеты использовались измерения 1 - 6-го спутников. 5-пластинок были редуцированы с помощью метода 6 постоянных, так как на этих пластинках имелось достаточное число опорных звезд (больше 3-х) для редукации, на остальных 20 пластинках астрометрическая редукация выполнялась методом "след-масштаб". При этом определялась разность координат спутников и звезд. Кронцентрические координаты спутников были взяты из эфемерид, вычисленных по теории Харпера-Тэйлора. В результате вычислены топоцентрические координаты Сатурна (прямые восхождения и склонения) на эпоху J2000,, представленные в таблице 4.

Таблица 4. Топоцентрические координаты Сатурна.

Дата (UTC)	RA (2000)			Decl (2000)			(O-C) RA s	(O-C) D "
	h	m	s	o	'	"		
1994 08 09.007930	22	52	04.650	-09	18	24.26	-0.005	-0.12
1995 08 27.986915	23	36	55.330	-05	01	25.64	-0.015	-0.35
1995 10 15.809035	23	23	55.805	-06	25	29.56	+0.016	+0.05
1995 10 15.830485	23	23	55.516	-06	25	31.02	+0.010	+0.23
1995 10 21.855919	23	22	41.950	-06	32	36.20	-0.008	-0.03
1995 10 21.878699	23	22	41.690	-06	32	37.46	-0.010	-0.23
1998 11 10.803692	01	50	54.728	+08	28	23.58	-0.002	+0.06
1998 11 10.826522	01	50	54.322	+08	28	21.86	-0.022	+0.28
1999 11 18.864532	02	44	20.014	+13	10	34.77	+0.010	-0.23
2000 02 10.692300	02	37	31.753	+13	01	02.36	+0.009	+0.04
2001 02 16.756527	03	30	41.797	+16	58	52.99	-0.002	+0.15
2001 08 28.961833	04	52	18.131	+20	45	09.33	-0.006	+0.06
2001 09 01.027415	04	52	56.053	+20	45	48.50	0.000	0.00
2001 09 01.053163	04	52	56.351	+20	45	48.95	0.000	+0.13
2001 09 20.100971	04	55	20.425	+20	47	12.48	+0.008	+0.06
2001 10 23.026501	04	52	57.741	+20	39	46.39	+0.020	-0.10
2002 02 01.769459	04	26	15.323	+19	59	15.03	+0.021	-0.04
2002 12 10.945572	05	43	13.787	+22	03	34.60	+0.018	-0.32
2003 02 01.826670	05	27	32.908	+22	02	10.32	+0.015	+0.04
2003 02 04.925570	05	27	04.880	+22	02	26.10	+0.002	-0.19
2003 02 15.747327	05	26	02.192	+22	03	52.56	+0.014	-0.01
2003 02 20.752281	05	25	52.109	+22	04	48.43	+0.005	+0.04
2003 02 21.742356	05	25	51.545	+22	05	00.53	-0.006	-0.11
2003 03 02.711277	05	26	08.312	+22	07	09.02	+0.010	-0.08
2003 03 04.793896	05	26	17.779	+22	07	43.26	+0.002	-0.01

Сравнение координат Сатурна с теорией DE 405 приведено в двух последних столбцах таблицы. Средние (O-C) по прямому восхождению и склонению (по всем наблюдениям) равны: (O-C)RA = +0.003^s, (O-C)Decl = -0.04". Средние квадратические ошибки одного наблюдения, вычисленные по (O-C), равны:

$$\sigma(\text{RA})\cos D = \pm 0.15", \quad \sigma(\text{Decl}) = \pm 0.16".$$

Этот метод определения координат планет может быть использован как для фотографических, так и для ПЗС-наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований гранты № 04-02-16157 и 04-07-90081.

Результаты, приведенные в данной работе будут включены в астрометрическую базу данных по фотографическим и ПЗС-наблюдениям тел Солнечной системы, создаваемую в лаборатории астрометрии и звездной астрономии ГАО РАН [8].

5. Литература.

1. Т.П.Киселева, И.С.Измайлов. Результаты позиционных ПЗС-наблюдений спутников Сатурна и Юпитера на 26-дюймовом рефракторе в Пулковке. // Известия ГАО в Пулковке, 2000, N 214, с. 333-343.
2. Т.П.Киселева, О.А.Калиниченко. Результаты фотографических наблюдений спутников Сатурна в Пулковке в 1994 - 1998 гг. // Известия ГАО в Пулковке, 2000, № 214, с.344-355.
3. Т.П.Киселева, О.А.Калиниченко. Результаты фотографических позиционных наблюдений спутников Сатурна на 26-дюймовом рефракторе в Пулковке в 1999-2001гг.//Известия ГАО в Пулковке, 2002, № 216, с.185-190.
4. А.А.Kiselev. Satellite astrometry with long-focus astrograph.// Galactic and Solar System Optical Astrometry. Proceedings of the Royal Greenwich Observatory and the Institute of Astronomy Workshop. Cambridge, June 21-24, 1993, p. 325-328.
5. А.А.Киселев. Теоретические основания фотографической астрометрии. // Москва, Наука, 1989, 260 с.
6. Harper D. And Taylor D.B. // Astron. and Astrophys., 1993, V.268, N 1, p.326.
7. Jacobson R. A., 2004. "The orbits of the major Saturnian satellites and the gravity field of Saturn from spacecraft and Earthbased observations". Submitted to the Astronomical Journal.
8. Е.В.Хруцкая, М.Ю.Ховричев. Каталог Pul-3 SE как часть астрометрической базы данных Пулковской обсерватории. Труды международной астрономической конференции "Основные направления развития астрономии в России", Казань, 2004, стр 101-107.

The positional observations of Saturnian Satellites with 26-inch Refractor in 2001-2003 at Pulkovo. The determination of coordinates of Saturn by observations of its satellites.

T.P.Kiseleva, O.A.Kalinichenko, M.A.Mozhaev.

The results of photographic astrometric observations of the main 1 - 8 Saturnian Satellites in - 2001-2003 at Pulkovo observatory with 26-inch Refractor are corresponded. The "scale-trail" method was used for observations. 190 relative positions of satellites ("satellite minus satellite") are carecterized by high inner and external accuracy: the inner errors of one relative position are equal $\pm 0.065''$. The external errors were calculated by comparison of observations with the ephemerides of JPL are equal $\pm 0.120''$.

The results of determinations of coordinates of Saturn by the observations of Saturnian satellites without measurings of images of the planet are presented. 25 positions of Saturn have been determined by photographic observations with 26-inch Refractor at Pulkovo in 1994-2003. The accuracy of Saturnian coordinates estimated by comparison of the observation with the theories DE405 is about $\pm 0.15''$ in RA and Decl.

The works have been carried out with the support of RFBR (N 04-02-16157 and 04-07-90081).